

**Aus dem Lehrstuhl Anatomie II – Neuroanatomie
der Anatomischen Anstalt der
Ludwig-Maximilians-Universität München
Vorstand: Prof. Dr. med. Christoph Schmitz**

**Meta-Analyse der in der PEDro Datenbank
gelisteten randomisierten, kontrollierten
Studien zur extrakorporalen
Stoßwellenbehandlung am Stütz- und
Bewegungsapparat**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnmedizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Isabelle Gabriele Braun (geb. Schur)
aus Dachau
2022

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. med. Christoph Schmitz
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. rer. nat. Ulrich Mansmann
Mitbetreuung durch den Promovierten Mitarbeiter:	---
Dekan:	Prof. Dr. med. Thomas Gudermann
Tag der mündlichen Prüfung:	17.10.2022

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	Einleitung	1
1.1	Vorbemerkung: Beginn der Extrakorporalen Stoßwellentherapie	1
1.2	Prinzipien der Erzeugung fokussierter und radialer extrakorporaler Stoßwellen	2
1.3	Gegenüberstellung von radialen und fokussierten extrakorporalen Stoßwellen	6
1.4	Physikalische Grundlagen extrakorporaler Stoßwellen	8
1.5	Wirkungsweise von extrakorporalen Stoßwellen im Gewebe	12
1.5.1	Mechanische Effekte	12
1.5.2	Kavitation	12
1.5.3	Molekulare und zelluläre Effekte von extrakorporalen Stoßwellen im Gewebe	14
1.5.3.1	Analgesie	14
1.5.3.2	Regeneration von Gewebe	15
1.6	Extrakorporale Stoßwellentherapie am Stütz- und Bewegungsapparat in der evidenzbasierten Medizin: die PEDro Datenbank	15
2	Zielsetzung der vorliegenden Arbeit	18
3	Material und Methoden	20
3.1	Datengewinnung	20
3.2	Vorauswahl der gefundenen Studien	20
3.3	Qualitative Analyse der mittels <i>systematic review</i> ermittelten Studien	20
3.4	Statistische Analyse der mittels <i>systematic review</i> ermittelten Studien	21
3.5	Meta-Analyse der mittels <i>systematic review</i> ermittelten Studien	22
4	Ergebnisse	23
4.1	Ergebnis der Datengewinnung	23
4.2	Ergebnis der Vorauswahl der gefundenen Studien	24
4.3	Ergebnisse der qualitativen Analyse der mittels <i>systematic review</i> ermittelten Studien	24
4.4	Ergebnisse der statistischen Analyse der mittels <i>systematic review</i> ermittelten Studien	39
4.4.1	Anzahl der ESWT-Behandlungen	41
4.4.2	Zeitintervall zwischen den ESWT-Behandlungen, wenn mehr als eine Behandlung erfolgt war	42
4.4.3	Anzahl von rESWs oder fESWs pro Behandlung	43
4.4.4	Energiefussdichte der applizierten fESWs oder rESWs	44
4.4.5	Insgesamt applizierte Energiefussdichte der applizierten fESWs oder rESWs	45
4.4.6	PEDro-Gesamtbewertung	46
4.5	Ergebnisse der Meta-Analyse der mittels <i>systematic review</i> ermittelten Studien	47
4.5.1	Vorauswahl von Studien, die in der Meta-Analyse berücksichtigt werden konnten	47
4.5.2	Analyse der Bewertungssysteme für Schmerz in denjenigen Studien, die in der Meta-Analyse berücksichtigt werden konnten	57
4.5.3	Analyse der Nachuntersuchungszeitpunkte in denjenigen Studien, die in der Meta-Analyse berücksichtigt werden konnten	61
4.5.4	Ergebnisse der Meta-Analyse	67
5.	Diskussion	73
5.1	Zuwachs an Studien in der PEDro-Datenbank zwischen 2015 und 2020	73

5.2	Vergleich der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit mit den Ergebnissen von Schmitz et al. (2015)	77
5.2.1	Kernaussage 1: <i>ESWT ist wirksam</i>	79
5.2.2	Kernaussage 2: <i>ESWT ist sicher</i>	79
5.2.3	Kernaussage 3: <i>Für bestimmte Indikationen am Stütz- und Bewegungsapparat sind randomisierte, klinische Studien zur ESWT der vorherrschende Studientyp in der PEDro-Datenbank und/oder erzielten die höchste PEDro-Gesamtbewertung unter allen untersuchten Behandlungsmodalitäten.</i>	80
5.2.4	Kernaussage 4: <i>Es gibt in der PEDro-Datenbank keinen Unterschied in der „Qualität“ (d.h. der mittleren PEDro-Gesamtbewertung) zwischen Studien zur ESWT mit positivem Ergebnis und Studien zur ESWT mit negativem Ergebnis.</i>	81
5.2.5	Kernaussage 5: <i>Die Anwendung von Lokalanästhesie hat einen negativen Einfluss auf das Ergebnis bei ESWT.</i>	81
5.2.6	Kernaussage 6: <i>Die Anwendung unzureichender Energie (EFD) beeinflusst das Ergebnis der ESWT negativ.</i>	83
5.2.7	Kernaussage 7: <i>Es gibt keine wissenschaftlichen Beweise zugunsten fESWT oder rESWT in Bezug auf das Behandlungsergebnis.</i>	86
5.2.8	Kernaussage 8: <i>Die Unterscheidung zwischen radialer ESWT als "niedrigenergetischer ESWT" und fokussierter ESWT als "hochenergetischer ESWT" ist nicht korrekt und sollte verworfen werden.</i>	87
5.2.9	Kernaussage 9: <i>Es gibt keine wissenschaftlichen Belege dafür, dass eine bestimmte fESWT-Technologie den anderen Technologien überlegen ist.</i>	88
5.2.10	Kernaussage 10: <i>Ein optimales Behandlungsprotokoll für die Anwendung von ESWT sieht drei Behandlungen in einem wöchentlichen Intervall, 2000 ESWs pro Behandlung und die maximal mögliche Energieflussdichte (EFD) vor.</i>	89
5.3	Limitierungen	89
6	Schlussfolgerung / Fazit	92
7	Zusammenfassung	93
8	Literatur	95
9	Danksagung	117
	Eidesstattliche Versicherung	118

Abbildungsverzeichnis

	Seite
1.1 Schematische Darstellung der Funktionsweise eines elektrohydraulischen, fokussierten ESWT-Handstücks	3
1.2 Schematische Darstellung der Funktionsweise eines elektromagnetischen, fokussierten ESWT-Handstücks	4
1.3 Schematische Darstellung der Funktionsweise eines piezo-elektrischen, fokussierten ESWT-Handstücks	5
1.4 Schematische Darstellung der Funktionsweise eines ballistischen, pneumatischen, radialen ESWT-Handstücks	6
1.5 Schematische Darstellung der Ausbreitung von fokussierten (links) und radialen (rechts) extrakorporalen Stoßwellen	7
1.6 Druck als Verlauf der Zeit einer Stoßwelle im echten physikalischen Sinne	8
1.7 Druck als Verlauf der Zeit einer "Therapeutischen Stoßwelle"	10
1.8 Wichtige Charakteristika von extrakorporalen Stoßwellen	11
1.9 Schematische Darstellung einer ankommenden extrakorporalen Stoßwelle, die auf eine Kavitationsblase stößt	13
4.1 Flussdiagramm der in der vorliegenden Arbeit vorgenommenen Literaturrecherche in der PEDro-Datenbank	23
4.2 Gruppenspezifische <i>Tukey boxplots</i> der Anzahl der ESWT-Behandlungen, dem Zeitintervall zwischen den ESWT-Behandlungen, wenn mehr als eine Behandlung erfolgt war, der Anzahl von rESWs oder fESWs pro Behandlung, der Energieflussdichte der applizierten rESWs oder fESWs und der insgesamt applizierten Energieflussdichte in den mittels <i>systematic review</i> ermittelten Studien sowie der PEDro-Gesamtbewertung der mittels <i>systematic review</i> ermittelten Studien	39
4.3 Forest-Plot der Ergebnisse der Meta-Analyse zur Behandlung der Plantarfasziopathie mit radialer oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie	68
4.4 Forest-Plot der Ergebnisse der Meta-Analyse zur Behandlung von Tendinopathien der Achillessehne mit radialer oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie	69
4.5 Forest-Plot der Ergebnisse der Meta-Analyse zur Behandlung der Kniegelenksarthrose mit radialer oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie	70
4.6 Forest-Plot der Ergebnisse der Meta-Analyse zur Behandlung des Tennisellenbogens mit radialer oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie	71
4.7 Forest-Plot der Ergebnisse der Meta-Analyse zur Behandlung von Tendinopathien der Rotatorenmanschette (einschließlich der Kalkschulter) mit radialer oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie	72
5.1 Gruppenspezifische <i>Tukey boxplots</i> der Anzahl der ESWT-Behandlungen, dem Zeitintervall zwischen den ESWT-Behandlungen, wenn mehr als eine Behandlung erfolgt war, der Anzahl von rESWs oder fESWs pro Behandlung, der Energieflussdichte der applizierten rESWs oder fESWs und der insgesamt applizierten Energieflussdichte in den von Schmitz et al. (2015) mittels <i>systematic review</i> ermittelten Studien sowie der PEDro-Gesamtbewertung der von Schmitz et al. (2015) mittels <i>systematic review</i> ermittelten Studien	78

Tabellenverzeichnis

	Seite	
1.1	Abkürzungen und ihre jeweilige Erläuterung	2
1.2	Kriterien der PEDro-Datenbank zur Bewertung randomisierter, kontrollierter Studien	17
2.1	Kernaussagen zur extrakorporalen Stoßwellentherapie	18
4.1	Randomisierte, kontrollierte Studien zur radialen extrakorporalen Stoßwellentherapie, die zum Stichtag 11. November 2020 in der PEDro-Datenbank aufgeführt waren	27
4.2	Randomisierte, kontrollierte Studien zur fokussierten extrakorporalen Stoßwellentherapie, die zum Stichtag 11. November 2020 in der PEDro-Datenbank aufgeführt waren	31
4.3	Randomisierte, kontrollierte Studien zur kombiniert radial/fokussierten extrakorporalen Stoßwellentherapie, die zum Stichtag 11. November 2020 in der PEDro-Datenbank aufgeführt waren	37
4.4	Zusammenstellung der rESWT- bzw. fESWT-Geräte, die in den in den Tabellen 4.1-4.3 gelisteten Studien verwendet wurden	38
4.5	Deskriptive Statistik der Variablen "Anzahl der ESWT-Behandlungen" in den mittels <i>systematic review</i> ermittelten Studien	41
4.6	Deskriptive Statistik der Variablen "Zeitintervall (Tage) zwischen den ESWT-Behandlungen, wenn mehr als eine Behandlung erfolgt war" in den mittels <i>systematic review</i> ermittelten Studien	42
4.7	Deskriptive Statistik der Variablen "Anzahl von fESWs oder rESWs pro Behandlung" in den mittels <i>systematic review</i> ermittelten Studien	43
4.8	Deskriptive Statistik der Variablen "Energieflussdichte (in mJ/mm ²) der applizierten rESWs oder fESWs" in den mittels <i>systematic review</i> ermittelten Studien	44
4.9	Deskriptive Statistik der Variablen "Insgesamt applizierte Energieflussdichte (in J/mm ²) der applizierten fESWs oder rESWs" in den mittels <i>systematic review</i> ermittelten Studien	45
4.10	Deskriptive Statistik der Variablen "PEDro-Gesamtbewertung" der mittels <i>systematic review</i> ermittelten Studien	46
4.11	Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in Tabelle 4.1 gelisteten Studien zur Behandlung der Plantarfasziopathie mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Meta-Analyse	48
4.12	Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in Tabelle 4.2 gelisteten Studien zur Behandlung der Plantarfasziopathie mit fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Meta-Analyse	49
4.13	Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in Tabelle 4.1 gelisteten Studien zur Behandlung von Tendinopathien der Achillessehne mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Meta-Analyse	50
4.14	Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in Tabelle 4.2 gelisteten Studien zur Behandlung von Tendinopathien der Achillessehne mit fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Meta-Analyse	50
4.15	Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in Tabelle 4.3 gelisteten Studie zur Behandlung von Tendinopathien der Achillessehne mit radialer und fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Meta-Analyse	50
4.16	Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in Tabelle 4.1 gelisteten Studien zur Behandlung der Kniegelenksarthrose mit radialer	51

	extrakorporaler Stoßwellentherapie für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Meta-Analyse	
4.17	Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in Tabelle 4.2 gelisteten Studien zur Behandlung der Kniegelenksarthrose mit fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Meta-Analyse	51
4.18	Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in Tabelle 4.1 gelisteten Studien zur Behandlung des Tennisellenbogens mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Meta-Analyse	51
4.19	Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in Tabelle 4.2 gelisteten Studien zur Behandlung des Tennisellenbogens mit fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Meta-Analyse	52
4.20	Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in Tabelle 4.1 gelisteten Studien zur Behandlung von Tendinopathien der Rotatorenmanschette (einschließlich der Kalkschulter) mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Meta-Analyse	52
4.21	Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in Tabelle 4.1 gelisteten Studien zur Behandlung von Tendinopathien der Rotatorenmanschette (einschließlich der Kalkschulter) mit fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Meta-Analyse	53
4.22	Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in den Tabellen 4.1 und 4.2 gelisteten Studien zur Behandlung der Tendinopathie der Patellasehne mit radialer oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Meta-Analyse	54
4.23	Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in den Tabellen 4.1 und 4.2 gelisteten Studien zur Behandlung des myofaszialen Schmerzsyndroms mit radialer oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Meta-Analyse	54
4.24	Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in den Tabellen 4.1 und 4.2 gelisteten Studien zur Behandlung des Trochanter-major Schmerzsyndroms mit radialer oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT) für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Meta-Analyse	55
4.25	Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in den Tabellen 4.1 und 4.2 gelisteten Studien zur Behandlung von chronischen Rückenschmerzen mit radialer oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Meta-Analyse	55
4.26	Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in den Tabellen 4.1 und 4.2 gelisteten Studien zur Behandlung des Karpaltunnelsyndroms mit radialer oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Meta-Analyse	55
4.27	Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in den Tabellen 4.1 und 4.2 gelisteten Studien zur Behandlung der adhäsiven Kapsulitis der Schulter mit radialer oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Meta-Analyse	56
4.28	In den Tabellen 4.1 und 4.2 gelistete Studien zu Indikationen, die nicht in die Meta-Analyse eingeschlossen werden konnten, da weniger als drei Studien zur jeweiligen Indikation vorlagen	56
4.29	Bewertungssysteme für Schmerz in denjenigen Studien zur Behandlung der Plantarfasziopathie mit radialer oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie, die in der Meta-Analyse berücksichtigt werden konnten	58

4.30	Bewertungssysteme für Schmerz in denjenigen Studien zur Behandlung von Tendinopathien der Achillessehne mit radialer oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie, die in der Meta-Analyse berücksichtigt werden konnten	58
4.31	Bewertungssysteme für Schmerz in denjenigen Studien zur Behandlung der Kniegelenksarthrose mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie, die in der Meta-Analyse berücksichtigt werden konnten	59
4.32	Bewertungssysteme für Schmerz in denjenigen Studien zur Behandlung des Tennisellenbogens mit radialer oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie, die in der Meta-Analyse berücksichtigt werden konnten	59
4.33	Bewertungssysteme für Schmerz in denjenigen Studien zur Behandlung von Tendinopathien der Rotatorenmanschette (einschließlich der Kalkschulter) mit radialer oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie, die in der Meta-Analyse berücksichtigt werden konnten	60
4.34	Nachuntersuchungszeitpunkte in denjenigen Studien zur Behandlung der Plantarfasziopathie mit radialer oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie, die in der Meta-Analyse berücksichtigt werden konnten	62
4.35	Nachuntersuchungszeitpunkte in denjenigen Studien zur Behandlung von Tendinopathien der Achillessehne mit radialer oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie, die in der Meta-Analyse berücksichtigt werden konnten	63
4.36	Nachuntersuchungszeitpunkte in denjenigen Studien zur Behandlung der Kniegelenksarthrose mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie, die in der Meta-Analyse berücksichtigt werden konnten	64
4.37	Nachuntersuchungszeitpunkte in denjenigen Studien zur Behandlung des Tennisellenbogens mit radialer oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie, die in der Meta-Analyse berücksichtigt werden konnten	65
4.38	Nachuntersuchungszeitpunkte in denjenigen Studien zur Behandlung von Tendinopathien der Rotatorenmanschette (einschließlich der Kalkschulter) mit radialer oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie, die in der Meta-Analyse berücksichtigt werden konnten	66
5.1	Vergleich der Verfügbarkeit von Studien zur radialen und zur fokussierten extrakorporalen Stoßwellentherapie zum Stichtag 17.05.2015 (ausgewertet in Schmitz et al., 2015) und zum Stichtag 11. November 2020 (ausgewertet in der vorliegenden Studie).	73
5.2	Kontrolltherapien in denjenigen Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat mit negativem Ergebnis, die zwischen dem 17. Mai 2015 und dem 11.11.2020 in die PEDro-Datenbank eingeschlossen wurden.	75
5.3	Gruppenspezifische relative Anteile von Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat, die am 11. November 2020 in der PEDro-Datenbank gelistet waren und gemäß Definitionen von Rompe et al. (2007a) bzw. Neufeld und Cerrato (2008) mit "niederenergetischen" oder "hochenergetischen" extrakorporalen Stoßwellen" durchgeführt wurden.	88
5.4	Gruppenspezifische, absolute Häufigkeiten von fESWT-Studien, die am 11. November 2020 in der PEDro-Datenbank gelistet waren und mit elektrohydraulischen, elektromagnetischen oder piezoelektrischen fESWT-Geräten durchgeführt worden waren.	89
5.5	Wesentliche Aspekte von Validität und Bias in kontrollierten klinischen Studien	90

1 Einleitung

1.1 Vorbemerkung: Beginn der Extrakorporalen Stoßwellentherapie

Der Beginn der Verwendung extrakorporaler Stoßwellen (ESWs) in der Medizin liegt bei der Nierensteinzertrümmerung; dort wird die Methode "Extrakorporale Stoßwellenlithotrypsie" (ESWL) genannt. Nachdem 1976 erstmals eine ESWL am Hund erfolgte, wurde vier Jahre später der erste Mensch erfolgreich mittels ESWL von seinem Nierensteinleiden befreit (Chaussy et al., 1980; 1981). Ausgeweitet auf weitere Steinleiden in der Gallenblase (Sauerbruch et al., 1986), der Bauchspeicheldrüse (Sauerbruch et al., 1987), im Gallengang (Sauerbruch et al., 1989) und Speicheldrüsen (Iro et al., 1989) wurden Urologen bei tierexperimentellen Untersuchungen mehr oder weniger zufällig darauf aufmerksam, dass es bei Applikation von ESWs im Bereich von Harnleitersteinen zu Veränderungen am Os ileum kam (Graff et al., 1988). Konkret konnte bei der Exposition von Knochen mit ESWs eine primäre Osteozytenschädigung, gefolgt von einer Osteoblastenstimulation, nachgewiesen werden (Graff et al., 1988; Graff, 1989). Bei weiterer Forschung zur Stimulation der Frakturheilung mit ESWs am Tiermodell konnte dann eine beschleunigte Frakturheilung nachgewiesen werden (Ekkernkamp et al., 1992; Haupt et al., 1992). Seit diesen Anfängen wurde die Anwendung von ESWs auf eine Vielzahl von Indikationen am Stütz- und Bewegungsapparat ausgeweitet, wobei neben der Behandlung von Pseudoarthrosen (Übersicht z.B. bei Kertzman et al., 2017) die Tendinopathien mit Abstand die größte Indikationsgruppe bilden (Übersicht z.B. bei Speed, 2014; Schmitz et al., 2015; Reilly et al., 2018). Die Behandlung von Erkrankungen des Stütz- und Bewegungsapparates mit ESWs wird allgemein als "Extrakorporale Stoßwellentherapie" (ESWT) bezeichnet und so von der ESWL unterschieden.

Vollständig evidenzbasierte Empfehlungen für die Anwendung der ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat liegen bis zum heutigen Tag nicht vor. So stellt die DIGEST (Deutsche Gesellschaft für Extrakorporale Stoßwellentherapie) auf ihrer Internetplattform (www.digest-ev.de) mögliche Indikationen für die Therapie mit ESWs vor, ohne dies jedoch mit konkreten Literaturangaben zu rechtfertigen. Zudem lässt die von der DIGEST vorgenommene Einteilung der Indikationen in „Standardindikationen“, „allgemein anerkannte Indikationen“ und „Expertenindikationen/Ausnahmeindikationen“ darauf schließen, dass ein abgestuftes Evidenzniveau in der Literatur vorherrschen könnte, welches tatsächlich jedoch nicht auffindbar ist und von der DIGEST auch nicht mit Verweisen zu einschlägiger Literatur belegt wird.

Diese Umstände verdeutlichen die Notwendigkeit zur Etablierung von evidenzbasierten Aussagen in Bezug auf Indikationen und der konkreten Anwendung der ESWT am Stütz- und

Bewegungsapparat. Die vorliegende Arbeit soll hierzu einen weiteren wichtigen Baustein liefern.

Häufige in der vorliegenden Arbeit verwendete Abkürzungen sind in Tabelle 1.1 zusammengefasst.

Tabelle 1.1 | Abkürzungen und ihre jeweilige Erläuterung

Abkürzung	Erläuterung
ESWs	Extrakorporale Stoßwellen
ESWT	Extrakorporale Stoßwellentherapie
fESWs	fokussierte extrakorporale Stoßwellen
fESWT	fokussierte extrakorporale Stoßwellentherapie
rESWs	radiale extrakorporale Stoßwellen
rESWT	radiale extrakorporale Stoßwellentherapie

1.2 Prinzipien der Erzeugung fokussierter und radialer extrakorporaler Stoßwellen

Grundsätzlich beruht die Generierung einer therapeutischen Stoßwelle auf Schall, welcher in Form einer Welle Materialien (Gas, Flüssigkeiten und Festkörper) durchdringt (Gerdesmeyer et al., 2002; Wess, 2004; Rompe et al., 2013). Bei den therapeutischen Stoßwellen sind fokussierte Stoßwellen (fESWs) von radialen Stoßwellen (rESWs) zu unterscheiden. Fokussierte Stoßwellen können darüber hinaus gemäß dem Prinzip ihrer Erzeugung in elektrohydraulisch generierte fESWs, elektromagnetisch generierte fESWs und piezoelektrisch generierte fESWs unterteilt werden (Gerdesmeyer et al., 2002; Schmitz et al., 2015). Bis heute konnte in der Literatur kein Beleg dafür etabliert werden, dass eine dieser Methoden zur Generierung von fESWs den anderen Methoden überlegen ist (Schmitz et al., 2015).

In den Abbildungen 1.1 bis 1.4 sind die unterschiedlichen Methoden zur Generierung von ESWs schematisch dargestellt und erläutert.

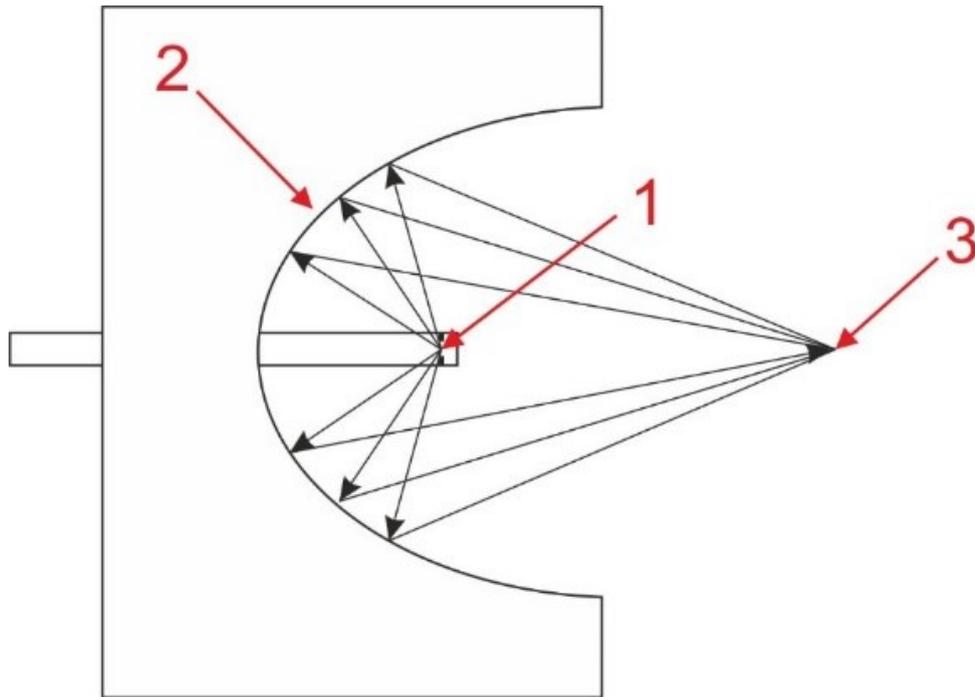


Abbildung 1.1 | Schematische Darstellung der Funktionsweise eines elektrohydraulischen, fokussierten ESWT-Handstücks (Grafik modifiziert nach Schmitz et al., 2015). Hierbei entlädt sich eine hohe Spannung über zwei Elektrodenspitzen (Funkenentladung), die sich in Wasser befinden (1). Die Funkenstrecke dient als erster Fokuspunkt. Durch die entstehende Wärme verdampft das umgebende Wasser, wodurch eine Gasblase (Plasmablase) entsteht, die auf den ersten Fokuspunkt zentriert ist. Die schnelle Blasenexpansion erzeugt einen Schallimpuls im Medium, gefolgt von einer Blasenimplosion, welche einen umgekehrten Impuls nach sich zieht. Das umgebende Wasser wird durch diesen Vorgang komprimiert und eine Stoßwelle wird erzeugt. Mittels Reflektoren bestimmter Form (2) kann die entstandene Stoßwelle in eine konvergente, fokussierte Stoßwelle mit einem Punkt höchsten Drucks im zweiten Fokuspunkt (3) umgewandelt werden (Gerdesmeyer et al., 2002; Schmitz et al., 2015). Ein negativer Aspekt dieses Verfahrens ist der Verschleiß der Zündkerze, die nach gewisser Zeit einer Auswechslung bedarf (Gerdesmeyer et al., 2002).

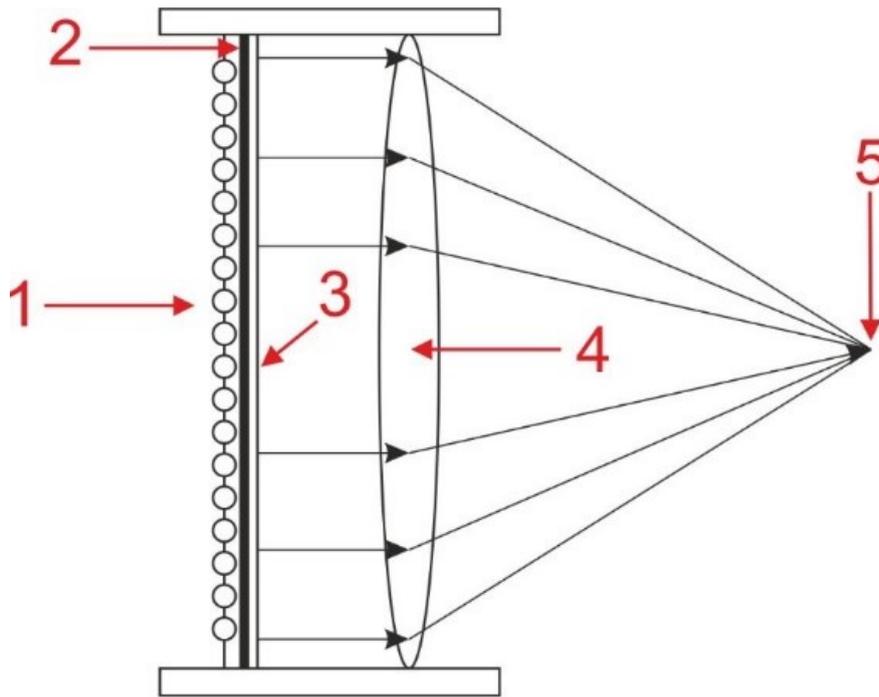


Abbildung 1.2 | Schematische Darstellung der Funktionsweise eines elektromagnetischen, fokussierten ESWT-Handstücks (Grafik modifiziert nach Schmitz et al., 2015). Das Verfahren beruht auf dem Prinzip der elektromagnetischen Induktion (Wess, 2004). Es wird ein starkes Magnetfeld erzeugt, indem ein hoher elektrischer Strom durch eine Flachspule (1) geleitet wird. Dies verursacht einen hohen Strom in einer gegenüberliegenden Metallmembran (2), welcher bewirkt, dass die benachbarte Membran (3) ebenfalls eines der Spule entgegengerichtetes Magnetfeld erzeugt. Daraus resultierende abstoßende Kräfte führen dazu, dass die gut leitende Membran (3) weggedrückt wird und es zur Kompression der umgebenden Flüssigkeit kommt. Die innerhalb des Mediums entstehende Druckwelle kann dann mittels einer akustischen Linse (4) in eine konvergente, fokussierte Stoßwelle mit einem Punkt höchsten Drucks in einem Fokuspunkt (5) umgewandelt werden (Wess, 2004; Schmitz et al., 2015).

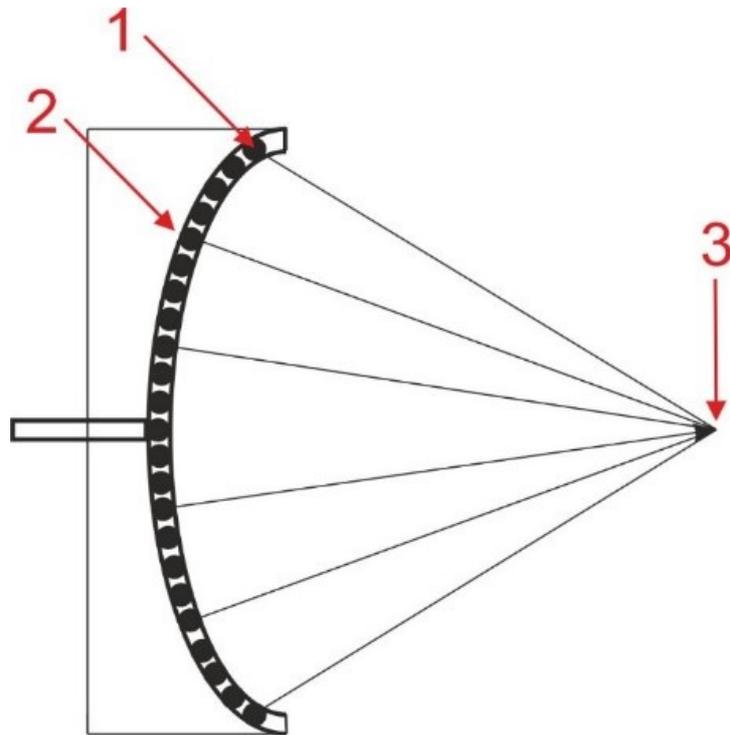


Abbildung 1.3 | Schematische Darstellung der Funktionsweise eines piezo-elektrischen, fokussierten ESWT-Handstücks (Grafik modifiziert nach Schmitz et al., 2015). In einer schalenförmigen Vorrichtung (2) sind eine Vielzahl von Piezokristallen (1) eingelagert. Die Anzahl der Kristalle kann von wenigen bis zu mehreren Tausend variieren (meist zwischen 1000 und 2000). Beim Anlegen einer elektrischen Spannung reagieren die Kristalle mit einer Verformung (Kontraktion und Expansion), die als piezoelektrischer Effekt bezeichnet wird. Dies induziert eine Druckwelle im umgebenden Wasser. Aufgrund der Konstruktion der schalenförmigen Vorrichtung ist es möglich, die einzelnen entstehenden Druckwellen in einem Fokuspunkt zu bündeln (3). Somit kann eine konvergente, fokussierte Stoßwelle mit einem Punkt höchsten Drucks in einem Fokuspunkt (3) generiert werden (Schmitz et al., 2015).

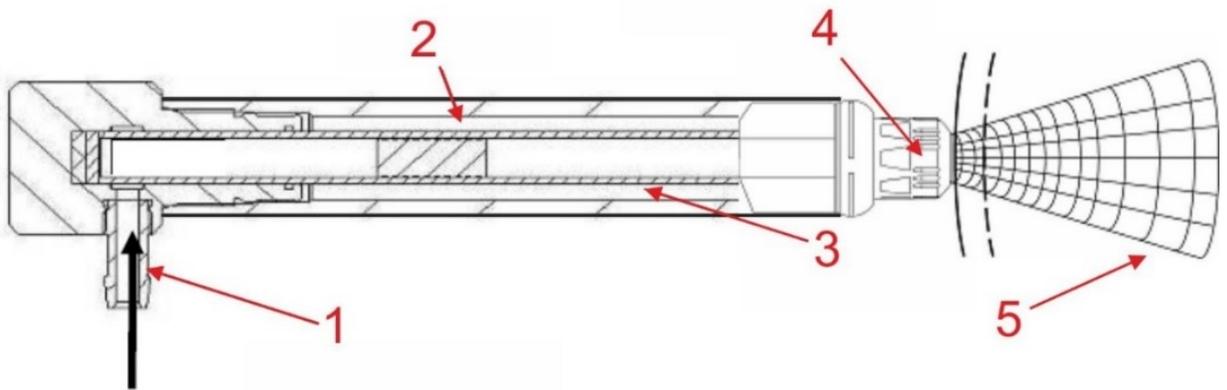


Abbildung 1.4 | Schematische Darstellung der Funktionsweise eines ballistischen, pneumatischen, radialen ESWT-Handstücks (Grafik modifiziert nach Schmitz et al., 2015). Bei diesem Verfahren wird mit Druckluft (1) ein Projektil (2) in einem Führungsrohr (3) auf einen Metallapplikator (4) abgefeuert, der auf der Haut des Patienten platziert wird. Das Projektil erzeugt im Applikator Spannungswellen, die sich als Druckwellen (5) in das Gewebe übertragen (Rompe et al., 2015). Eine Fokussierung der Druckwellen erfolgt nicht.

1.3 Gegenüberstellung von radialen und fokussierten extrakorporalen Stoßwellen

Wie in den Abbildungen 1.1 bis 1.4 gezeigt, weisen fESWs und rESWs Unterschiede in der Generierung und der Wellenausbreitung auf. Daraus ergeben sich Unterschiede in Bezug auf die Eindringtiefe in das Gewebe, welche grundsätzlich zu verschiedenen Effekten in den behandelten Geweben führen könnten.

Anders als bei fESWs findet sich bei rESWs die maximale Energieflussdichte immer an der Spitze des Applikators, der zur Erzeugung der rESWs verwendet wird. Darüber hinaus breiten sich rESWs im Gewebe radiär aus, weshalb es nicht zu einer Fokussierung kommt (z.B. Gerdsmeyer et al., 2002) (Abbildung 1.5).

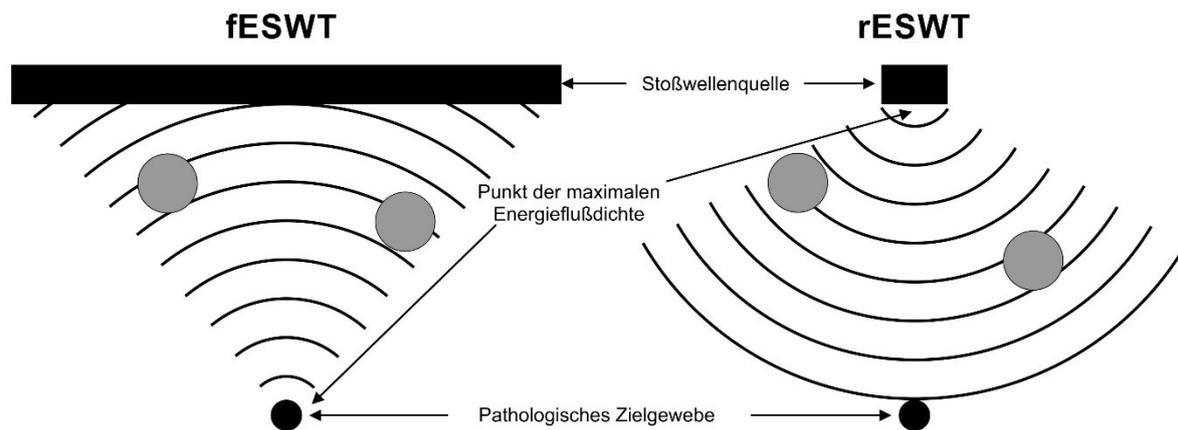


Abbildung 1.5 | Schematische Darstellung der Ausbreitung von fokussierten (links) und radialen (rechts) extrakorporalen Stoßwellen (modifiziert nach Schmitz et al., 2015). Dargestellt ist die jeweilige Stoßwellenquelle, der Punkt der maximalen Energieflussdichte, welcher dem Fokuspunkt der jeweiligen Technologie entspricht, sowie das pathologische Zielgewebe, welches therapiert werden soll. Es wird deutlich, dass der Fokuspunkt und somit der Punkt der maximalen Energieflussdichte bei fESWs (bei korrekter Ausrichtung des fESWT-Geräts) im pathologischen Gewebe liegt, wohingegen bei rESWs der Punkt der maximalen Energieflussdichte immer an der Stoßwellenquelle (konkret: an der Spitze des Applikators) zu finden ist. Es wird aber auch deutlich, dass fESWs nur dann ihre maximale Energieflussdichte im Fokuspunkt erreichen können, wenn zwischen der Stoßwellenquelle und dem pathologischen Zielgewebe keine Störungen der Wellenausbreitung auftreten (schematisch dargestellt durch die grauen Kreise). Bei rESWs ist dies nicht der Fall.

Tatsächlich nehmen bei rESWs der Druck und die Energieflussdichte mit zunehmendem Abstand vom Applikator kontinuierlich ab, sodass die maximale Energieflussdichte nicht im pathologischen Zielgewebe, sondern an der Spitze des Applikators zu finden ist (Abbildung 1.5). Dies bedingt, dass eher oberflächlich gelegene pathologische Prozesse wie die Plantarfasziopathie, Tendinopathien der Achillessehne, das mediale Tibia Stresssyndrom oder auch das Trochanter-major Schmerzsyndrom die bevorzugten Indikationen für die rESWT sind (z.B. Gerdesmeyer et al., 2002). Im Gegensatz dazu findet sich die maximale Energieflussdichte von fESWs im sogenannten Stoßwellenfokus (Abbildung 1.5), was die fESWT insbesondere für die Behandlung eher tiefer gelegener pathologischer Prozesse wie z.B. Pseudoarthrosen (Kertzman et al., 2017) oder die Kalkschulter (Tendinosis calcarea) (Gerdesmeyer et al., 2002) interessant macht. Einschränkend muss jedoch darauf verwiesen werden, dass zur präzisen Applikation von fESWs eine radiologische oder sonografische Ortung des zu therapierenden Gewebes notwendig ist, um den Fokuspunkt der fESWs auch tatsächlich im pathologischen Zielgewebe positionieren zu können (Rompe et al., 2013). Bei

der rESWT ist dies nicht nötig. Vielmehr ist bei rESWT die Angabe des Punctum maximum des Schmerzes durch den Patienten ausreichend (Rompe et al., 2013).

Aus dem Gesagten ließe sich die Hypothese ableiten, dass es Indikationen geben könnte, bei denen eine der genannten Methoden (rESWT oder fESWT) zu besseren klinischen Ergebnissen führt als die jeweils andere Methode. Eine evidenzbasierte Analyse der verschiedenen Indikationen hinsichtlich der bevorzugten bzw. der zu bevorzugenden Methode (rESWT oder fESWT) liegt bisher jedoch nicht vor.

1.4 Physikalische Grundlagen extrakorporaler Stoßwellen

Rein physikalisch gesehen sind Druckwellen Wellen im Überschallbereich (vgl. Druckwellen, welche von Überschallflugzeugen erzeugt werden). Wie in Abbildung 1.6 dargestellt, weisen Stoßwellen im echten physikalischen Sinne einen charakteristischen Druck-Zeit-Verlauf auf. In einer früheren Arbeit wurde dieser Druck-Zeit-Verlauf wie folgt beschrieben (Ogden et al., 2001b): *"Eine Stoßwelle ist ein Schallimpuls mit bestimmten physikalischen Eigenschaften. Diese beinhalten einen hohen positiven Spitzendruck, manchmal mehr als 100 MegaPascal (MPa), aber häufiger ungefähr 50 bis 80 MPa, einen schnellen anfänglichen Druckanstieg während eines Zeitraums von weniger als 10 Nanosekunden, eine niedrige Zugamplitude (d.h. negativer Druck) (bis zu -10 MPa), einen kurzen Lebenszyklus von ungefähr 10 Mikrosekunden und ein breites Frequenzspektrum, typischerweise im Bereich von 16 Hz bis 20 MHz."*

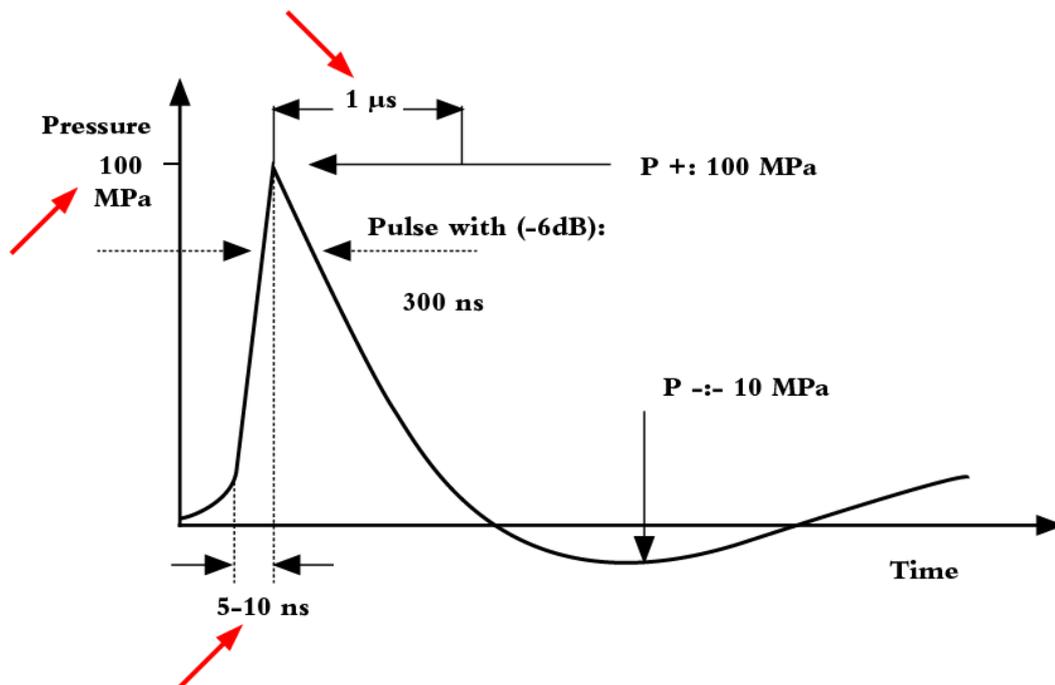


Abbildung 1.6 | Druck als Verlauf der Zeit einer Stoßwelle im echten physikalischen Sinne (entnommen aus Ogden et al., 2001b). Die roten Pfeile markieren die wesentlichen physikalischen Eigenschaften

einer solchen Stoßwelle: positiver Spitzendruck (P_+) in der Größenordnung von 100 MegaPascal (MPa), schnelle Anstiegszeit von 5-10 Nanosekunden (ns) (gemessen von dem Zeitpunkt, an dem 10% von P_+ vorherrscht, bis zu dem Zeitpunkt, an dem 90% von P_+ vorherrscht) sowie schneller Rückgang des positiven Drucks im Zeitraum von ca. 1 Mikrosekunde (μ s).

Sternecker et al. (2018) haben kürzlich einen positiven Spitzendruck von mehr als 100 MPa mit einem aktuell verwendeten piezoelektrischen fESWT-Gerät (Swiss PiezoClast; Electro Medical Systems, Nyon, Schweiz) nachgewiesen.

Bei elektromagnetisch erzeugten fESWs liegt der maximale Spitzendruck jedoch niedriger; so wurde z.B. für das weit verbreitete fESWT-Gerät Duolith SD1 (Storz Medical, Tägerwil, Schweiz) ein maximaler Spitzendruck von 45 MPa berichtet (Perez et al., 2013). Bei rESWs liegt der maximale Spitzendruck nochmals erheblich niedriger, d.h. knapp über 10 MPa (Császár et al., 2015).

Hinzu kommt, dass – bedingt durch die Art ihrer Erzeugung (Abbildung 1.1) – elektrohydraulisch erzeugte fESWs immer Stoßwellen im rein physikalischen Sinne sind (Cleveland et al., 2007), bei elektromagnetisch und piezoelektrisch erzeugten fESWs dies aber nur bei hohen positiven Spitzendrücken der Fall ist (Cleveland et al., 2007), was ebenfalls durch die Art ihrer Erzeugung (Abbildungen 1.2 und 1.3) bedingt ist. So haben Perez et al. (2013) konkret gezeigt, dass das elektromagnetische fESWT-Gerät Duolith SD1 (Storz Medical) nicht stark genug ist, um Stoßwellen in rein physikalischem Sinne erzeugen zu können. Darüber hinaus haben Cleveland et al. (2007) gezeigt, dass rESWs grundsätzlich keine Stoßwellen im rein physikalischen Sinne sein können, auch wenn die Druckwellen durch konkave Applikatoren gebündelt werden.

Aus dem Gesagten ergibt sich, dass der Begriff "Stoßwelle" in der Medizin nicht dieselbe Bedeutung hat wie in der Physik. Darüber hinaus stellt sich die Frage, welcher Teil der Wirkweise von fESWs im Gewebe tatsächlich auf ihre Charakteristik echter Stoßwellen im rein physikalischen Sinne zurückgeführt werden kann (Maier und Schmitz, 2008), wenn denn tatsächlich mit echten Stoßwellen im rein physikalischen Sinne behandelt wird (was ja bei niedrigerenergetischen elektromagnetisch und piezoelektrisch erzeugten fESWs gar nicht der Fall ist, wie oben beschrieben). Endgültig verwirrend wird die Situation dadurch, dass sogar elektrohydraulisch erzeugte fESWs auf ihrem Weg durch Gewebe ihre Eigenschaft als echte Stoßwellen im rein physikalischen Sinne verlieren können (Cleveland et al., 1998).

Wahrscheinlich aus diesen Gründen haben Rompe et al. (2007a; 2013) den Begriff "Therapeutische Stoßwelle" in die Literatur eingeführt. Die in Abbildung 1.7 gezeigten

Charakteristika werden sowohl durch elektrohydraulisch, elektromagnetisch und piezoelektrisch erzeugte fESWs als auch durch rESWs erfüllt (Cleveland et al., 2007; Perez et al., 2013; Császár et al., 2015; Sternecker et al., 2018; neben vielen anderen).

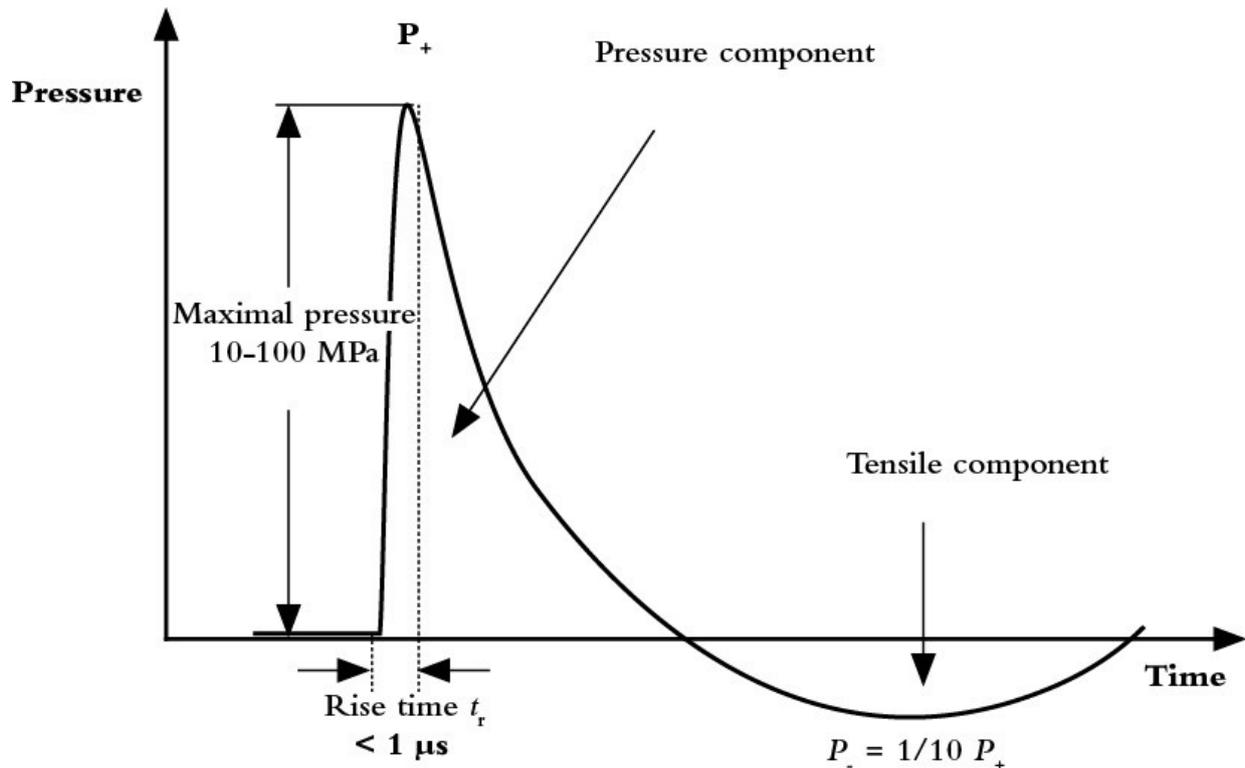


Abbildung 1.7 | Druck als Verlauf der Zeit einer "Therapeutischen Stoßwelle" (entnommen aus Rompe et al., 2007a). Dargestellt ist der positive Spitzendruck (P_+), der zwischen 10 MegaPascal (MPa) (Császár et al., 2015) und über 100 MPa (Sternecker et al., 2018) betragen kann, die schnelle Anstiegszeit von weniger als 1 Mikrosekunde (μs) und die Komponente negativen Drucks (P_-) mit einem negativen Spitzendruck von ungefähr 10% des positiven Spitzendrucks.

Ein weiteres wichtiges Charakteristikum von ESWs, welcher erhebliche Einfluss auf ihre therapeutische Wirksamkeit haben kann, ist die Energieflussdichte (EFD), gemessen in Millijoule pro Quadratmillimeter (mJ/mm^2). Bei fESWs wird die EFD im Stoßwellenfokus gemessen (Gerdesmeyer et al., 2002). Bei rESWs kann sie an verschiedenen Stellen im Abstand vom Applikator gemessen werden (Császár et al., 2015), ist jedoch unmittelbar am Applikator am höchsten.

Konkret ist die EFD das Integral der Energie (in mJ) innerhalb einer bestimmten Fläche (1 mm^2) innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls. Grundsätzlich können dabei, wie in Abbildung 1.8

gezeigt, die drei folgenden Zeitintervalle zur Berechnung der EFD herangezogen werden (Gerdesmeyer et al., 2002):

- Das Zeitintervall I_+ beginnt an dem Zeitpunkt, an dem zu Beginn des positiven Drucks 10% von P_+ vorherrscht, und endet an dem Zeitpunkt, an dem zum Ende des positiven Drucks wieder 10% von P_+ vorherrscht. Die EFD im Zeitintervall I_+ wird als positive Energieflussdichte (EFD₊) bezeichnet.
- Das Zeitintervall I_- beginnt an dem Zeitpunkt, an dem zu Beginn des negativen Drucks 10% von P_- vorherrscht, und endet an dem Zeitpunkt, an dem zum Ende des negativen Drucks wieder 10% von P_- vorherrscht. Die EFD im Zeitintervall I_- wird als negative Energieflussdichte (EFD₋) bezeichnet.
- Das Zeitintervall I beginnt an dem Zeitpunkt, an dem zu Beginn des positiven Drucks 10% von P_+ vorherrscht, und endet an dem Zeitpunkt, an dem zum Ende des negativen Drucks wieder 10% von P_- vorherrscht. Die EFD im Zeitintervall I wird als GesamtEnergieflussdichte (EFD) bezeichnet.

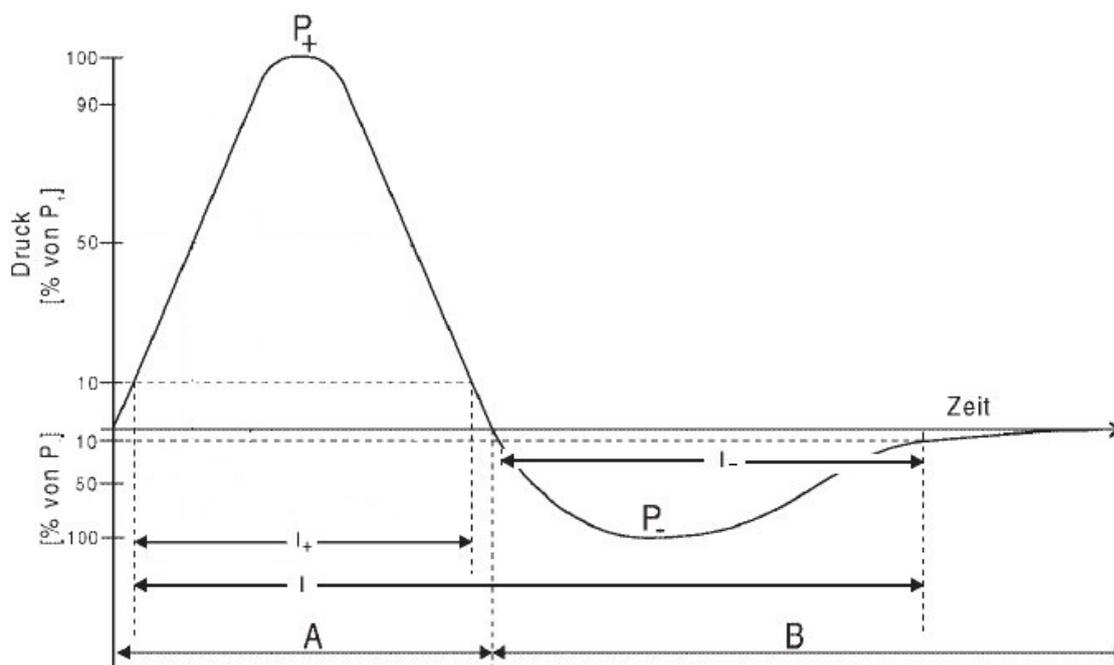


Abbildung 1.8 | Wichtige Charakteristika von extrakorporalen Stoßwellen (entnommen aus Gerdesmeyer et al., 2002): positiver Spitzendruck (P_+), negativer Spitzendruck (P_-), Zeitintervall zur Berechnung der positiven Energieflussdichte (I_+), Zeitintervall zur Berechnung der negativen Energieflussdichte (I_-), Dauer des positiven Drucks (A) und Dauer des negativen Drucks (B). Das Zeitintervall I_+ beginnt bei Überschreitung von 10% von P_+ zu Beginn des positiven Drucks und endet

bei Unterschreitung von 10% von P_+ zum Ende des positiven Drucks. Das Zeitintervall I beginnt bei Unterschreitung von 10% von P_- zu Beginn des negativen Drucks und endet bei Überschreitung von 10% von P_- zum Ende des negativen Drucks. Das Zeitintervall II beginnt ebenfalls bei Überschreitung von 10% von P_+ und endet, nachdem das negative Druckmaximum durchlaufen wurde, bei Überschreitung von 10% von P_- .

Rompe et al. (2007a) schlugen eine Einteilung der ESWs in niederenergetische ($<0.2 \text{ mJ/mm}^2$) und hochenergetische ($>0.2 \text{ mJ/mm}^2$) ESWs vor. Diese Einteilung erscheint aber eher willkürlich und wird für den klinischen Alltag nicht empfohlen (Schmitz et al., 2015). Allerdings konnten Schmitz et al. (2015) nachweisen, dass die Applikation hoher EFDs insgesamt positive Auswirkungen auf das Behandlungsergebnis mit ESWT hat. Dies macht deutlich, dass die EFD ein wichtiger Faktor ist, um einen maximalen Therapieerfolg zu erzielen.

1.5 Wirkungsweise von extrakorporalen Stoßwellen im Gewebe

Eine vollständige Beschreibung aller in der Literatur berichteten Wirkungsweisen von ESWs im Gewebe würde den Rahmen der vorliegenden Arbeit sprengen, ist aber auch nicht das Thema der vorliegenden Arbeit. Dementsprechend werden hier nur die wichtigsten Effekte und Mechanismen kurz vorgestellt.

1.5.1 Mechanische Effekte

Die mechanische Wirkung von ESWs ist proportional zur Größe des Impedanzunterschiedes (Schallleitungswiderstand, der gewebe- bzw. materialabhängig ist) der Medien, welche die Wellen durchlaufen. Dabei ist die Energieabgabe von ESWs umso höher, je größer der Impedanzunterschied beim Übergang zweier Medien ist (Gerdesmeyer et al., 2002). Dies ist zum Beispiel beim Übergang von Weichgewebe auf Knochen oder bei der Nierensteinzertrümmerung der Fall. An den Grenzflächen können dann hohe mechanische Energien auftreten. Dies bewirkt im Falle von Nierensteinen eine Zerstörung der Konkreme (Ueberle et al., 2007; Rompe et al., 2013).

Bei den Indikationen der ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat geht man heute davon aus, dass mechanische Effekte von Stoßwellen keine bzw. nur eine untergeordnete Rolle spielen (Details werden in Abschnitt 1.5.3. erläutert).

1.5.2 Kavitation

Unter Kavitation versteht man die Bildung von gasgefüllten Hohlräumen in einer Flüssigkeit durch Unterdruck (Ueberle, 2007; Rompe et al., 2013; Schmitz et al., 2013; Császár et al., 2015). Der Unterdruck (d.h. das Absinken des lokalen Drucks im Medium) entsteht durch den

negativen Druckanteil von Stoßwellen und führt zu einem Überschreiten der Bindungskräfte (Kohäsion) im Medium (Gerdesmeyer et al., 2002). In der Folge bilden sich Blasen (gasgefüllte Hohlräume) durch das nun freigewordene Gas. Diese sogenannten Kavitationsblasen expandieren, bis der Druck in der Flüssigkeit wieder zunimmt, und kollabieren dann unter Entstehung von Kollapswellen, welche neue Stoßwellen erzeugen (Ueberle, 2007). Befindet sich eine solche Gasblase nahe an einer Grenzfläche, erfolgt die Implosion asymmetrisch unter Entstehung von sogenannten "jet streams" (Flüssigkeitsstrahlen) (Gerdesmeyer et al., 2002; Rompe et al., 2013). Diese jet streams sind Hochgeschwindigkeitsströme und erreichen Geschwindigkeiten von bis zu 800 m/s (Wess, 2004). Sie können durch ihre hohen Energien am umliegenden Gewebe Schäden hervorrufen (Rompe et al., 2013). Dies kann zu unerwünschten Nebenwirkungen im behandelten Gewebe (Hämatome, Ruptur von Blutgefäßen) und im schlimmsten Fall zu dauerhaften Verletzungen von Niere und Lunge führen (Miller, 2007; Chen et al., 2010). Dies ist auch der Grund dafür, dass über luftgefüllten Organen keine ESWs appliziert werden dürfen.

Es ist wichtig, darauf hinzuweisen, dass sowohl rESWs als auch fESWs Kavitation auslösen können (z.B. Schmitz et al., 2013; Császár et al., 2015).

Werden ESWs mit Frequenzen von mehr als 5 Hertz generiert (also mehr als 5 ESWs pro Sekunde), ist es möglich, dass bei Eintreffen eines nachfolgenden Druckpulses noch kein Kollaps der Kavitationsblasen stattgefunden hat. In diesem Fall kann es durch Eintreffen des nachfolgenden Druckpulses zu einem forcierten Kollaps der Kavitationsblasen kommen (Abbildung 1.9). Die aus dem forcierten Kollaps der Kavitationsblasen erzeugten jet streams weisen hohe Energien auf und können noch stärkere Defekte an umliegenden Geweben erzeugen (Gerdesmyer et al., 2002).

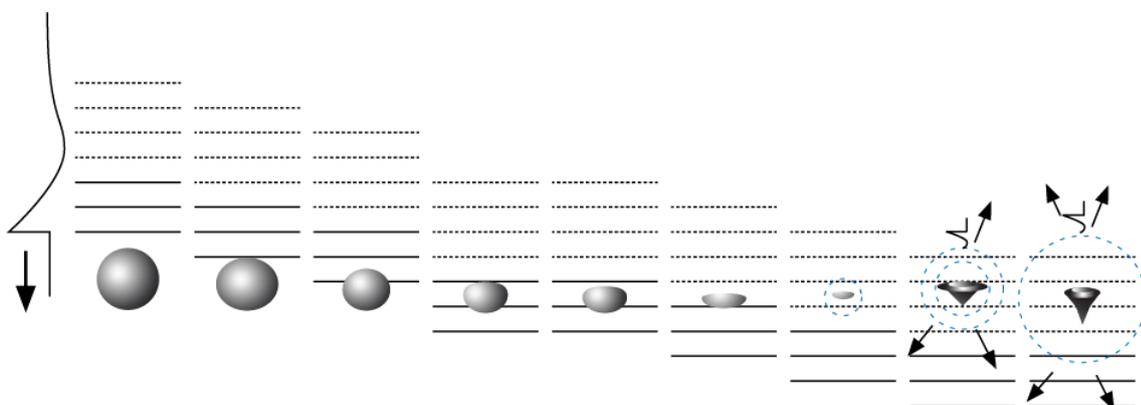


Abbildung 1.9 | Schematische Darstellung einer ankommenden extrakorporalen Stoßwelle (links), die auf eine Kavitationsblase stößt, wodurch diese kollabiert und es zu weiteren, energiereichen jet streams kommt (modifiziert nach Ueberle, 2007).

1.5.3 Molekulare und zelluläre Effekte von extrakorporalen Stoßwellen im Gewebe

1.5.3.1 Analgesie

Ein wichtiges Ziel von Behandlungen mit ESWs ist praktisch immer eine Schmerzreduktion und somit die Verbesserung der Lebensqualität der Patient:innen. Die Einstellung einer Analgesie im Anschluss an die Applikation von ESWs ist maßgeblich für die langfristige Schmerzreduktion verantwortlich. Im Folgenden wird der Mechanismus, welcher für die Analgesie im Gewebe verantwortlich ist, erläutert. Dazu ist es notwendig, zunächst kurz die Grundlagen der Schmerzweiterleitung zu erläutern.

Myelinisierte Schmerzfasern (auch A-Delta-Fasern genannt) reagieren auf mechanische Reize oder auf Temperaturen im schmerzhaften Bereich. Sie sind für das akute Gefühl von scharfen, hellen Schmerzen verantwortlich (Nozizeption). Als Neurotransmitter verwenden diese Schmerzfasern Glutamat. Nicht-myelinisierte Nervenfasern sprechen auf vielfache Reize an, so auch auf mechanische, thermische und metabolische Faktoren. Sie sind für den langsamen, brennenden, dumpfen und langanhaltenden Schmerz verantwortlich. Diese sogenannten C-Fasern verwenden ebenfalls Glutamat als Neurotransmitter. Daneben schütten sie bei Aktivierung ihrer Nervenendigungen, zum Beispiel durch ESWs, auch bestimmte Neuropeptide als Kostransmitter (Substanz P und *Calcitonin Gene-Related Peptide* [CGRP]) aus (Maier et al., 2003; Takahashi et al., 2004; Klinker et al., 2010). Diese Neuropeptide werden sowohl im Gewebe als auch im Rückenmark ausgeschüttet.

Aktivierung der nozizeptiven C-Fasern und Freisetzung der genannten Neuropeptide wird als eine der treibenden Kräfte bei der Aufrechterhaltung der sogenannten neurogenen Entzündung diskutiert, die ihrerseits als Grundlage insbesondere von Tendinopathien angesehen wird (Uchio et al., 2002; Andersson et al., 2011). Auch in aktiven Triggerpunkten beim myofaszialen Schmerzsyndrom wurden hohe Konzentrationen von Substanz P nachgewiesen (Shah et al., 2008). Maier et al. (2003) konnten zeigen, dass ein enger Zusammenhang zwischen dem zeitlichen Verlauf der Freisetzung von Substanz P und dem klinisch zeitlichen Verlauf des Auftretens von Schmerzen und der anschließenden Schmerzlinderung nach Therapie mit ESWT bei Sehnenerkrankungen besteht. Dabei wird die (Über-) Stimulation der nozizeptiven C-Fasern für die Schmerzen während und nach einer Behandlung mit ESWT verantwortlich gemacht (Rompe et al., 2013). Einen Vergleich stellt das Brennen im Mund nach dem Essen von roten Chilischoten dar. Diese enthalten Capsaicin, für welches die nozizeptiven C-Fasern TRPV1-Rezeptoren enthalten und somit von Capsaicin aktiviert werden. Die C-Fasern werden aber nach einer gewissen Zeit durch das Überangebot an Capsaicin und die Verringerung der Verfügbarkeit von Substanz P deaktiviert, weshalb sich anstelle des brennenden Mundes ein Taubheitsgefühl einstellt (Klinker et al., 2010). Über denselben Mechanismus wirken wohl auch ESWs an den nozizeptiven C-Fasern. Zunächst

führt die Applikation von ESWs zu einer Ausschüttung von Substanz P und CGRP und folglich zu Schmerzen während und nach der Applikation. Bei wiederholter Anwendung schütten die C-Fasern keine Neuropeptide mehr aus und eine längerfristige Analgesie stellt sich ein (Maier et al., 2003; Schmitz und DePace, 2009; Klonschinski et al., 2011).

1.5.3.2 Regeneration von Gewebe

Neben der Schmerzreduktion kann die ESWT auch zur Heilung des betreffenden Gewebes des Stütz- und Bewegungsapparates führen. Als Folge einer Hyperpolarisation der Zellmembran und der Freisetzung von Sauerstoffradikalen durch die Exposition mit ESWs kommt es zu einer Aktivierung einer Kinase-Kaskade, wodurch es nachweislich zu einer verstärkten Expression von Wachstumsfaktoren wie bestimmter *Bone Morphogenic Proteins* (BMPs), der *Endothelial Nitric Oxide Synthase* (eNOS), des *Vascular Endothelial Growth Factors* (VEGF), des *Proliferating Cell Nuclear Antigens* (PCNA), des *Transforming Growth Factors Beta 1* (TGF-beta1) sowie des *Basic Fibroblast Growth Factors* (bFGF) kommen kann (z.B. Wang, 2003; Gollwitzer et al., 2006; Hofmann et al., 2008; Klonschinski et al., 2011; Rompe et al. 2013). In der Folge kann es dann zur Stimulation u.a. von Osteoblasten, Osteoklasten und Fibroblasten kommen (z.B. Wang, 2003; Gollwitzer et al., 2006; Hofmann et al., 2008; Klonschinski et al., 2011; Rompe et al. 2013; Hochstraßer et al., 2016). Der Vorgang dieser sogenannten Mechanotransduktion (d.h. die Übertragung eines mechanischen Impulses (Stoßwelle) auf das Gewebe und dessen Umwandlung in eine biologische Reaktion) führt zur Freisetzung der genannten Wachstumsfaktoren und der Aktivierung von Zellen im behandelten Gewebe (Schaden et al., 2015). Folglich findet eine Regeneration des Stütz- und Bewegungsapparates statt, was neben dem subjektiven Empfinden der Schmerzreduktion als objektiver Therapieerfolg wahrgenommen werden kann.

1.6 Extrakorporale Stoßwellentherapie am Stütz- und Bewegungsapparat in der evidenzbasierten Medizin: die PEDro Datenbank

Datenbanken wie z.B. PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>) sind heutzutage kaum mehr geeignet, einen umfassenden Überblick über den aktuellen Stand der Forschung zur ESWT in der evidenzbasierten Medizin zu erhalten. Als Beispiel sei PubMed genannt, wo eine Suche mit den Stichworten "shock wave", "shock waves", "shockwave" und "shockwaves" am 4. Mai 2021 insgesamt 15.831 Treffer erzielte (darunter 1.718 Übersichtsarbeiten (*reviews*) und 328 systematische Übersichtsarbeiten (*systematic reviews*)).

Von daher erscheint die Suche in spezialisierten Datenbanken viel sinnvoller, wobei im Bereich der konservativen (nicht-operativen) Behandlungen von Erkrankungen des Stütz- und

Bewegungsapparates die *Physiotherapy Evidence Database* ("PEDro-Datenbank") (www.pedro.org.au) zweifelsohne die internationale Spitzenposition einnimmt (Schmitz et al., 2015). Die PEDro-Datenbank stellt mit über 45.000 randomisierten, kontrollierten Studien, systematischen Übersichtsarbeiten und klinischen Richtlinien eine einzigartige Informationsquelle für die klinische Praxis dar. Sie wird vom Institute for Musculoskeletal Health, School of Public Health an der University of Sydney (Sydney, Australien) unterhalten und ist frei verfügbar.

Zum Namen "*Physiotherapy Evidence Database*" sei angemerkt, dass (anders als in Deutschland) in einigen Ländern wie zum Beispiel Australien, Neuseeland, Norwegen und den Niederlanden Therapien wie die ESWT nicht von Orthopäd:innen, sondern von Physiotherapeut:innen durchgeführt werden. Orthopäd:innen sind in diesen Ländern meist nur operativ tätig und als sogenannte "orthopedic surgeons" bekannt. Niedergelassene Orthopäd:innen, wie wir sie in Deutschland kennen, gibt es in dieser Form in den genannten Ländern nicht. Darüber hinaus ist die Physiotherapie, anders als bei uns, in den genannten Ländern ein reguläres Studienfach (Bachelor, Master, Promotion möglich). Dementsprechend würde man in Deutschland eine solche Datenbank, wenn sie hier unterhalten würde, zum Beispiel "Datenbank zur Physikalischen Medizin" nennen.

Um in die PEDro-Datenbank aufgenommen werden zu können, muss eine Studie die folgenden Bedingungen erfüllen:

- Die Studie muss den Vergleich von mindestens zwei Interventionen beinhalten. Eine dieser Interventionen kann eine Scheinbehandlung bzw. eine Nichtbehandlung (z.B. "wait and see") sein.
- Mindestens eine der untersuchten Interventionen muss entweder gegenwärtig zur physiotherapeutischen Praxis (gemäß den oben erfolgten Erläuterungen) zählen oder physiotherapeutische Praxis werden können. Die untersuchte Intervention selbst muss aber nicht von Physiotherapeut:innen (ebenfalls gemäß der oben erfolgten Erläuterungen) durchgeführt werden (in Deutschland muss die untersuchte Intervention also nicht unbedingt von niedergelassenen Orthopäd:innen durchgeführt werden).
- Die Interventionen sollen Anwendung auf Proband:innen finden, die repräsentativ sind (oder bei denen die Repräsentativität intendiert ist) für die Personengruppen, bei denen die Intervention im Alltag zur Anwendung käme.
- In der Studie sollen die Proband:innen randomisiert auf die Interventionen verteilt worden oder wenigstens eine Randomisierung beabsichtigt worden sein ("*intended-to-be-random allocation*").
- Die Studie muss als vollständiger Artikel (nicht nur als Abstract) in einer Fachzeitschrift mit Peer-Review veröffentlicht worden sein.

In einem zweiten Schritt wird jede in die PEDro-Datenbank aufgenommene Studie durch die Mitarbeiter:innen des Institute for Musculoskeletal Health, School of Public Health an der University of Sydney einer standardisierten Bewertung unterzogen. Dabei werden die in Tabelle 1.2 zusammengefassten Bewertungskriterien verwendet, die ihrerseits auf der sogenannten Delphi-Liste (Verhagen et al., 1998) basieren. Für jedes zutreffende Kriterium wird ein Punkt vergeben, wobei zu beachten ist, dass das erste Kriterium nicht zur Berechnung der sogenannten PEDro-Gesamtbewertung herangezogen wird. Es können somit maximal 10 Punkte vergeben werden.

Tabelle 1.2 | Kriterien der PEDro-Datenbank zur Bewertung randomisierter, kontrollierter Studien (modifiziert von www.pedro.org.au). Zur Berechnung der PEDro-Gesamtbewertung einer entsprechenden Studie werden nur die Kriterien 2-11 herangezogen, wobei für jedes erfüllte Einzelkriterium jeweils ein Punkt vergeben wird.

Nr.	Bewertungskriterium
1	Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden spezifiziert.
2	Die Proband:innen wurden den Gruppen randomisiert zugeordnet (im Falle von crossover Studien wurde die Abfolge der Behandlungen den Proband:innen randomisiert zugeordnet).
3	Die Zuordnung zu den Gruppen erfolgte verborgen.
4	Zu Beginn der Studie waren die Gruppen bzgl. der wichtigsten prognostischen Indikatoren einander ähnlich.
5	Alle Proband:innen waren geblindet.
6	Alle Therapeut:innen, die eine Therapie durchgeführt haben, waren geblindet.
7	Alle Untersucher:innen, die zumindest ein zentrales outcome gemessen haben, waren geblindet.
8	Von mehr als 85% der ursprünglich den Gruppen zugeordneten Proband:innen wurde zumindest ein zentrales outcome gemessen.
9	Alle Proband:innen, für die Ergebnismessungen zur Verfügung standen, haben die Behandlung oder Kontrollanwendung bekommen wie zugeordnet, oder es wurden, wenn dies nicht der Fall war, Daten für zumindest ein zentrales outcome durch eine "intention to treat" Methode analysiert.
10	Für mindestens ein zentrales outcome wurden die Ergebnisse statistischer Gruppenvergleiche berichtet.
11	Die Studie berichtet sowohl Punkt- als auch Streuungsmaße für zumindest ein zentrales outcome.

2 Zielsetzung der vorliegenden Arbeit

In einer im Jahr 2015 vorgelegten systematischen Übersichtsarbeit haben Schmitz et al. (2015) alle zum Zeitpunkt 17. Mai 2015 in der PEDro-Datenbank gelisteten Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat systematisch untersucht. Als wesentliches Ergebnis konnten die Autoren die in Tabelle 2.1 zusammengestellten Kernaussagen zur ESWT aufstellen.

Tabelle 2.1 | Kernaussagen zur extrakorporalen Stoßwellentherapie (basierend auf Schmitz et al., 2015).

Nummer	Aussage
1	ESWT ist wirksam.
2	ESWT ist sicher.
3	Für bestimmte Indikationen am Stütz- und Bewegungsapparat sind randomisierte, klinische Studien zur ESWT der vorherrschende Studientyp in der PEDro-Datenbank und/oder erzielten die höchste PEDro-Gesamtbewertung unter allen untersuchten Behandlungsmodalitäten.
4	Es gibt in der PEDro-Datenbank keinen Unterschied in der „Qualität“ (d.h. der mittleren PEDro-Gesamtbewertung) zwischen Studien zur ESWT mit positivem Ergebnis und Studien zur ESWT mit negativem Ergebnis.
5	Die Anwendung von Lokalanästhesie hat einen negativen Einfluss auf das Ergebnis bei ESWT.
6	Die Anwendung unzureichender Energie (EFD) beeinflusst das Ergebnis der ESWT negativ.
7	Es gibt keine wissenschaftlichen Beweise zugunsten fESWT oder rESWT in Bezug auf das Behandlungsergebnis.
8	Die Unterscheidung zwischen radialer ESWT als "niedrigenergetischer ESWT" und fokussierter ESWT als "hochenergetischer ESWT" ist nicht korrekt und sollte verworfen werden.
9	Es gibt keine wissenschaftlichen Beweise dafür, dass eine bestimmte fESWT-Technologie den anderen Technologien überlegen ist.
10	Ein optimales Behandlungsprotokoll für die Anwendung von ESWT sieht drei Behandlungen in einem wöchentlichen Intervall, 2000 ESWs pro Behandlung und die maximal mögliche Energieflussdichte (EFD) vor.

Seit dem 17. Mai 2015 wurden etliche neue Studien zur ESWT in die PEDro-Datenbank aufgenommen, wodurch die systematische Übersichtsarbeit von Schmitz et al. (2015) nicht mehr dem aktuellen Stand des Wissens entspricht. Somit lag das Hauptziel der vorliegenden Arbeit darin, die von Schmitz et al. (2015) vorgenommene systematische Untersuchung zum Stichtag 11. November 2020 zu wiederholen. Dabei wurde jedoch methodisch über die von Schmitz et al. (2015) vorgenommenen Analysen hinausgegangen. Konkret wurde wie folgt vorgegangen:

- In einem ersten Schritt wurde ein *systematic review* aller am Stichtag 11. November 2020 in der Pedro-Datenbank gelisteten Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat durchgeführt, was einer Aktualisierung der Studie von Schmitz et al. (2015) entsprach. Dabei kamen die *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*

(PRISMA-Kriterien) (Liberati et al., 2009) zur Anwendung. Mit der Konzentration auf die PEDro-Datenbank wurden in der vorliegenden Arbeit bewusst nur randomisierte, kontrollierte Studien berücksichtigt, da die PEDro-Datenbank keine Fallbeschreibungen, Kohortenstudien und/oder retrospektive Studien berücksichtigt.

- Anschließend wurde eine Metaanalyse aller Studien durchgeführt, die bei dem *systematic review* gefunden wurden.

3 Material und Methoden

3.1 Datengewinnung

Bis zum Stichtag 11. November 2020 wurde die PEDro-Datenbank mehrfach nach relevanten Studien durchsucht. Wie bereits erwähnt, wurde mit der Konzentration auf die PEDro-Datenbank in der vorliegenden Arbeit bewusst eine Eingrenzung auf randomisierte, kontrollierte Studien vorgenommen, da die PEDro-Datenbank keine Fallbeschreibungen, Kohortenstudien und/oder retrospektive Studien berücksichtigt.

Analog zu Schmitz et al. (2015) lauteten die Suchbegriffe "shock wave", "shock waves", "shockwave", "shockwaves", "lithotripsy" und "lithotrypter", wobei alle Suchbegriffe getrennt verwendet wurden (d.h., die PEDro-Datenbank wurde pro Durchgang sechs Mal durchsucht).

3.2 Vorauswahl der gefundenen Studien

In einem mehrstufigen Verfahren wurden von allen gefundenen Studien die folgenden Studien ausgeschlossen:

- Duplikate,
- Übersichtsarbeiten,
- Studien zu nicht primär orthopädischen Indikationen (Wundheilung, Spastizität, erektile Dysfunktion etc.),
- Studien, in denen lediglich Nebenwirkungen von ESWT untersucht wurden,
- Studien, in denen nur die Temperatur des behandelten Gewebes untersucht wurde,
- Studien zu Indikationen, bei denen das genannte Zielgewebe nicht direkt mit ESWT behandelt wurde, sowie
- Doppelpublikationen.

3.3 Qualitative Analyse der mittels *systematic review* ermittelten Studien

Alle anderen Studien wurden vollständig gelesen und gemäß dem Ergebnis der Studie in eine der folgenden Gruppen eingeteilt:

- rESWT+: Studien zur rESWT mit positivem Ergebnis (d.h. statistisch signifikant bessere Behandlungsergebnisse mit rESWT als mit Scheinbehandlung, Nichtbehandlung oder einer alternativen Behandlungsmethode);
- rESWT-: Studien zur rESWT mit negativem Ergebnis (d.h. keine statistisch signifikant besseren Behandlungsergebnisse mit rESWT als mit Scheinbehandlung, Nichtbehandlung oder einer alternativen Behandlungsmethode);

- fESWT+: Studien zur fESWT mit positivem Ergebnis (d.h. statistisch signifikant bessere Behandlungsergebnisse mit fESWT als mit Scheinbehandlung, Nichtbehandlung oder einer alternativen Behandlungsmethode);
- fESWT-: Studien zur fESWT mit negativem Ergebnis (d.h. keine statistisch signifikant besseren Behandlungsergebnisse mit fESWT als mit Scheinbehandlung, Nichtbehandlung oder einer alternativen Behandlungsmethode);
- rESWT/fESWT-: Studien zur Kombination von rESWT und fESWT mit negativem Ergebnis (d.h. keine statistisch signifikant besseren Behandlungsergebnisse mit einer Kombination aus rESWT und fESWT als mit Scheinbehandlung, Nichtbehandlung oder einer alternativen Behandlungsmethode); sowie
- Andere Studien: Studien, die aufgrund des Studiendesigns keiner der genannten Gruppen zugeordnet werden konnten, da keine Scheinbehandlung, Nichtbehandlung oder alternative Behandlungsmethode als Kontrolle verwendet wurden.

3.4 Statistische Analyse der mittels *systematic review* ermittelten Studien

Aus allen in die genannten Gruppen rESWT+, rESWT-, fESWT+, fESWT- und rESWT/fESWT- eingeteilten Studien wurden die folgenden Informationen extrahiert:

- Anzahl der ESWT-Behandlungen,
- Zeitintervall zwischen den ESWT-Behandlungen, wenn mehr als eine Behandlung erfolgt war,
- Anzahl von rESWs oder fESWs pro Behandlung,
- Energieflussdichte der applizierten rESWs oder fESWs,
- Insgesamt applizierte Energieflussdichte (Anzahl der Behandlungen × Anzahl von rESWs bzw. fESWs pro Behandlung × Energieflussdichte der applizierten rESWs bzw. fESWs),
- PEDro-Gesamtbewertung, sowie
- PEDro-Einzelbewertungen (in Tabelle 1.2 aufgelistet).

Mit Ausnahme der PEDro-Einzelbewertungen wurden für alle genannten Variablen Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimal- und Maximalwert berechnet. Diese Berechnungen erfolgten getrennt für die Gruppen rESWT+, rESWT-, fESWT+ und fESWT- (in der Gruppe rESWT/fESWT- fand sich nur eine Studie) in zwei Durchgängen:

- Im ersten Durchgang wurden jeweils alle Studien berücksichtigt, die im *systematic review* berücksichtigt wurden.
- Im zweiten Durchgang wurden nur Studien zu denjenigen Indikationen berücksichtigt, die bei der anschließenden Metaanalyse weiter untersucht wurden (Plantarfasziopathie, Tendinopathien der Achillessehne, Kniegelenksarthrose, Tennisellenbogen sowie

Tendinopathien der Rotatorenmanschette (einschließlich der Kalkschulter) (vgl. Abschnitt 3.4).

Der statistische Vergleich der Gruppen rESWT+, rESWT-, fESWT+ und fESWT- (Nullhypothese: alle vier Gruppen entstammen derselben Grundgesamtheit) erfolgte mittels nicht-parametrischem Kruskal-Wallis Test, gefolgt von paarweisen Vergleichen mittels Dunn Bonferroni Test. P-Werte $< 0,05$ wurden als statistisch signifikant gewertet. Die statistische Analyse wurde mit der Software GraphPad Prism (Version 9.1.0 für Windows; GraphPad Software, San Diego, Kalifornien, USA) durchgeführt.

3.5 Metaanalyse der mittels *systematic review* ermittelten Studien

Schließlich wurde für jede einzelne im *systematic review* berücksichtigte Studie überprüft, ob sie für eine Metaanalyse geeignet war. Dabei galten die folgenden Kriterien:

- Verfügbarkeit von mindestens drei Studien zu einer Indikation, die für eine Metaanalyse geeignet waren,
- Vergleich zwischen rESWT bzw. fESWT und Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung;
- Angabe eines Schmerzscore, sowie
- ausreichend vorhandene Datenlage (z.B. Angabe von gruppenspezifischen Mittelwerten und Streumaßen).

Die Metaanalyse erfolgte mit der Software Comprehensive Meta-Analysis (Biostat, Englewood, New Jersey, USA). Dabei wurde zwischen den folgenden vier Gruppen von Studien unterschieden (vgl. Schmitz et al., 2015):

- Studien zu rESWT (immer ohne Lokalanästhesie)
- Studien zu fESWT mit Lokalanästhesie
- Studien zu fESWT ohne Lokalanästhesie
- Studien zu rESWT/fESWT (ohne Lokalanästhesie)

Die Ergebnisse der Metaanalyse wurden grafisch mittels *Forest-Plots* dargestellt.

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnis der Datengewinnung

Mit den Suchbegriffen "shock wave", "shock waves", "shockwave", "shockwaves", "lithotripsy" und "lithotrypter" wurden am 11. November 2020 in der PEDro-Datenbank insgesamt 419 Studien gefunden; weitere Datenbanken wurden – basierend auf dem Studiendesign – nicht durchsucht. Abbildung 4.1 fasst das Ergebnis der Datengewinnung grafisch zusammen.

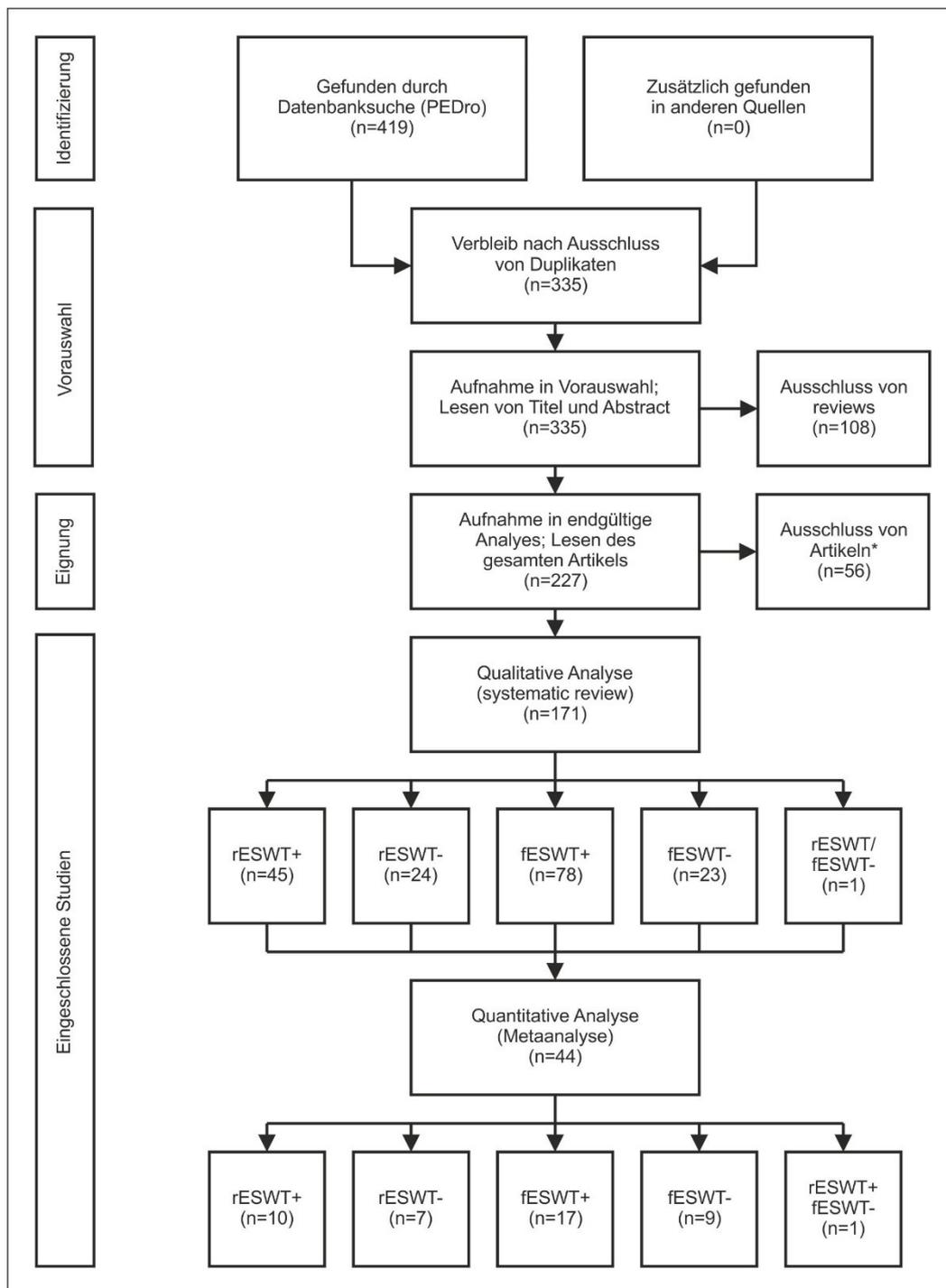


Abbildung 4.1 | Flussdiagramm der in der vorliegenden Arbeit vorgenommenen Literaturrecherche in der PEDro-Datenbank gemäß den *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*

(PRISMA-Kriterien) (modifiziert nach Liberati et al., 2009).

Anmerkungen: *: Studien (i) zu nicht primär orthopädischen Indikationen, (ii) in denen lediglich Nebenwirkungen von ESWT untersucht wurden, (iii) in denen nur die Temperatur des behandelten Gewebes untersucht wurde und (iv) Doppelpublikationen. **: ESWT bei myofaszialem Schmerzsyndrom bzw. Plantarfasziopathie mit demselben Gerät, aber verschiedenen Energieflussdichten; keine Scheinbehandlung, Nichtbehandlung oder alternative Behandlungsmethode als Kontrolle.

4.2 Ergebnis der Vorauswahl der gefundenen Studien

Nach Ausschluss von 84 Duplikaten verblieben 335 Studien, von denen 108 Übersichtsarbeiten (reviews) von der weiteren Analyse ausgeschlossen wurden (diese Übersichtsarbeiten sind in der PEDro-Datenbank eindeutig mit "systematic review" gekennzeichnet).

Die verbliebenen 227 Studien wurden vollständig gelesen; dabei wurden weitere 56 Studien aus verschiedenen Gründen ausgeschlossen:

- Studien zu nicht primär orthopädischen Indikationen (Wundheilung, Spastizität, erektile Dysfunktion etc.);
- Studien, in denen weder rESWT noch fESWT verwendet wurden (Engebretsen et al., 2010);
- Studien, in denen lediglich Nebenwirkungen von ESWT untersucht wurden (Haake et al., 2002c);
- Studien, in denen nur die Temperatur des behandelten Gewebes untersucht wurde (Haake et al., 2002d);
- Studien zu Indikationen, bei denen das genannte Zielgewebe nicht direkt mit ESWT behandelt wurde (Chen et al., 2014); sowie
- Doppelpublikationen (eine Studie von Gross et al. (2002) stellte sich als Doppelpublikation einer früheren Studie von Haake et al. (2001) heraus; dies wurde von Prof. Dr. med. Matthias Haake (Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Wirbelsäulenchirurgie, Schmerztherapie, Klinikum am Plattenwald, Bad Friedrichshall) auf gezielte Nachfrage bestätigt).

4.3 Ergebnisse der qualitativen Analyse der mittels *systematic review* ermittelten Studien

Die verbliebenen 171 Studien wurden entsprechend ihrem Ergebnis in eine der Gruppen rESWT+ (45 Studien), rESWT- (24 Studien), fESWT+ (78 Studien), fESWT- (23 Studien) und

rESWT/fESWT- (eine Studie) eingeteilt. Dabei ist folgendes zu berücksichtigen:

- In einer Studie von Lohrer et al. (2010) wurden Behandlungen der Plantarfasziopathie mit rESWT mit Behandlungen derselben Indikation mit fESWT untersucht (beide mit positivem Ergebnis). Dementsprechend wurde diese Studie sowohl in der Gruppe rESWT+ als auch in der Gruppe fESWT+ gezählt.
- In einer Studie von Loew et al. (1999) wurde die Kalkschulter mit drei verschiedenen fESWT-Protokollen behandelt (alle mit positivem Ergebnis). Diese Studie wurde in der Gruppe fESWT+ aber nur einmal gezählt.
- In einer Studie von Vahdatpour et al. (2018) wurden Tendinopathien der Achillessehne sowohl mit rESWT als auch mit fESWT behandelt (Kontrolle: Scheinbehandlung; Studie mit negativem Ergebnis). Dementsprechend konnte diese Studie keiner der Gruppen rESWT+, rESWT-, fESWT+ oder fESWT- zugeordnet werden (Gruppe rESWT/fESWT-).

Die entsprechenden Details sind in den Tabellen 4.1 bis 4.3 zusammengefasst.

In Bezug auf die in den analysierten 171 Studien verwendeten rESWT- und fESWT-Geräte zeigte sich, dass insgesamt nur acht Geräte in jeweils mehr als fünf Studien verwendet worden waren (Details sind in Tabelle 4.4 zusammengefasst). Von besonderem Interesse sind dabei die Zeiträume, in denen die entsprechenden Publikationen erfolgten:

- DolorClast (rESWT) (Electro Medical Systems, Nyon, Schweiz): 34 Studien, davon 13 Studien im Zeitraum 2003-2010 und 21 Studien im Zeitraum 2011-2020;
- Epos Ultra (fESWT) (Dornier MedTech, Wessling, Deutschland): 12 Studien, davon acht Studien im Zeitraum 2002-2010 und vier Studien im Zeitraum 2011-2020;
- Sonocur (fESWT) (Siemens, Erlangen Deutschland): 12 Studien, davon alle Studien im Zeitraum 2001-2005;
- Duolith SD 1 (fESWT) (Storz Medical, Tägerwillen, Schweiz): 12 Studien, davon zwei Studien im Zeitraum 2007-2010 und 10 Studien im Zeitraum 2011-2020;
- Minilith SL 1 (fESWT) (Storz Medical): 10 Studien, davon sieben Studien im Zeitraum 2001-2010 und drei Studien im Zeitraum 2011-2018;
- Modulith SLK (fESWT) (Storz Medical): 10 Studien, davon fünf Studien im Zeitraum 2005-2007 und fünf Studien im Zeitraum 2011-2017;
- Ossatron (fESWT) (High Medical Technologies, Lengwil, Schweiz): sieben Studien, davon sechs Studien im Zeitraum 2001-2007 und eine Studie in 2012; sowie
- Osteostar (fESWT) (Siemens): sieben Studien, davon alle Studien im Zeitraum 1996-2002.

Bei den Geräten Epos Ultra, Sonocur, Minilith SL 1, Modulith SLK, Ossatron und Osteostar handelt es sich um sogenannte "hochenergetische" fESWT-Geräte mit Ortungsvorrichtung, die in Fachkreisen der ersten Generation von ESWT-Geräten zugerechnet werden (persönliche Mitteilung durch Univ. Prof. Dr. med. Christoph Schmitz; Anatomische Anstalt der

LMU München). In der aktuellen klinischen Forschung zur ESWT dominieren dagegen die Geräte DolorClast (rESWT) (mit weitem Abstand auf Platz 1) sowie Duolith SD 1 (fESWT).

Tabelle 4.4 zeigt auch, dass bei den Studien zur rESWT, in denen das verwendete Gerät spezifiziert wurde, mehr Studien mit dem Gerät DolorClast durchgeführt wurden als mit allen anderen rESWT-Geräten zusammen (Tabelle 4.1).

Tabelle 4.1 | Randomisierte, kontrollierte Studien zur radialen extrakorporalen Stoßwellentherapie (rESWT), die zum Stichtag 11. November 2020 in der PEDro-Datenbank (www.pedro.org.au) aufgeführt waren.

Die Tabelle zeigt für jede aufgeführte Studie die PEDro-Gesamtbewertung (P), die behandelte Indikation, den Namen der Erstautorin/des Erstautors und das Erscheinungsjahr, das Ergebnis der Studie (E) (+: statistisch signifikant besseres Behandlungsergebnis mit rESWT als mit Scheinbehandlung, Nichtbehandlung oder einer alternativen Behandlungsmethode; -: kein statistisch signifikant besseres Behandlungsergebnis mit rESWT als mit Scheinbehandlung, Nichtbehandlung oder einer alternativen Behandlungsmethode), das verwendete rESWT-Gerät, die verwendete Energieflussdichte (EFD+: positive Energieflussdichte; ?: unklar, ob EFD+ oder die Gesamtenergieflussdichte angegeben wurde), die Anzahl von Behandlungen (B), das Zeitintervall in Tagen zwischen zwei Behandlungen (I), die Anzahl von radialen extrakorporalen Stoßwellen (rESWs) pro Behandlung (N) sowie die Erfüllung (+) oder Nicht-Erfüllung (-) der einzelnen, in Tabelle 1.2 aufgeführten PEDro-Bewertungskriterien (das erste in Tabelle 1.2 aufgeführte PEDro-Bewertungskriterium ist hier nicht angegeben, da es nicht zur Berechnung der PEDro-Gesamtbewertung herangezogen wird).

Anmerkungen: ^a: die Namen der Hersteller der verwendeten Geräte sind in Tabelle 4.4 zusammengefasst; ^b: bis zur maximalen, individuell tolerierten Energieflussdichte; ^c: Energieflussdichte der rESWs während der Behandlung geändert.

P	Indikation	Studie	E	Gerät ^a	EFD	A	I	N	PEDro Bewertungskriterien										
									2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
9	Plantarfasziopathie	Gerdemeyer et al. (2008)	+	DolorClast	0,16 (EFD ₊)	3	14	2000	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	
9	Plantarfasziopathie	Ibrahim et al. (2010)	+	DolorClast	0,16 (EFD ₊)	2	7	2000	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	
9	Kniegelenksarthrose	Imamura et al. (2017)	-	DolorClast	0,1 - 0,16 (EFD ₊) ^b	3	7	2000	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	
9	Chronische Rückenschmerzen	Walewicz et al. (2020)	+	Cellactor SC1	„2,5 bar“ ^c	10	3,5	2000	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	
9	Adhäsive Kapsulitis der Schulter	Hussein und Donatelli (2016)	+	DolorClast	0,16 (EFD ₊)	4	7	2000	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	
9	Kalkschulter	Cacchio et al. (2006)	+	Physio SW Therapy	0,10 (?)	4	7	2500	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	
9	Kalkschulter	Kvalvaag et al. (2017)	-	DolorClast	max. 0,35 (EFD ₊) ^b	4	7	2000	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	
9	Kalkschulter	Kvalvaag et al. (2018)	-	DolorClast	0,01-0,35 (EFD ₊) ^b	4	7	2000	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	
8	Plantarfasziopathie	Lohrer et al. (2010)	+	Duolith SD1-r	0,17 (?)	3	7	2000	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	
8	Plantarfasziopathie	Rompe et al. (2010)	-	DolorClast	0,16 (EFD ₊)	3	7	2000	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	
8	Tendinopathie der Achillessehne	Rompe et al. (2007b)	+	DolorClast	0,1 (EFD ₊)	3	7	2000	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	

Tabelle 4.1 (Fortsetzung)

P	Indikation	Studie	E	Gerät ^a	EFD	A	I	N	PEDro Bewertungskriterien										
									2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
8	Tendinopathie der Achillessehne	Rompe et al. (2008)	+	DolorClast	0,12 (EFD ₊)	3	7	2000	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	
8	Tendinopathie der Achillessehne	Rompe et al. (2009a)	+	DolorClast	0,10 (EFD ₊)	3	7	2000	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	
8	Tendinopathie der proximalen ischiokruralen Muskulatur	Cacchio et al. (2011)	+	DolorClast	0,18 (EFD ₊)	4	7	2500	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	
8	Tennisellenbogen	Spacca et al. (2005)	+	Physio SW Therapy	„1,0 bar“ und „1,2 bar“	4	7	2000	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	
8	Subakromiales Schmerzsyndrom	Engebretsen et al. (2009)	-	DolorClast	0,1 - 0,16 (EFD ₊) ^b	4-6	7	2000	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	
7	Plantarfasziopathie	Chow und Cheing (2007)	+	DolorClast	Max. tolerierte EFD	3	7	1000	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	
7	Plantarfasziopathie	Rompe et al. (2015)	+	DolorClast	0,16 (EFD ₊)	3	7	2000	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	
7	Plantarfasziopathie	Eslamian et al. (2016)	+	DolorClast	0,2 (EFD ₊)	5	3	2000	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	
7	Plantarfasziopathie	Cinar et al. (2018)	-	DolorClast	Falsche Angabe	3	7	2000	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	
7	Plantarfasziopathie	Yinilmez Sanmak et al. (2019)	-	Vibrolith	„2 bar“	3	7	2000	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	
7	Kniegelenksarthrose	Zhong et al. (2019)	+	DolorClast	„2,5 bar“	4	7	2000	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	
7	Chronische Rückenschmerzen	Walewicz et al. (2019)	+	Pro Shock Waves	0,1 (?)	10	3,5	2000	+	-	+	+	-	-	+	+	+	+	
7	Karpaltunnelsyndrom	Wu et al. (2016)	+	Physio SW Therapy	„4 bar“	3	7	2000	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	
7	Tennisellenbogen	Gündüz et al. (2012)	+	Nicht spezifiziert	„1,4 bar“	10	1	500	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	
7	Tennisellenbogen	Yang et al. (2017)	+	DolorClast	Max. tolerierte EFD	3	7	2000	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	
7	Tennisellenbogen	Ahadi et al. (2019)	+	BTL-6000	„1,5 bar“	3	7	2000	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	
7	Kalkschulter	Kolk et al. (2013)	-	DolorClast	0,11 (EFD ₊)	3	12	2000	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	
7	Myofasziales Schmerzsyndrom	Gezginaslan und Gümüs Atalay (2020)	+	Modus	„1,5 - 3 bar“	7	3	1500 – 4500	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	
6	Plantarfasziopathie	Shaheen (2010)	+	DolorClast	„1,5 - 3,5 bar“	3	7	2000	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+	
6	Plantarfasziopathie	Konjen et al. (2015)	+	DolorClast	0,08 (EFD ₊)	6	7	2000	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	
6	Plantarfasziopathie	Ulusoy et al. (2017)	-	BTL-5000	„2,5 bar“	3	7	2000	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+	

Tabelle 4.1 (Fortsetzung)

P	Indikation	Studie	E	Gerät ^a	EFD	A	I	N	PEDro Bewertungskriterien										
									2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
6	Kniegelenksarthrose	Ediz und Ozigokce (2018)	-	EK1238092	„3 bar“	10	3,5	2500	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+	
6	Kniegelenksarthrose	Uysal et al. (2020)	+	Vibrolith	„2,0 - 3,0 bar“	3	7	2000	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+	
6	Trochanter-major Schmerzsyndrom	Weckström und Söderström (2016)	-	Masterpuls MP 100	0,1 - 0,4 (?) ^{b,c}	3	7	3200	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	
6	Kokzygodynie	Lin et al. (2015)	+	BTL-5000	„3 - 4 bar“	4	7	2000	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	
6	Tennisellenbogen	Capan et al. (2016)	-	ShockMaster 500	„1,8 bar“	3	7	2000	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+	
6	Myofasiales Schmerzsyndrom	Manafnezhad et al. (2019)	-	enPuls Pro	„60 mJ“	3	7	1000	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+	
5	Plantarfasziopathie	Marks et al. (2008)	-	DolorClast	0,16 (EFD ₊)	3	3	2000 ^c	+	-	+	-	-	+	+	-	-	+	
5	Plantarfasziopathie	D'Andrea Greve et al. (2009)	+	DolorClast	0,12 (EFD ₊)	3	7	2000	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
5	Plantarfasziopathie	Grecco et al. (2013)	+	DolorClast	0,12 (EFD ₊)	3	7	2000	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
5	Plantarfasziopathie	Akinoğlu et al. (2017)	+	DolorClast	0,2 und 0,3 mJ/mm ² (?)	3	7	2000 ^c	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	
5	Plantarfasziopathie	Akinoğlu und Köse (2018)	-	DolorClast	0,2 (?)	3	7	2000	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	
5	Plantarfasziopathie	Uğurlar et al. (2018)	-	Intelect RPW	„4,0 bar“	3	7	2000	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
5	Plantarfasziopathie und Tendinopathie der Achillessehne	Njawaya et al. (2018)	+	Intelect RPW	„1,4 - 1,8 bar“	3-5	7	2000	+	+	+	-	-	-	+	-	+	-	
5	Plantarfasziopathie	Narin et al. (2020)	+	DolorClast	„2 bar“ vs. „3 bar“	10	?	2000	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
5	Trochanter-major Schmerzsyndrom	Rompe et al. (2009b)	+	DolorClast	0,12 (EFD ₊)	3	7	2000	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	
5	Tennisellenbogen und Golferellbogen	Lee et al. (2012)	+	DolorClast	0,06 - 0,12 (EFD ₊)	3	7	2000	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
5	Tennisellenbogen	Sarkar et al. (2013)	+	Masterpuls MP 100	0,06 (?)	3	7	2000	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
5	Tennisellenbogen	Akkurt et al. (2016)	-	ShockMaster 500	„1,8 bar“	3	7	2000	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	
5	Tennisellenbogen	Kubot et al. (2017)	+	ShockMaster 500	„1,5 - 3,5 bar“ ^c	3	7	4000	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
5	Tennisellenbogen	Eraslan et al. (2018)	-	DolorClast	0,06 - 0,12 (EFD ₊)	3	7	2000	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
5	Tenosynovitis der Bizepssehne	Liu et al. (2012)	+	DolorClast	0,12 (EFD ₊)	4	7	1500	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	

Tabelle 4.1 (Fortsetzung)

P	Indikation	Studie	E	Gerät ^a	EFD	A	I	N	PEDro Bewertungskriterien										
									2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
5	Adhäsive Kapsulitis der Schulter	Muthukrishnan et al. (2019)	+	Masterpuls MP 50	Max. tolerierte EFD	4	7	2000	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
5	Skapulohumerale Arthritis	Zhang et al. (2019)	+	Masterpuls MP 100	Keine Angabe	24	1,2	2000	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
5	Tendinopathie der Rotatorenmanschette	del Castillo-Gonzalez et al. (2016)	-	DolorClast	0,12 (?)	8	3,5	2000	+	+	-	-	-	+	-	-	+	+	
5	Kalkschulter	de Boer et al. (2017)	-	Masterpuls MP 100	2,5 bar ^c	4	7	2000	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	
5	Myofaszielles Schmerzsyndrom	Cho et al. (2012)	+	JEST-2000	0,12 (?)	12	2,3	1000	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
4	Plantarfasziopathie und Tennisellenbogen	Mehra et al. (2003)	+	DolorClast	0,10 (EFD ₊)	3	14	2000	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	
4	Plantarfasziopathie	Krukowska et al. (2016)	+	BTL-5000	„2,5 bar“	4	3	2000	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	
4	Tendinopathie der Patellasehne	Cheng et al. (2019)	+	Nicht spezifiziert	„1,5 - 3,0 bar“	16	7	2000	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	
4	Kniegelenksarthrose	Li et al. (2015)	+	DolorClast	0,04 - 0,16 (EFD ₊)	7	2	600 ^c	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	
4	Tennisellenbogen	Bagcier und Yilmaz (2019)	-	Nicht spezifiziert	„2 bar“	3	7	2000	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	
4	Unspezifische Schulterschmerzen	Damian und Zalpour (2011)	+	Masterpuls MP 200	Keine Angabe	5-6	7	?	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
4	Kalkschulter	Duymaz und Sindel (2019)	+	ShockMaster 500	0,03-0,28 ^c (?)	4	7	1500	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	
4	Myofaszielles Schmerzsyndrom	Lee und Han (2013)	-	JEST-2000	Keine Angabe	8	3,5	1000	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	
4	Myofaszielles Schmerzsyndrom	Aktürk et al. (2018)	+	Masterpuls MP 200	„1,6 - 3,0 bar“	4	3	2000 – 3000	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	
2	Tennisellenbogen	Altun et al. (2018)	-	Nicht spezifiziert	„1,4 - 1,6 bar“	3	7	1500	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	
-	Plantarfasziopathie	Rastegar und Orak (2019)	-	ShockMaster 500	Keine Angabe	?	?	?											

Tabelle 4.2 Randomisierte, kontrollierte Studien zur fokussierten extrakorporalen Stoßwellentherapie (fESWT), die zum Stichtag 11. November 2020 in der PEDro-Datenbank (www.pedro.org.au) aufgeführt waren.

Die Tabelle zeigt für jede aufgeführte Studie die PEDro-Gesamtbewertung (P), die behandelte Indikation, den Namen der Erstautorin/des Erstautors und das Erscheinungsjahr, das Ergebnis der Studie (E) (+: statistisch signifikant besseres Behandlungsergebnis mit rESWT als mit Scheinbehandlung, Nichtbehandlung oder einer alternativen Behandlungsmethode; -: kein statistisch signifikant besseres Behandlungsergebnis mit rESWT als mit Scheinbehandlung, Nichtbehandlung oder einer alternativen Behandlungsmethode; ?: es steht keine Schmerzbewertung in der Studie zur Verfügung; (-): kein eindeutiges Ergebnis), das verwendete fESWT-Gerät, die verwendete fESWT-Technologie (EM: elektromagnetisch generierte fokussierte extrakorporale Stoßwellen (fESWs); PE: piezoelektrisch generierte fESWs; EH: elektrohydraulisch generierte fESWs), die verwendete Energieflussdichte (EFD+: positive Energieflussdichte; ?: unklar, ob EFD+ oder die Gesamtenergieflussdichte angegeben wurde), die Anzahl von Behandlungen (A), das Zeitintervall in Tagen zwischen zwei Behandlungen (I), die Anzahl von fESWs pro Behandlung (N) sowie die Erfüllung (+) oder Nicht-Erfüllung (-) der einzelnen, in Tabelle 1.2 aufgeführten PEDro-Bewertungskriterien (das erste in Tabelle 1.2 aufgeführte PEDro-Bewertungskriterium ist hier nicht angegeben, da es nicht zur Berechnung der PEDro-Gesamtbewertung herangezogen wird).

Anmerkungen: ^a: die Namen der Hersteller der verwendeten Geräte sind in Tabelle 4.4 zusammengefasst; ^b: bis zur maximalen, individuell tolerierten Energieflussdichte; ^c: Energieflussdichte der rESWs während der Behandlung geändert; ^d: zwei Behandlungsgruppen, die mit unterschiedlichen EFDs behandelt wurden; Gruppe 1 mit Lokalanästhesie, Gruppe 2 ohne Lokalanästhesie; ^e: Gruppe 1 (EFD = 0.06 mJ/mm²) ohne Lokalanästhesie; Gruppe 2 (EFD = 0.28 mJ/mm²) mit Lokalanästhesie.

P	Indikation	Studie	E	Gerät ^a	T	EFD	A	I	N	PEDro Bewertungskriterien										
										2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
9	Plantarfasziopathie	Buchbinder et al. (2002)	-	Epos Ultra	EM	0,02 - 0,33 (?)	3	7	2000 oder 2500	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
9	Plantarfasziopathie	Kudo et al. (2006)	+	Epos Ultra	EM	0,36 (EFD+)	1	-	3500	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
9	Plantarfasziopathie	Gollwitzer et al. (2007)	+	Duolith SD 1-f	EM	0,25 (EFD)	3	7	2000	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
9	Tendinopathie der Achillessehne	Rasmussen et al. (2008)	+	Piezuson 100	PE	0,12 - 0,51 (?)	4	7	2000	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
9	Tendinopathie der Patellasehne	Zwerver et al. (2011)	-	Piezowave	PE	0,032 - 0,4 (EFD ₊)	3	7	2000	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
9	Tendinopathie der Patellasehne	Thijs et al. (2017)	-	PiezoClast	PE	0,2 (?)	3	7	1000	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
9	Tennisellenbogen	Rompe et al. (2004)	+	Sonocur Plus	EM	0,09 (EFD)	3	7	2000	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+

Tabelle 4.2 (Fortsetzung)

P	Indikation	Studie	E	Gerät ^a	T	EFD	A	I	N	PEDro Bewertungskriterien										
										2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
9	Tennisellenbogen	Pettrone und McCall (2005)	+	Sonocur Plus	EM	0,06 (?)	3	7	2000	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
9	Kalkschulter	Gerdesmeyer et al. (2003)	+	Epos Ultra	EM	0,32 oder 0,08 (?)	2	14	1500 oder 6000	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
8	Plantarfasziopathie	Buch et al. (2002)	+	Epos Ultra	EM	0,03 - 0,36 (?)	1	-	3800	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+
8	Plantarfasziopathie	Haake et al. (2003)	-	Epos Ultra	EM	0,08 (EFD ₊)	3	14	4000	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+
8	Plantarfasziopathie	Speed et al. (2003)	-	Sonocur Plus	EM	0,12 (?)	3	28	1500	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+
8	Plantarfasziopathie	Rompe et al. (2005)	+	Sonocur Plus	EM	0,09 (EFD)	3	7	2000	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+
8	Plantarfasziopathie	Lohrer et al. (2010)	+	Duolith SD 1-f	EM	0,20 (?)	3	7	2000	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+
8	Kniegelenksarthrose	Lizis et al. (2017)	+	Rosetta ESWT	EM	0,4 (?)	5	7	1600	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+
8	Trochanter-major Schmerzsyndrom	Ramon et al. (2020)	+	Duolith SD1-f	EM	0,20 (?)	3	7	2000	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+
8	Tennisellenbogen	Speed et al. (2002a)	-	Sonocur Plus	EM	0,18 (?)	3	28	1500	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+
8	Tennisellenbogen	Haake et al. (2002b)	-	Unterschiedliche Geräte	EM, PE	0,07-0,09 (EFD ₊)	3	7	2000	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+
8	Tennisellenbogen	Chung und Wiley (2004)	-	Sonocur Basic	EM	0,03 - 0,17 ^b (?)	3	7	2000	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+
8	Tennisellenbogen	Staples et al. (2008)	-	MedTechEpos	EM	Max. tolerierte EFD	3	7	2000	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+
8	Kalkschulter	Schmitt et al. (2001)	-	Minilith SL 1	EM	0,11 (EFD ₊)	3	7	2000	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+
8	Kalkschulter	Haake et al. (2002a)	+	Minilith SL 1	EM	0,35 (EFD ₊)	2	7	2000	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+
8	Kalkschulter	Albert et al. (2007)	+	Modulith SLK	EM	bis 0,45 ^b (?)	2	14	2500	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+
8	Kalkschulter	Ioppolo et al. (2012)	+	Modulith SLK	EM	0,10 oder 0,20 (?)	4	7	2400	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+
8	Myofasiales Schmerzsyndrom	Park et al. (2018)	+	AR2	EM	0,068 oder 0,21 (?)	2	7	1500	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+
7	Plantarfasziopathie	Rompe et al. (2003)	+	Sonocur Plus	EM	0,16 (?)	3	7	2100	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+
7	Plantarfasziopathie	Ogden et al. (2004)	+	Ossatron	EH	0,22 ^c (?)	1	-	1500	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-
7	Plantarfasziopathie	Theodore et al. (2004)	+	Epos Ultra	EM	0,36 ^c (?)	1	-	3800	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+
7	Plantarfasziopathie	Porter und Shadbolt (2005)	-	Nicht spezifiziert	EH	0,08 (?)	3	7	1000	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+
7	Plantarfasziopathie	Malay et al. (2006)	+	Orthospec	EH	Keine Angabe	1	-	3800	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+
7	Plantarfasziopathie	Liang et al. (2007)	+	Piezoson 100	PE	0,12 oder 0,56 (?)	3	7	2000	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+
7	Plantarfasziopathie	Radwan et al. (2012)	+	Ossatron	EH	0,22 ^e (?)	1	-	1500	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+
7	Plantarfasziopathie	Vahdatpour et al. (2012)	+	Duolith SD 1-f	EM	0,20 (?)	3	7	4000 ^e	+	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+
7	Plantarfasziopathie	Takla und Rezk (2019)	+	Intellect Focus	EM	0,02 - 0,28 ^b (?)	3	7	2000	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+

Tabelle 4.2 (Fortsetzung)

P	Indikation	Studie	E	Gerät ^a	T	EFD	A	I	N	PEDro Bewertungskriterien										
										2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
7	Tibiakantensyndrom	Gomez Garcia et al. (2017)	+	Duolith SD1-f	EM	0,20 (EFD)	1	-	1500	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	
7	Trochanter-major Schmerzsyndrom	Carlisi et al. (2019)	+	Piezoson 100	PE	0,15d (?)	3	7	1800	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	
7	Iliosakralgelenk-Schmerzen	Moon et al. (2017)	+	Aries	EM	0,09 - 0,25 ^b (?)	1	-	2000	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+	
7	Karpaltunnelsyndrom	Paoloni et al. (2015)	+	Modulith SLK	EM	0,05 (?)	4	5,3	2500	+	+	+	-	-	+	+	+	-	+	
7	Tendinopathie der Rotatorenmanschette	Haake et al. (2001)	+	Minilith SL1	EM	0,11 (EFD ₊)	3	7	2000	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	
7	Kalkschulter	Peters et al. (2004)	+	Minilith SL 1	EM	0,15 vs. 0,44 (EFD)	5	42	1500	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+	
7	Kalkschulter	Pleiner et al. (2004)	+	Orthospec	EH	0,28 (?)	2	14	2000	+	-	+	-	+	+	+	-	+	+	
7	Kalkschulter	Sabeti et al. (2007)	+	Modulith SLK	EM	0,08 oder 0,2 ^d (?)	3 vs. 2	7	1000 oder 2000	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	
7	Kalkschulter	Hearnden et al. (2009)	+	Nicht spezifiziert		0,28 (?)	1	-	2000	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+	
7	Tendinopathie der Rotatorenmanschette	Schofer et al. (2009)	-	Minilith SL1	EM	0,33 oder 0,78 (EFD ₊)	3	7	2000	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	
7	Kalkschulter	Tornese et al. (2011)	+	Epos Ultra	EM	bis 0,22 (?)	3	7	1800	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	
7	Tendinopathie der Rotatorenmanschette	Galasso et al. (2012)	+	Modulith SLK	EM	0,068 (?)	2	7	3000	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	
7	Tendinopathie der Rotatorenmanschette	Santamato et al. (2016)	+	EvoTron	EH	0,12 (?)	3	3	700	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	
6	Plantarfasziopathie	Ogden et al. (2001a)	+	Ossatron	EH	Falsche Angabe	1	-	1500	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	
6	Plantarfasziopathie	Rompe et al. (2002)	+	Osteostar	EM	0,08 (?)	3	7	1000	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	
6	Plantarfasziopathie	Tornese et al. (2008)	+	Epos Ultra	EM	0,22 ^c (?)	3	7	1800	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+	
6	Plantarfasziopathie	Saxena et al. (2012)	+	Duolith SD 1-f	EM	0,1 - 0,24 ^h (EFD)	3	7	2500	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	
6	Plantarfasziopathie	Chew et al. (2013)	+	Epos Ultra	EM	0,02 - 0,42 (?)	2	7	2000	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+	
6	Plantarfasziopathie	Razzano et al. (2017)	-	Duolith SD1-f	EM	0,15 (?)	3	7	2000	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+	
6	Tendinopathie der Achillessehne	Costa et al. (2005)	-	Modulith SLK	EM	bis 0,20 ^b (?)	3	28	1500	+	+	-	-	-	+	+	-	+	+	

Tabelle 4.2 (Fortsetzung)

P	Indikation	Studie	E	Gerät ^a	T	EFD	A	I	N	PEDro Bewertungskriterien										
										2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
6	Frakturen der Röhrenknochen	Wang et al. (2007b)	+	Ossatron	EH	0,62 (?)	1	-	6000	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+	
6	Schambeinentzündung	Schöberl et al. (2017)	+	Duolith SD1-f	EM	Keine Angabe	3	7	1500	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+	
6	Tennisellenbogen	Rompe et al. (1996a)	+	Osteostar	EM	0,08 (?)	3	7	1000	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+	
6	Tennisellenbogen	Melikyan et al. (2003)	-	Epos Ultra	EM	Falsche Angabe	3	?	?	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	
6	Tennisellenbogen	Melegati et al. (2004)	+	Epos Ultra	EM	0,16 (?)	3	7	1800	+	-	+	+	-	-	+	-	+	+	
6	Tennisellenbogen	Celik und Anaforoglu Kulunkoglu (2019)	-	Epos Ultra	EM	0,09 (?)	4	7	2000	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	
6	Kalkschulter	Pan et al. (2003)	+	Orthospec	EH	0,26 - 0,32 (?)	2	14	2000	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+	
6	Kalkschulter	Perlick et al. (2003)	+	Lithostar	EM	0,23, 0,33, 0,42 und 0,54 (?)	2	21	2000	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	
6	Kalkschulter	Sabeti-Aschraf et al. (2005)	+	Modulith SLK	EM	0,08 (?)	3	7	1000	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+	
6	Myogelose des M. masseter	Kraus et al. (1999)	+	Sonocur Plus	EM	0,04 (?)	1	-	250	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	
5	Plantarfasziopathie	Rompe et al. (1996b)	+	Osteostar	EM	0,08 (?)	3	7	1000	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	
5	Plantarfasziopathie	Krischek et al. (1998)	+	Osteostar	EM	0,08 (?)	3	7	100 oder 500	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
5	Plantarfasziopathie	Cosentino et al. (2001)	+	Orthima	EH	0,03 - 0,4 (?)	6	8,5	1200	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-	
5	Plantarfasziopathie	Hammer et al. (2003)	+	Piezoson 300	PE	0,20 (?)	3	7	3000	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
5	Plantarfasziopathie	Dorotka et al. (2006)	+	Modulith SLK	EM	0,08 (EFD+)	3	7	1000	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	
5	Tendinopathie der Patellasehne	Wang et al. (2007a)	+	Ossatron	EH	0,18 (?)	1	-	1500	-	-	+	+	+	+	+	-	+	+	
5	Karpaltunnelsyndrom	Notarnicola et al. (2015)	-	Minilith SL1	EH	0,03 (?)	3	7	1600	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
5	Tennisellenbogen	Rompe et al. (1998c)	+	Osteostar	EM	0,08 (?)	3	7	1000	+	-	+	-	-	+	-	-	+	+	
5	Tennisellenbogen	Rompe et al. (2001)	+	Sonocur	EM	0,16 (?)	3	7	1000	-	-	+	-	-	+	+	-	+	+	
5	Tennisellenbogen	Chung et al. (2005)	-	Sonocur Basic	EM	0,03 - 0,17 (?)	3	7	2000	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
5	Tennisellenbogen	Ozturan et al. (2010)	+	Stonelith V5	EH	0,17 (?)	3	7	2000	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
5	Adhäsive Kapsulitis der Schulter	Vahdatpour et al. (2014)	+	Duolith SD1-f	EM	0,1 - 0,3 ^b (?)	4	7	1200	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+	

Tabelle 4.2 (Fortsetzung)

P	Indikation	Studie	E	Gerät ^a	T	EFD	A	I	N	PEDro Bewertungskriterien										
										2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
5	Tendinopathie der Rotatorenmanschette	Speed et al. (2002b)	-	Sonocur	EM	0,12 (?)	3	28	1500	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	
5	Kalkschulter	Cosentino et al. (2003)	+	Orthima	EH	0,28 ^c (?)	4	5,5	1200	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	
5	Kalkschulter	Hsu et al. (2008)	+	OrthoWave	EH	0,55 (?)	2	14	1000	-	-	+	+	-	+	+	-	+	-	
5	Kalkschulter	Farr et al. (2011)	+	Modulith SLK	EM	0,2 oder 0,3 (?)	1 oder 2	-	3200 oder 1600	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	
5	Tendinopathie der Rotatorenmanschette	Frizziero et al. (2017)	+	Modulith SLK	EM	bis 0,15 ^a (?)	4	7	1600	+	-	+	-	-	+	-	-	+	+	
5	Myofasziales Schmerzsyndrom	Mostafa et al. (2016)	+	Evotron RFL0300	EH	0,1 (?)	4	7	1500	+	-	+	-	-	+	-	-	+	+	
4	Plantarfasziopathie	Rompe et al. (1996c)	+	Osteostar	EM	0,06 (?)	3	7	1000	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	
4	Plantarfasziopathie	Hammer et al. (2002)	+	Piezozon 300	PE	0,20 (?)	3	7	3000	+	-	+	-	-	-	+	-	-	+	
4	Plantarfasziopathie	Wang et al. (2006)	+	Ossatron	EH	0,32 (?)	1	-	1500	-	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
4	Plantarfasziopathie	Yucel et al. (2010)	+	Stonelith V5	EH	Keine Angabe	1	-	3000	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	
4	Tendinopathie der Achillessehne	Notarnicola et al. (2014)	-	Minilith SL1	EM	0,05-0,07 (?)	3	3,5	1600	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	
4	Osteonekrose des Femurs	Wang et al. (2005)	+	Ossatron	EH	0,62 (?)	1	-	6000	-	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
4	Tennisellenbogen	Taheri et al. (2017)	+	Duolith SD1 -f	EM	0,1 oder 0,25 (?)	3	7	1000	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	
4	Kalkschulter	Loew et al. (1999) (Teil 1)	+	MFL 5000	EH	0,1 (?)	1	-	2000	-	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
4	Kalkschulter	Loew et al. (1999) (Teil 2)	+	MFL 5000	EM	0,3 (?)	1	-	2000	-	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
4	Kalkschulter	Loew et al. (1999) (Teil 3)	+	MFL 5000	EM	0,3 (?)	2	7	2000	-	-	+	-	-	-	+	-	+	+	
4	Kalkschulter	Seil et al. (1999)	+	Piezolith 2501	PE	0,1 oder 0,3 (?)	3	7	3000 oder 5000	+	-	+	-	-	-	+	-	+	-	
4	Tendinopathie der Rotatorenmanschette	Schmitt et al. (2002)	-	Minilith SL1	EM	0,33 (EFD ⁺)	3	7	2000	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	
3	Rückenschmerzen	Notarnicola et al. (2018)	+	Minilith SL1	EM	0,03 (?)	3	7	2000	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	
3	Tennisellenbogen	Rompe et al. (1996d)	+	Osteostar	EM	0,08 (?)	3	7	1000	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-	
3	Tennisellenbogen / Kalkschulter	Rompe et al. (1997)	+	Nicht spezifiziert	EM	0,08 (?)	3	7	1000	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	

Tabelle 4.2 (Fortsetzung)

P	Indikation	Studie	E	Gerät ^a	T	EFD	A	I	N	PEDro Bewertungskriterien										
										2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
3	Tennisellenbogen	Crowther et al. (2002)	+	Minilith SL1	EM	0,10 (?)	3	7	2000	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-
3	Tennisellenbogen	Oh et al. (2011)	-	Evotron	EH	Keine Angabe	?	?	2000	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
3	Kalkschulter	Rompe et al. (1998a)	+	Nicht angegeben	EM	0,06 oder 0,28 ^e (?)	1	-	1500	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
3	Myofaszielles Schmerzsyndrom	Taheri et al. (2016)	-	Duolith SD1-f	EM	Unvollständige Beschreibung	3	?	1000	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
1	Tendinopathie der Patellasehne	Taunton et al. (2003)	+	Sonocur	EM	0,17 (?)	3-5	7	2000	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Ruptur der Rotatorenmanschette	Saggini et al. (2010)	+	Evotron	EH	0,132 (?)	3	7	600	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 4.3 | Randomisierte, kontrollierte Studien zur kombiniert radial/fokussierten extrakorporalen Stoßwellentherapie (rESWT+fESWT), die zum Stichtag 11. November 2020 in der PEDro-Datenbank (www.pedro.org.au) aufgeführt waren.

Die Tabelle zeigt für die aufgeführte Studie die PEDro-Gesamtbewertung (P), die behandelte Indikation, den Namen der Erstautorin/des Erstautors und das Erscheinungsjahr, das Ergebnis der Studie (E) (-: kein statistisch signifikant besseres Behandlungsergebnis mit rESWT+fESWT als mit Scheinbehandlung), das verwendete ESWT-Gerät, die verwendete Energieflussdichte (? : unklar, ob EFD₊ oder die GesamtEnergieflussdichte angegeben wurde), die Anzahl von Behandlungen (A), das Zeitintervall in Tagen zwischen zwei Behandlungen (I), die Anzahl von radialen extrakorporalen Stoßwellen (rESWs) bzw. fokussierten extrakorporalen Stoßwellen (fESWs) pro Behandlung (N) sowie die Erfüllung (+) oder Nicht-Erfüllung (-) der einzelnen, in Tabelle 1.2 aufgeführten PEDro-Bewertungskriterien (das erste in Tabelle 1.2 aufgeführte PEDro-Bewertungskriterium ist hier nicht angegeben, da es nicht zur Berechnung der PEDro-Gesamtbewertung herangezogen wird).

Anmerkung: ^a: der Name des Herstellers des verwendeten Gerätes findet sich in Tabelle 4.4.

P	Indikation	Studie	E	Gerät ^a	T	EFD	A	I	N	PEDro Bewertungskriterien										
										2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
8	Tendinopathie der Achillessehne	Vahdatpour et al. (2018)	-	Duolith SD1-r	R	1,8 - 2,6 (?)	4	7	3000	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	
				Duolith SD1-f	EM	0,25 - 0,4 (?)	4	7	1500											

Tabelle 4.4 | Zusammenstellung der rESWT- bzw. fESWT-Geräte, die in den in den Tabellen 4.1-4.3 gelisteten Studien verwendet wurden.

Abkürzungen: N: Anzahl der Studien; rESWT: radiale extrakorporale Stoßwellentherapie; fESWT: fokussierte extrakorporale Stoßwellentherapie.

N	Gerät	Technologie	Hersteller
34	DolorClast	rESWT	Electro Medical Systems (Nyon, Schweiz)
12	Epos Ultra	fESWT	Dornier MedTech (Wessling, Deutschland)
12	Sonocur / Basic / Plus	fESWT	Siemens (Erlangen, Deutschland)
12	Duolith SD 1-f	fESWT	Storz Medical (Tägerwillen, Schweiz)
10	Minilith SL 1	fESWT	Storz Medical
10	Modulith SLK	fESWT	Storz Medical
7	Ossatron	fESWT	High Medical Technologies (Lengwil, Schweiz)
7	Osteostar	fESWT	Siemens
5	ShockMaster 500	rESWT	GymnaUniphy (Bilzen, Belgien)
4	Evotron / RFL0300	fESWT	Switech (Kreuzlingen, Schweiz)
4	Masterpuls MP 100	rESWT	Storz Medical
3	BTL-5000	rESWT	BTL (Prague, Tschechien)
3	Orthospec	fESWT	Medispec (Yehud, Israel)
3	Physio SW Therapy	rESWT	Electronica Pagani (Paderno Dugnano, Italien)
3	Piezozon 100	fESWT	Richard Wolf (Knittlingen, Deutschland)
2	Aries / AR2	fESWT	Dornier MedTech
2	Duolith SD1-r	rESWT	Storz Medical
2	Intelect RPW	rESWT	DJO Global (Lewisville, TX, USA)
2	JEST-2000	rESWT	Joeunmedical (Seoul, Korea)
2	Masterpuls MP 200	rESWT	Storz Medical
2	Orthima	fESWT	Direx Medical (Petah Tikva, Israel)
2	Piezozon 300	fESWT	Richard Wolf
2	Stonelith V5	fESWT	PCK Medical Systems (Ankara, Türkei)
2	Vibrolith	rESWT	Elmed (Ankara, Türkei)
1	BTL-6000	rESWT	BTL
1	Cellactor SC1	rESWT	Storz Medical
1	EK1238092	rESWT	Medical Italia (Pesaro, Italien)
1	enPuls Pro	rESWT	Zimmer (Neu-Ulm, Deutschland)
1	Intelect Focus	fESWT	DJO Global
1	Lithostar	fESWT	Siemens
1	Masterpuls MP50	rESWT	Storz Medical
1	MedTechEpos	fESWT	Richard Wolf
1	MFL 5000	fESWT	Philips (Eindhoven, Niederlande)
1	Modus	rESWT	Inceler Medikal (Ankara, Türkei)
1	OrthoWave	fESWT	MTS Medical (Konstanz, Deutschland)
1	PiezoClast	fESWT	Electro Medical Systems
1	Piezolith 2501	fESWT	Richard Wolf
1	Piezowave	fESWT	Richard Wolf
1	Pro Shock Waves	rESWT	Cosmogamma (Jakarta, Indonesien)
1	Rosetta ESWT	fESWT	CR Tehnology (Seoul, Korea)
1	Unterschiedliche Geräte	fESWT	--
8	Nicht spezifiziert	rESWT	--

4.4 Ergebnisse der statistischen Analyse der mittels *systematic review* ermittelten Studien

Abbildung 4.2 und die Tabellen 4.5-4.10 fassen die Ergebnisse der statistischen Analyse der mittels *systematic review* ermittelten Studien zusammen.

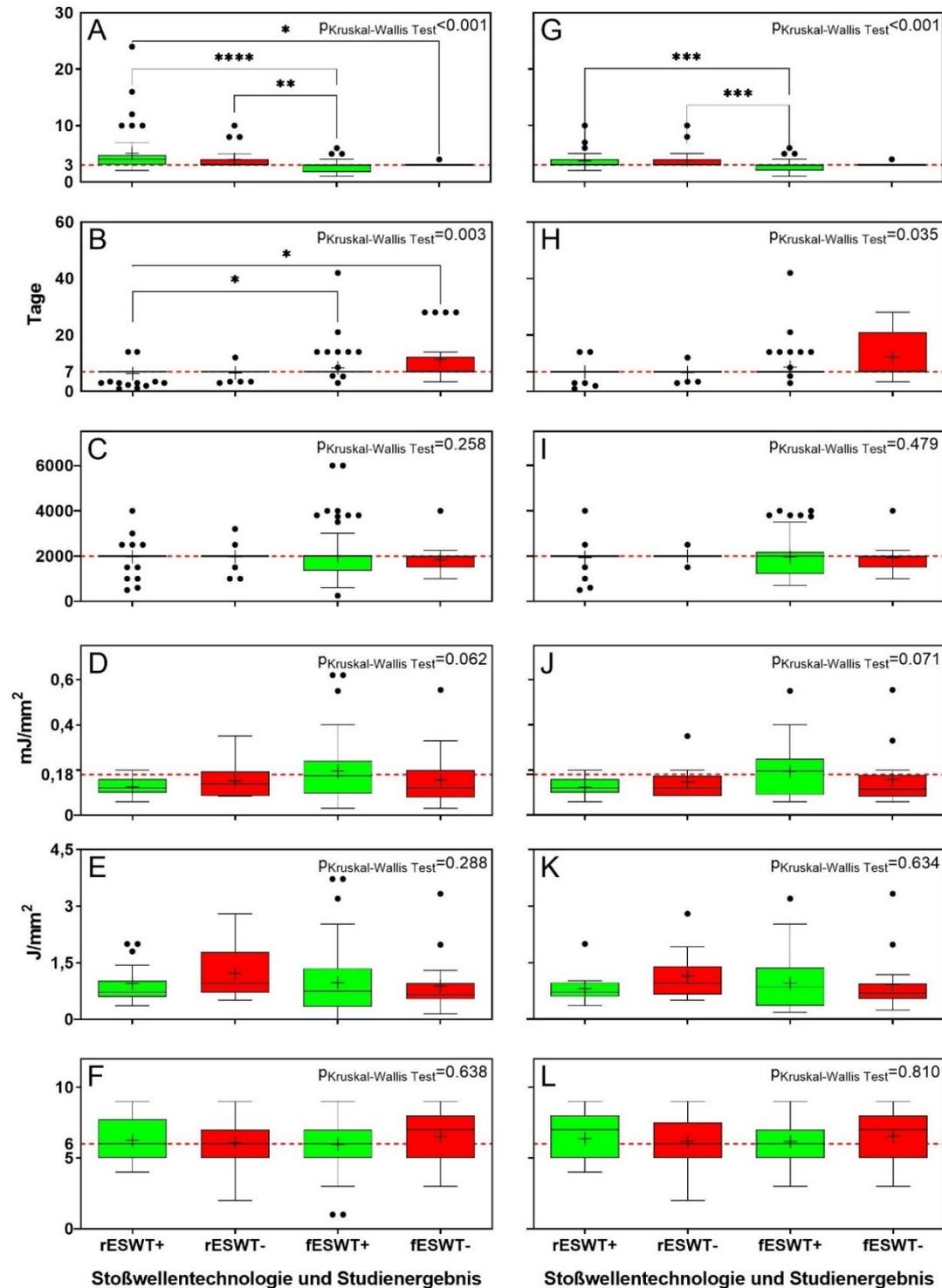


Abbildung 4.2 | Gruppenspezifische *Tukey boxplots* der Anzahl der ESWT-Behandlungen (A, G), dem Zeitintervall zwischen den ESWT-Behandlungen, wenn mehr als eine Behandlung erfolgt war (B, H), dem Energieintervall (C, I), dem Energieintervall pro Fläche (D, J), dem Energieintervall pro Fläche (E, K) und dem Energieintervall pro Fläche (F, L) für vier Gruppen: rESWT+, rESWT-, fESWT+, fESWT-.

der Anzahl von rESWs oder fESWs pro Behandlung (C, I), der Energieflussdichte der applizierten rESWs oder fESWs (D, J) und der insgesamt applizierten Energieflussdichte (E, K) in den mittels *systematic review* ermittelten Studien sowie der PEDro-Gesamtbewertung (F, L) der mittels *systematic review* ermittelten Studien. Gruppen von Studien mit positivem Ergebnis (rESWT+ fESWT+) sind grün markiert; Gruppen von Studien mit negativem Ergebnis (rESWT- und fESWT-) sind rot markiert. Die Teilabbildungen A-F zeigen die jeweiligen Ergebnisse für alle mittels *systematic review* ermittelten Studien und die Teilabbildungen G-L die jeweiligen Ergebnisse für alle mittels *systematic review* ermittelten Studien zu denjenigen Indikationen, die in der Metaanalyse berücksichtigt wurden (jeweils abzüglich derjenigen Studien, in denen die entsprechenden Angaben fehlen). Die rot gestrichelten Linien in den Teilabbildungen A-C und F sowie G-I und L markieren die Medianwerte der Variablen "Anzahl der ESWT-Behandlungen" (drei Behandlungen), "Zeitintervall zwischen den ESWT-Behandlungen, wenn mehr als eine Behandlung erfolgt war" (sieben Tage), "Anzahl von rESWs oder fESWs pro Behandlung" (2000 rESWs oder fESWs) und "PEDro-Gesamtbewertung" (6 Punkte). Die P-Werte des Kruskal-Wallis Test sind oben links in den jeweiligen Teilabbildungen angegeben; statistisch signifikante Unterschiede zwischen einzelnen Gruppen (mittels Dunn Bonferroni Test ermittelt) sind in den jeweiligen Teilabbildungen grafisch markiert (*: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$; ****: $p < 0,0001$).

4.4.1 Anzahl der ESWT-Behandlungen

Die größte mittlere Anzahl von ESWT-Behandlungen fand sich für die Gruppe rESWT+ ($5,2 \pm 4,1$) (alle Angaben in diesem Abschnitt als Mittelwert \pm Standardabweichung) und die kleinste mittlere Anzahl von ESWT-Behandlungen für die Gruppe fESWT+ ($2,6 \pm 1,1$) (Abbildung 4.2A und Tabelle 4.5). Dabei zeigte die Gruppe rESWT+ auch die größte Streuung zwischen den einzelnen Gruppen (Abbildung 4.2A). Wenn nur Studien zu denjenigen Indikationen betrachtet wurden, die in der Metaanalyse berücksichtigt wurden, waren die Unterschiede zwischen den einzelnen Studien in der Gruppe rESWT+ erheblich kleiner ($3,7 \pm 1,6$) (Abbildung 4.2G und Tabelle 4.5). Tatsächlich wurde der große Unterschied zwischen den einzelnen Studien in der Gruppe rESWT+ nicht unerheblich durch eine Studie von Zhang et al. (2019) zur Behandlung der skapulohumeralen Arthritis mit insgesamt 24 rESWT-Behandlungen sowie eine Studie von Cheng et al. (2019) zur Behandlung der Tendinopathie der Patellasehne mit insgesamt 16 rESWT-Behandlungen bestimmt.

Statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede in der mittleren Anzahl der ESWT-Behandlungen fanden sich bei den folgenden Gruppenvergleichen: rESWT+ > fESWT+, rESWT+ > fESWT- und rESWT- > fESWT+ (Abbildung 4.2A und G). Die Medianwerte zeigten aber beim Vergleich aller Studien nur einen Unterschied zwischen der Gruppe rESWT+ (vier Behandlungen) und allen anderen Gruppen (drei Behandlungen). Bei den Studien zu denjenigen Indikationen, die in der Metaanalyse berücksichtigt wurden, war der Median bei allen Gruppen gleich (drei Behandlungen).

Tabelle 4.5 | Deskriptive Statistik der Variablen "Anzahl der ESWT-Behandlungen" in den mittels *systematic review* ermittelten Studien.

Abkürzungen: N: Anzahl der Studien in den einzelnen Gruppen; Min: kleinster Wert; Max: größter Wert; StAbw: Standardabweichung.

Anmerkung: die Anzahl der Studien in den einzelnen Gruppen ist teilweise kleiner als in Abbildung 4.1 angegeben, da nicht in allen Studien die Anzahl der ESWT-Behandlungen angegeben wurde.

Gruppe	N	Min	Max	Median	Mittelwert	StAbw
Alle Studien						
rESWT+	45	2	24	4	5,2	4,1
rESWT-	23	3	10	3	4,0	2,0
fESWT+	78	1	6	3	2,6	1,1
fESWT-	22	3	4	3	3,1	0,2
Studien zu den Indikationen, die in der Metaanalyse berücksichtigt wurden						
rESWT+	29	2	10	3	3,7	1,6
rESWT-	21	3	10	3	3,9	1,8
fESWT+	62	1	6	3	2,6	1,1
fESWT-	18	3	4	3	3,1	0,2

4.4.2 Zeitintervall zwischen den ESWT-Behandlungen, wenn mehr als eine Behandlung erfolgt war

Das größte mittlere Zeitintervall zwischen den ESWT-Behandlungen (wenn mehr als eine Behandlung erfolgt war) fand sich für die Gruppe fESWT- ($11,4 \pm 8,7$) und das kleinste mittlere Zeitintervall für die Gruppe rESWT+ ($6,3 \pm 2,6$) (Abbildung 4.2B und H sowie Tabelle 4.6). Statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede im mittleren Zeitintervall zwischen den ESWT-Behandlungen (wenn mehr als eine Behandlung erfolgt war) fanden sich bei den folgenden Gruppenvergleichen: fESWT- > rESWT+, fESWT+ > rESWT+ (Abbildung 4.2B). Der Median war aber bei allen Gruppen gleich (sieben Tage).

Tabelle 4.6 | Deskriptive Statistik der Variablen "Zeitintervall (Tage) zwischen den ESWT-Behandlungen, wenn mehr als eine Behandlung erfolgt war" in den mittels *systematic review* ermittelten Studien.

Abkürzungen: N: Anzahl der Studien in den einzelnen Gruppen; Min: kleinster Wert; Max: größter Wert; StAbw: Standardabweichung.

Anmerkung: die Anzahl der Studien in den einzelnen Gruppen ist teilweise kleiner als in Abbildung 4.1 angegeben, da (i) Studien, bei denen nur eine ESWT-Behandlung erfolgt war, in dieser Analyse nicht berücksichtigt wurden und (ii) darüber hinaus nicht in allen Studien das Zeitintervall zwischen den ESWT-Behandlungen angegeben wurde.

Gruppe	N	Min	Max	Median	Mittelwert	StAbw
Alle Studien						
rESWT+	44	1	14	7	6,3	2,6
rESWT-	23	3	12	7	6,6	1,8
fESWT+	60	3	42	7	8,3	5,2
fESWT-	20	3,5	28	7	11,4	8,7
Studien zu den Indikationen, die in der Metaanalyse berücksichtigt wurden						
rESWT+	29	1	14	7	6,8	2,6
rESWT-	21	3	12	7	6,7	1,8
fESWT+	50	3	42	7	8,6	5,6
fESWT-	17	3,5	28	7	12,2	9,3

4.4.3 Anzahl von rESWs oder fESWs pro Behandlung

Die größte mittlere Anzahl von rESWs oder fESWs fand sich für die Gruppe fESWT+ (1992 ± 1055) und die kleinste mittlere Anzahl von rESWs oder fESWs für die Gruppe fESWT- (1839 ± 610) (Abbildung 4.2C und I sowie Tabelle 4.7). Insgesamt waren die Unterschiede zwischen den Gruppen jedoch gering; der Median betrug bei allen Gruppen 2000 rESWs oder fESWs. Statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede zwischen den Gruppen fanden sich keine.

Tabelle 4.7 | Deskriptive Statistik der Variablen "Anzahl von fESWs oder rESWs pro Behandlung" in den mittels *systematic review* ermittelten Studien.

Abkürzungen: N: Anzahl der Studien in den einzelnen Gruppen; Min: kleinster Wert; Max: größter Wert; StAbw: Standardabweichung.

Anmerkung: die Anzahl der Studien in den einzelnen Gruppen ist teilweise kleiner als in Abbildung 4.1 angegeben, da nicht in allen Studien die Anzahl von fESWs oder rESWs pro Behandlung angegeben wurde.

Gruppe	N	Min	Max	Median	Mittelwert	StAbw
Alle Studien						
rESWT+	44	500	4000	2000	1968	537
rESWT-	23	1000	3200	2000	1965	422
fESWT+	78	250	6000	2000	1992	1055
fESWT-	22	1000	4000	2000	1839	610
Studien zu den Indikationen, die in der Metaanalyse berücksichtigt wurden						
rESWT+	29	500	4000	2000	1934	585
rESWT-	21	1500	2500	2000	2000	158
fESWT+	62	700	4000	2000	1960	873
fESWT-	18	1000	4000	2000	1936	601

4.4.4 Energieflussdichte der applizierten fESWs oder rESWs

Die größte mittlere Energieflussdichte der applizierten rESWs oder fESWs fand sich für die Gruppe fESWT+ ($0,20 \pm 0,12 \text{ mJ/mm}^2$) und die kleinste mittlere Energieflussdichte für die Gruppe rESWT+ ($0,13 \pm 0,04 \text{ mJ/mm}^2$) (Abbildung 4.2D und J sowie Tabelle 4.8). Statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede zwischen den Gruppen fanden sich keine. Es sei aber darauf hingewiesen, dass durch etliche fehlende Informationen (vgl. Tabellen 4.1 und 4.2) die statistische Analyse der Variablen "Energieflussdichte der applizierten rESWs oder fESWs" nur eingeschränkte Aussagekraft hat.

Tabelle 4.8 | Deskriptive Statistik der Variablen "Energieflussdichte (in mJ/mm^2) der applizierten rESWs oder fESWs" in den mittels *systematic review* ermittelten Studien.

Abkürzungen: N: Anzahl der Studien in den einzelnen Gruppen; Min: kleinster Wert; Max: größter Wert; StAbw: Standardabweichung.

Anmerkung: die Anzahl der Studien in den einzelnen Gruppen ist teilweise kleiner als in Abbildung 4.1 angegeben, da nicht in allen Studien die Energieflussdichte der applizierten fESWs oder rESWs angegeben wurde (Angaben in Bar bei rESWT konnten wegen fehlender Zusatzinformationen nicht in mJ/mm^2 umgerechnet werden).

Gruppe	N	Min	Max	Median	Mittelwert	StAbw
Alle Studien						
rESWT+	23	0,06	0,20	0,12	0,13	0,04
rESWT-	11	0,09	0,35	0,16	0,16	0,08
fESWT+	74	0,03	0,62	0,18	0,20	0,12
fESWT-	19	0,03	0,56	0,12	0,16	0,12
Studien zu den Indikationen, die in der Metaanalyse berücksichtigt wurden						
rESWT+	17	0,06	0,20	0,12	0,12	0,04
rESWT-	11	0,09	0,35	0,12	0,15	0,08
fESWT+	59	0,06	0,55	0,20	0,19	0,11
fESWT-	16	0,06	0,55	0,12	0,16	0,13

4.4.5 Insgesamt applizierte Energieflussdichte der applizierten fESWs oder rESWs

Die größte mittlere insgesamt applizierte Energieflussdichte (Anzahl der Behandlungen × Anzahl von rESWs bzw. fESWs pro Behandlung × Energieflussdichte der applizierten rESWs bzw. fESWs) fand sich für die Gruppe rESWT- ($1,25 \pm 0,72 \text{ J/mm}^2$) und die kleinste mittlere insgesamt applizierte Energieflussdichte für die Gruppe fESWT- ($0,88 \pm 0,73 \text{ J/mm}^2$) (Abbildung 4.2E und K sowie Tabelle 4.9). Statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede zwischen den Gruppen fanden sich keine. Es sei aber darauf hingewiesen, dass durch etliche fehlende Informationen (vgl. Tabellen 4.1 und 4.2) auch die statistische Analyse der Variablen "Insgesamt applizierte Energieflussdichte der applizierten rESWs oder fESWs" nur eingeschränkte Aussagekraft hat.

Tabelle 4.9 | Deskriptive Statistik der Variablen "Insgesamt applizierte Energieflussdichte (in J/mm^2) der applizierten fESWs oder rESWs" in den mittels *systematic review* ermittelten Studien.

Abkürzungen: N: Anzahl der Studien in den einzelnen Gruppen; Min: kleinster Wert; Max: größter Wert; StAbw: Standardabweichung.

Anmerkung: die Anzahl der Studien in den einzelnen Gruppen ist teilweise kleiner als in Abbildung 4.1 angegeben, da nicht für alle Studien die insgesamt applizierte Energieflussdichte der applizierten fESWs oder rESWs berechnet werden konnte (Angaben in Bar bei rESWT konnten wegen fehlender Zusatzinformationen nicht in mJ/mm^2 umgerechnet werden).

Gruppe	N	Min	Max	Median	Mittelwert	StAbw
Alle Studien						
rESWT+	23	0,36	2,00	0,72	0,95	0,47
rESWT-	11	0,51	2,80	0,96	1,25	0,72
fESWT+	74	0,01	3,72	0,70	0,97	0,81
fESWT-	19	0,14	3,33	0,66	0,88	0,73
Studien zu den Indikationen, die in der Metaanalyse berücksichtigt wurden						
rESWT+	17	0,36	2,00	0,72	0,81	0,37
rESWT-	11	0,51	2,80	0,96	1,15	0,68
fESWT+	59	0,18	3,20	0,86	0,96	0,70
fESWT-	16	0,24	3,33	0,69	0,92	0,76

4.4.6 PEDro-Gesamtbewertung

Die größte mittlere PEDro-Gesamtbewertung fand sich für die Gruppe fESWT- ($6,5 \pm 1,9$) und die kleinste mittlere PEDro-Gesamtbewertung für die Gruppe fESWT+ ($6,0 \pm 1,8$) (Abbildung 4.2F und L sowie Tabelle 4.10). Insgesamt waren die Unterschiede zwischen den Gruppen jedoch gering; statistisch signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede zwischen den Gruppen fanden sich keine.

Tabelle 4.10 | Deskriptive Statistik der Variablen "PEDro-Gesamtbewertung" der mittels *systematic review* ermittelten Studien.

Abkürzungen: N: Anzahl der Studien in den einzelnen Gruppen; Min: kleinster Wert; Max: größter Wert; StAbw: Standardabweichung.

Anmerkung: die Anzahl der Studien in den einzelnen Gruppen ist teilweise kleiner als in Abbildung 4.1 angegeben, da nicht für alle Studien eine PEDro-Bewertung vorlag.

Gruppe	N	Min	Max	Median	Mittelwert	StAbw
Alle Studien						
rESWT+	45	4	9	6	6,2	1,6
rESWT-	23	2	9	6	6,0	1,8
fESWT+	78	1	9	6	6,0	1,8
fESWT-	23	3	9	7	6,5	1,9
Studien zu den Indikationen, die in der Metaanalyse berücksichtigt wurden						
rESWT+	29	4	9	7	6,4	1,6
rESWT-	21	2	9	6	6,2	1,8
fESWT+	62	3	9	6	6,2	1,7
fESWT-	19	3	9	7	6,5	1,7

4.5 Ergebnisse der Metaanalyse der mittels *systematic review* ermittelten Studien

4.5.1 Vorauswahl von Studien, die in der Metaanalyse berücksichtigt werden konnten

Die Tabellen 4.11 bis 4.28 fassen das Ergebnis der Vorauswahl zusammen. Von den 172 Studien im *systematic review* konnten nur 44 Studien bei der Metaanalyse berücksichtigt werden, verteilt auf die folgenden Gruppen und Indikationen:

- rESWT+: zehn Studien (22,7% der Studien im *systematic review*),
- rESWT-: sieben Studien (28,0% der Studien im *systematic review*),
- fESWT+: 17 Studien (22,1% der Studien im *systematic review*),
- fESWT-: neun Studien (39,1% der Studien im *systematic review*),
- rESWT+fESWT: eine Studie (100% der Studien im *systematic review*),
- Andere: keine Studie (0% der Studien im *systematic review*),
- Gesamt: 44 Studien (25,6% der Studien im *systematic review*).

Die 44 Studien, die für die Metaanalyse geeignet waren, verteilten sich auf die folgenden Diagnosen:

- Plantarfasziopathie (17 Studien, davon vier Studien zu rESWT und 13 Studien zu fESWT),
- Tendinopathien der Achillessehne (drei Studien, davon je eine Studie zu rESWT, fESWT und rESWT+fESWT),
- Kniegelenksarthrose (vier Studien, alle vier Studien zu rESWT),
- Tennisellenbogen (zehn Studien, davon vier Studien zu rESWT und sechs Studien zu fESWT), sowie
- Tendinopathien der Rotatorenmanschette (einschließlich der Kalkschulter) (zehn Studien, davon vier Studien zu rESWT und sechs Studien zu fESWT).

Auf eine weitere Unterteilung (z.B. zwischen Insertionstendinopathien der Achillessehne und "midbody" Tendinopathien der Achillessehne) wurde bewusst verzichtet.

Es sei darauf hingewiesen, dass in einer Studie von Kolk et al. (2013) Tendinopathien der Rotatorenmanschette mit und ohne Verkalkung separat untersucht wurden. Dementsprechend wurde die genannte Studie von Kolk et al. (2013) in der Metaanalyse zweimal berücksichtigt.

Tabelle 4.11 | Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in Tabelle 4.1 gelisteten Studien zur Behandlung der Plantarfasziopathie mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT) für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Metaanalyse.

Abkürzung: ØS/N: keine Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung

Verwendbare Studien	
Marks et al. (2008)	
Ibrahim et al. (2010)	
Akinoğlu et al. (2017)	
Akinoğlu und Köse (2018)	
Nicht verwendbare Studien	Begründung für die Nichtverwendung
Mehra et al. (2003)	Keine Standardabweichung angegeben (nur Mittelwerte)
Chow und Cheing (2007)	ØS/N (Vergleich von verschiedenen rESWT-Protokollen)
Gerdesmeyer et al. (2008)	Keine Standardabweichung des Composite-Scores zum Zeitpunkt t=0 angegeben
d'Andrea Greve et al. (2009)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit Ultraschalltherapie)
Lohrer et al. (2010)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit fESWT)
Rompe et al. (2010)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit rESWT und spezifischen Dehnübungen)
Shaheen (2010)	ØS/N (Vergleich von verschiedenen rESWT-Protokollen)
Grecco et al. (2013)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit Ultraschalltherapie)
Konjen et al. (2015)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit Ultraschalltherapie)
Rompe et al. (2015)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit rESWT und spezifischen Dehnübungen)
Eslamian et al. (2016)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit Kortikosteroidinjektion)
Krukowska et al. (2016)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit Ultraschalltherapie)
Ulusoy et al. (2017)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit Laserbehandlung und Ultraschalltherapie)
Cinar et al. (2018)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit Laserbehandlung)
Njawayaya et al. (2018)	ØS/N (Vergleich von verschiedenen rESWT-Protokollen)
Uğurlar et al. (2018)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit Prolotherapie, Injektion von plättchenreichem Plasma (PRP) und Kortikosteroidinjektion)
Yinilmez Sanmak et al. (2019)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit Laserbehandlung)
Narin et al. (2020)	ØS/N (Vergleich von verschiedenen rESWT-Protokollen)
Rastegar und Orak (2019)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit der Injektion von PRP)

Tabelle 4.12 | Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in Tabelle 4.2 gelisteten Studien zur Behandlung der Plantarfasziopathie mit fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT) für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Metaanalyse.

Abkürzung: ØS/N: keine Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung

Verwendbare Studien	
Rompe et al. (1996b)	
Cosentino et al. (2001)	
Buch et al. (2002)	
Buchbinder et al. (2002)	
Rompe et al. (2002)	
Haake et al. (2003)	
Rompe et al. (2003)	
Speed et al. (2003)	
Theodore et al. (2004)	
Kudo et al. (2006)	
Saxena et al. (2012)	
Vahdatpour et al. (2012)	
Takla und Rezk (2019)	
Nicht verwendbare Studien	Begründung für Nichtverwendung
Rompe et al. (1996c)	Keine Standardabweichung angegeben
Krischek et al. (1998)	ØS/N (Vergleich verschiedener fESWT-Protokolle)
Ogden et al. (2001a)	Keine Standardabweichungen angegeben
Hammer et al. (2002)	ØS/N (Vergleich von fESWT mit einer Kombination anderer konservativer Behandlungen)
Hammer et al. (2003)	ØS/N (Vergleich von fESWT mit einer Kombination anderer konservativer Behandlungen)
Ogden et al. (2004)	Keine Standardabweichungen angegeben
Porter und Shadbolt (2005)	ØS/N (Vergleich von fESWT mit Kortikosteroidinjektion)
Rompe et al. (2005)	ØS/N (Vergleich von fESWT unter Lokalanästhesie mit fESWT ohne Lokalanästhesie)
Dorotka et al. (2006)	ØS/N (Vergleich verschiedener fESWT-Protokolle)
Malay et al. (2006)	Nur Veränderung zum Baselinewert angegeben
Wang et al. (2006)	ØS/N (Vergleich von fESWT mit anderen konservativen Behandlungen)
Gollwitzer et al. (2007)	Keine Standardabweichungen angegeben
Liang et al. (2007)	ØS/N (Vergleich verschiedener fESWT-Protokolle)
Tornese et al. (2008)	ØS/N (Vergleich verschiedener fESWT-Protokolle)
Lohrer et al. (2010)	ØS/N (Vergleich von fESWT mit rESWT)
Yucel et al. (2010)	ØS/N (Vergleich von fESWT mit Kortikosteroidinjektion)
Radwan et al. (2012)	ØS/N (Vergleich von fESWT mit Fasziotomie)
Chew et al. (2013)	keine Standardabweichungen angegeben
Razzano et al. (2017)	ØS/N (Vergleich von fESWT mit Neurostimulation)

Tabelle 4.13 | Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in Tabelle 4.1 gelisteten Studien zur Behandlung von Tendinopathien der Achillessehne mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT) für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Metaanalyse.

Abkürzung: ØS/N: keine Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung

Verwendbare Studien	
Rompe et al. (2007b)	
Nicht verwendbare Studien	Begründung für Nichtverwendung
Rompe et al. (2008)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit "eccentric loading")
Rompe et al. (2009a)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit rESWT +"eccentric loading")

Tabelle 4.14 | Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in Tabelle 4.2 gelisteten Studien zur Behandlung von Tendinopathien der Achillessehne mit fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT) für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Metaanalyse.

Abkürzung: ØS/N: keine Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung

Verwendbare Studien	
Costa et al. (2005)	
Nicht verwendbare Studien	Begründung für Nichtverwendung
Rasmussen et al. (2008)	Keine Standardabweichungen für den Schmerzscore angegeben
Notarnicola et al. (2014)	ØS/N (Vergleich von fESWT mit Laserbehandlung kombiniert mit Kaltluft)

Tabelle 4.15 | Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in Tabelle 4.3 gelisteten Studie zur Behandlung von Tendinopathien der Achillessehne mit radialer und fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT+fESWT) für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Metaanalyse.

Abkürzung: ØS/N: keine Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung

Verwendbare Studien	
Vahdatpour et al. (2018)	
Nicht verwendbare Studien	Begründung für Nichtverwendung
-	-

Tabelle 4.16 | Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in Tabelle 4.1 gelisteten Studien zur Behandlung der Kniegelenksarthrose mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT) für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Metaanalyse.

Abkürzung: ØS/N: keine Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung

Verwendbare Studien	
Li et al. (2015)	
Ediz und Ozgokce (2018)	
Zhong et al. (2019)	
Uysal et al. (2020)	
Nicht verwendbare Studien	Begründung für Nichtverwendung
Imamura et al. (2017)	Keine Angabe des Mittelwertes und der Standardabweichung (nur Median und interquartile range)

Tabelle 4.17 | Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in Tabelle 4.2 gelisteten Studien zur Behandlung der Kniegelenksarthrose mit fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT) für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Metaanalyse.

Abkürzung: ØS/N: keine Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung

Verwendbare Studien	
-	
Nicht verwendbare Studien	Begründung für Nichtverwendung
Lizis et al. (2017)	ØS/N (Vergleich von fESWT mit Kinesiotherapie)

Tabelle 4.18 | Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in Tabelle 4.1 gelisteten Studien zur Behandlung des Tennisellenbogens mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT) für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Metaanalyse.

Abkürzung: ØS/N: keine Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung

Verwendbare Studien	
Sarkar et al. (2013)	
Capan et al. (2016)	
Yang et al. (2017)	
Eraslan et al. (2018)	
Nicht verwendbare Studien	Begründung für Nichtverwendung
Mehra et al. (2003)	Keine Standardabweichung angegeben (nur Mittelwerte)
Spacca et al. (2005)	Kein Mittelwert und keine Standardabweichung angegeben (stattdessen Median sowie 5% und 95% percentile)
Gündüz et al. (2012)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit Physiotherapie und Kortikosteroidinjektion)
Lee et al. (2012)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit Kortikosteroidinjektion)
Akkurt et al. (2016)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit Kortikosteroidinjektion und Physiotherapie)
Kubot et al. (2017)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit Ultraschalltherapie)
Altun et al. (2018)	ØS/N (Vergleich rESWT mit Physiotherapie)
Ahadi et al. (2019)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit Physiotherapie)
Bagcier und Yilmaz (2019)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit rESWT + "dry needling")

Tabelle 4.19 | Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in Tabelle 4.2 gelisteten Studien zur Behandlung des Tennisellenbogens mit fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT) für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Metaanalyse.

Abkürzung: ØS/N: keine Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung

Verwendbare Studien	
Rompe et al. (1996a)	
Rompe et al. (1998c)	
Speed et al. (2002a)	
Chung und Wiley (2004)	
Rompe et al. (2004)	
Pettrone und McCall (2005)	
Nicht verwendbare Studien	Begründung für Nichtverwendung
Rompe et al. (1996d)	Keine Standardabweichungen angegeben (nur Mittelwerte und prozentuale Veränderungen)
Rompe et al. (1997)	Keine Mittelwerte und keine Standardabweichungen angegeben
Rompe et al. (2001)	ØS/N (Vergleich von fESWT mit fESWT kombiniert mit manueller Therapie)
Crowther et al. (2002)	ØS/N (Vergleich von fESWT mit Kortikosteroidinjektion)
Haake et al. (2002b)	Keine Schmerzscores vor Beginn der Behandlung angegeben
Melikyan et al. (2003)	Keine Standardabweichungen angegeben (nur Mittelwertveränderungen)
Melegati et al. (2004)	ØS/N (Vergleich verschiedener fESWT-Protokolle)
Chung et al. (2005)	Keine Mittelwerte und keine Standardabweichungen angegeben (nur Median und Interquartilsabstände)
Staples et al. (2008)	Kein verwendbares Streumaß für den Schmerzscore vor der Behandlung angegeben
Ozturan et al. (2010)	ØS/N (Vergleich von fESWT mit Kortikosteroidinjektion und Injektion von Eigenblut (Eigenbluttherapie))
Taheri et al. (2017)	ØS/N (Vergleich verschiedener fESWT-Protokolle)
Celik und Anafiroglu Kulunkoglu (2019)	ØS/N (Vergleich von fESWT mit Laserbehandlung)
Oh et al. (2011)	ØS/N (Vergleich von fESWT mit der Injektion plättchenreichen Plasmas)

Tabelle 4.20 | Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in Tabelle 4.1 gelisteten Studien zur Behandlung von Tendinopathien der Rotatorenmanschette (einschließlich der Kalkschulter) mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT) für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Metaanalyse.

Abkürzung: ØS/N: keine Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung

Verwendbare Studien	
Cacchio et al. (2006)	
Kolk et al. (2013)	
Kvalvaag et al. (2017)	
Duymaz und Sindel, 2019	
Nicht verwendbare Studien	Begründung für Nichtverwendung
Engebreetsen et al. (2009)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit „supervised exercises“)
Engebreetsen et al. (2010)	Analyse von Prädiktoren für das Behandlungsergebnis
del Castillo-Gonzalez et al. (2016)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit "ultrasound-guided percutaneous lavage")
de Boer et al. (2017)	ØS/N (Vergleich von rESWT mit "ultrasound-guided percutaneous lavage")
Kvalvaag et al. (2018)	Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung nach einem Jahr hatten bei 27% der Patienten in der rESWT-Gruppe und bei 19% in der Placebo-Gruppe weitere Behandlungen stattgefunden (darunter operative Maßnahmen).

Tabelle 4.21 | Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in Tabelle 4.1 gelisteten Studien zur Behandlung von Tendinopathien der Rotatorenmanschette (einschließlich der Kalkschulter) mit fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT) für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Metaanalyse.

Abkürzung: ØS/N: keine Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung

Verwendbare Studien	
Schmitt et al. (2001)	
Schmitt et al. (2002)	
Speed et al. (2002b)	
Pleiner et al. (2004)	
Hsu et al. (2008)	
Galasso et al. (2012)	
Nicht verwendbare Studien	Begründung für Nichtverwendung
Rompe et al. (1998a)	ØS/N (Vergleich verschiedener fESWT-Protokolle)
Loew et al. (1999) (Teil 1)	Kein Schmerzscore angegeben
Loew et al. (1999) (Teil 2)	Kein Schmerzscore angegeben
Loew et al. (1999) (Teil 3)	Kein Schmerzscore angegeben
Seil et al. (1999)	ØS/N (Vergleich verschiedener fESWT-Protokolle)
Haake et al. (2001)	ØS/N (Vergleich von fESWT mit Röntgenreizbestrahlung)
Haake et al. (2002a)	ØS/N (Vergleich verschiedener fESWT-Protokolle)
Cosentino et al. (2003)	Kein Streumaß bei der Kontrollgruppe angegeben
Gerdsmeyer et al. (2003)	Keine Standardabweichungen angegeben
Pan et al. (2003)	ØS/N (Vergleich von fESWT mit transkutaner Nervenstimulation)
Perlick et al. (2003)	ØS/N (Vergleich verschiedener fESWT-Protokolle)
Peters et al. (2004)	Kein Schmerzscore angegeben
Sabeti-Aschraf et al. (2005)	ØS/N (Vergleich verschiedener fESWT-Protokolle)
Albert et al. (2007)	Keine Standardabweichungen angegeben
Sabeti et al. (2007)	ØS/N (Vergleich verschiedener fESWT-Protokolle)
Farr et al. (2011)	ØS/N (Vergleich verschiedener fESWT-Protokolle)
Hearnden et al. (2009)	Keine Standardabweichung oder Standardfehler angegeben
Schofer et al. (2009)	ØS/N (Vergleich verschiedener fESWT-Protokolle)
Tornese et al. (2011)	ØS/N (Vergleich verschiedener fESWT-Protokolle)
Ioppolo et al. (2012)	ØS/N (Vergleich verschiedener fESWT-Protokolle)
Santamato et al. (2016)	ØS/N (Vergleich von fESWT mit fESWT kombiniert mit isokinetischem Training)
Frizziero et al. (2017)	ØS/N (Vergleich von fESWT mit Hyaluronsäureinjektion)

Tabelle 4.22 | Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in den Tabellen 4.1 und 4.2 gelisteten Studien zur Behandlung der Tendinopathie der Patellasehne mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT) oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT) für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Metaanalyse.

Abkürzung: ØS/N: keine Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung

Mögliche verwendbare Studien	Technologie	
Thijs et al. (2017)	fESWT	
Nicht verwendbare Studien		Begründung für Nichtverwendung
Taunton et al. (2003)	fESWT	Kein verwendbares Streumaß angegeben
Wang et al. (2007a)	fESWT	ØS/N (Vergleich von fESWT mit verschiedenen anderen konservativen Therapiemaßnahmen)
Zwerver et al. (2011)	fESWT	Behandlung von Spitzensportlern (Basketballspieler) während der Saison ohne Sportpause
Cheng et al. (2019)	rESWT	ØS/N (Vergleich von rESWT mit anderen Therapien u.a. Akupunktur, Ultraschall- und Mikrowellentherapie)

Tabelle 4.23 | Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in den Tabellen 4.1 und 4.2 gelisteten Studien zur Behandlung des myofaszialen Schmerzsyndroms mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT) oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT) für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Metaanalyse.

Abkürzung: ØS/N: keine Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung

Mögliche verwendbare Studien	Technologie	
Mostafa et al. (2016)	fESWT	
Aktürk et al. (2018)	rESWT	
Nicht verwendbare Studien		Begründung für Nichtverwendung
Cho et al. (2012)	rESWT	ØS/N (Vergleich von rESWT mit Stabilisierungsübungen und der Kombination dieser Therapien)
Lee und Han (2013)	rESWT	ØS/N (Vergleich von rESWT mit Injektionen in Triggerpunkte und propriozeptiver neuromuskulärer Fazilitation)
Taheri et al. (2016)	fESWT	ØS/N (Vergleich von fESWT mit Laserbehandlung)
Park et al. (2018)	fESWT	ØS/N (Vergleich unterschiedlicher fESWT-Protokolle)
Manafnezhad et al. (2019)	rESWT	ØS/N (Vergleich von rESWT mit "dry needling")
Gezginaslan und Gümüs Atalay (2020)	rESWT	ØS/N (Vergleich von rESWT mit Wärmepackungen, transkutaner elektrischer Nervstimulation und Ultraschalltherapie)

Tabelle 4.24 | Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in den Tabellen 4.1 und 4.2 gelisteten Studien zur Behandlung des Trochanter-major Schmerzsyndroms mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT) oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT) für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Metaanalyse.

Abkürzung: ØS/N: keine Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung

Mögliche verwendbare Studien	Technologie	
Ramon et al. (2020)	fESWT	
Nicht verwendbare Studien		Begründung für Nichtverwendung
Rompe et al. (2009b)	rESWT	ØS/N (Vergleich von rESWT mit Kortikosteroidinjektion und Übungen zu Hause)
Weckström und Söderström (2016)	rESWT	ØS/N (Vergleich von rESWT mit manueller Therapie)
Carlisi et al. (2019)	fESWT	ØS/N (Vergleich von fESWT mit Ultraschalltherapie)

Tabelle 4.25 | Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in den Tabellen 4.1 und 4.2 gelisteten Studien zur Behandlung von chronischen Rückenschmerzen mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT) oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT) für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Metaanalyse.

Abkürzung: ØS/N: keine Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung

Mögliche verwendbare Studien	Technologie	
Walewicz et al. (2019)	rESWT	
Walewicz et al. (2020)	rESWT	
Nicht verwendbare Studien		Begründung für Nichtverwendung
Notarnicola et al. (2018)	fESWT	ØS/N (Vergleich von fESWT mit Übungen)

Tabelle 4.26 | Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in den Tabellen 4.1 und 4.2 gelisteten Studien zur Behandlung des Karpaltunnelsyndroms mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT) oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT) für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Metaanalyse.

Abkürzung: ØS/N: keine Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung

Mögliche verwendbare Studien	Technologie	
Wu et al. (2016)	rESWT	
Nicht verwendbare Studien		Begründung für Nichtverwendung
Paoloni et al. (2015)	fESWT	ØS/N (Vergleich von fESWT mit Ultraschalltherapie und Cryo-Ultraschall)
Notarnicola et al. (2015)	fESWT	ØS/N (Vergleich von fESWT mit der Behandlung mit einer speziellen Salbe)

Tabelle 4.27 | Verwendbarkeit bzw. Nicht-Verwendbarkeit der in den Tabellen 4.1 und 4.2 gelisteten Studien zur Behandlung der adhäsiven Kapsulitis der Schulter mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT) oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT) für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Metaanalyse.

Abkürzung: ØS/N: keine Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung

Mögliche verwendbare Studien	Technologie
Vahdatpour et al. (2014)	fESWT
Hussein und Donatelli (2016)	rESWT
Nicht verwendbare Studien	Begründung für Nichtverwendung
Muthukrishnan et al. (2019)	rESWT ØS/N (Vergleich von fESWT mit Ultraschalltherapie)

Tabelle 4.28 | In den Tabellen 4.1 und 4.2 gelistete Studien zu Indikationen, die nicht in die Metaanalyse eingeschlossen werden konnten, da weniger als drei Studien zur jeweiligen Indikation vorlagen.

Indikation	Technologie	Studie
Tibiakantensyndrom	fESWT	Gomez Garcia et al. (2017)
Tendinopathie der proximalen ischiokruralen Muskulatur	rESWT	Cacchio et al. (2011)
Osteonekrose des Femurs	fESWT	Wang et al. (2005)
Frakturen der Röhrenknochen	fESWT	Wang et al. (2007b)
Kokzygodynie	rESWT	Lin et al. (2015)
Schambeinentzündung	fESWT	Schöberl et al. (2017)
Iliosakralgelenk-Schmerzen	fESWT	Moon et al. (2017)
Tenosynovitis der Bizepssehne	rESWT	Liu et al. (2012)
Unspezifische Schulterschmerzen	rESWT	Damian und Zalpour (2011)
Skapulohumerale Arthritis	rESWT	Zhang et al. (2019)
Ruptur der Rotatorenmanschette	fESWT	Saggini et al. (2010)
Myogelose des M.masseter	fESWT	Kraus et al. (1999)

4.5.2 Analyse der Bewertungssysteme für Schmerz in denjenigen Studien, die in der Metaanalyse berücksichtigt werden konnten

In den Tabellen 4.29 bis 4.33 sind die unterschiedlichen Bewertungssysteme für Schmerz zusammengestellt, die in denjenigen Studien verwendet wurden, die in der Metaanalyse berücksichtigt werden konnten. Es wurden die folgenden Bewertungssysteme verwendet:

- Ruheschmerz
- Schmerz am Morgen
- Schmerz beim ersten Laufen am Morgen
- Schmerz bei Bewegung/Aktivität
- Schmerz während der Nacht (Nachtschmerz)
- Gesamtschmerz ("overall pain")
- Druckschmerz
- Schmerz während des Thomsen Tests
- VISA-A-Score
- Schmerzbewertung des Foot Function Index

Dementsprechend gibt es bei Studien zu ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat kein einheitliches Bewertungssystem für Schmerz, auch wenn es zwischen den genannten Bewertungssystemen Überschneidungen und evtl. sogar Übereinstimmungen gibt (z.B. könnten "Ruheschmerz" und "Visuelle Analogskala" dasselbe Bewertungssystem darstellen).

Für die Methodik und die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit hat dieser Umstand jedoch keine unmittelbare Relevanz.

Tabelle 4.29 | Bewertungssysteme für Schmerz in denjenigen Studien zur Behandlung der Plantarfasziopathie mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT) oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT), die in der Metaanalyse berücksichtigt werden konnten.

Abkürzungen: A: Ruheschmerz; B: Schmerz am Morgen; C: Schmerz beim ersten Laufen am Morgen; D: Schmerz bei Bewegung/Aktivität; E: Schmerz während der Nacht (Nachtschmerz); F: Gesamtschmerz (“overall pain”); G: Druckschmerz; H: Schmerz während des Thomsen Tests; I: VISA-A-Score; J: Schmerzbewertung des Foot Function Index.

Studien	Bewertungssystem									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Studien zu rESWT										
Marks et al. (2008)						X				
Ibrahim et al. (2010)						X				
Akinoglu et al. (2017)										X
Akinoglu und Köse (2018)		X								
Studien zu fESWT										
Rompe et al. (1996b)	X									
Cosentino et al. (2001)	X									
Buch et al. (2002)			X							
Buchbinder et al. (2002)						X				
Rompe et al. (2002)	X									
Haake et al. (2003)	X									
Rompe et al. (2003)			X							
Speed et al. (2003)						X				
Theodore et al. (2004)			X							
Kudo et al. (2006)				X						
Saxena et al. (2012)						X				
Vahdatpour et al. (2012)						X				
Takla und Rezk (2019)						X				

Tabelle 4.30 | Bewertungssysteme für Schmerz in denjenigen Studien zur Behandlung von Tendinopathien der Achillessehne mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT) oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT), die in der Metaanalyse berücksichtigt werden konnten.

Abkürzungen: A: Ruheschmerz; B: Schmerz am Morgen; C: Schmerz beim ersten Laufen am Morgen; D: Schmerz bei Bewegung/Aktivität; E: Schmerz während der Nacht (Nachtschmerz); F: Gesamtschmerz (“overall pain”); G: Druckschmerz; H: Schmerz während des Thomsen Tests; I: VISA-A-Score; J: Schmerzbewertung des Foot Function Index.

Studie	Bewertungssystem									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Studien zu rESWT										
Rompe et al. (2007b)										X
Studien zu fESWT										
Costa et al. (2005)	X									
Studien zu rESWT+fESWT										
Vahdatpour et al. (2018)						X				

Tabelle 4.31 | Bewertungssysteme für Schmerz in denjenigen Studien zur Behandlung der Kniesgelenksarthrose mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie, die in der Metaanalyse berücksichtigt werden konnten.

Abkürzungen: A: Ruheschmerz; B: Schmerz am Morgen; C: Schmerz beim ersten Laufen am Morgen; D: Schmerz bei Bewegung/Aktivität; E: Schmerz während der Nacht (Nachtschmerz); F: Gesamtschmerz (“overall pain”); G: Druckschmerz; H: Schmerz während des Thomsen Tests; I: VISA-A-Score; J: Schmerzbewertung des Foot Function Index.

Studie	Bewertungssystem									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Li et al. (2015)						X				
Ediz und Ozgokce (2018)						X				
Zhong et al. (2019)						X				
Uysal et al. (2020)	X									

Tabelle 4.32 | Bewertungssysteme für Schmerz in denjenigen Studien zur Behandlung des Tennisellenbogens mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT) oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT), die in der Metaanalyse berücksichtigt werden konnten.

Abkürzungen: A: Ruheschmerz; B: Schmerz am Morgen; C: Schmerz beim ersten Laufen am Morgen; D: Schmerz bei Bewegung/Aktivität; E: Schmerz während der Nacht (Nachtschmerz); F: Gesamtschmerz (“overall pain”); G: Druckschmerz; H: Schmerz während des Thomsen Tests; I: VISA-A-Score; J: Schmerzbewertung des Foot Function Index.

Studie	Bewertungssystem									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Studien zu rESWT										
Sarkar et al. (2013)						X				
Capan et al. (2016)	X									
Yang et al. (2017)						X				
Eraslan et al. (2018)	X									
Studien zu fESWT										
Rompe et al. (1996a)	X									
Rompe et al. (1998c)							X			
Speed et al. (2002a)						X				
Chung und Wiley (2004)						X				
Rompe et al. (2004)								X		
Pettrone und McCall (2005)						X				

Tabelle 4.33 | Bewertungssysteme für Schmerz in denjenigen Studien zur Behandlung von Tendinopathien der Rotatorenmanschette (einschließlich der Kalkschulter) mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT) oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT), die in der Metaanalyse berücksichtigt werden konnten.

Abkürzungen: A: Ruheschmerz; B: Schmerz am Morgen; C: Schmerz beim ersten Laufen am Morgen; D: Schmerz bei Bewegung/Aktivität; E: Schmerz während der Nacht (Nachtschmerz); F: Gesamtschmerz (“overall pain”); G: Druckschmerz; H: Schmerz während des Thomsen Tests; I: VISA-A-Score; J: Schmerzbewertung des Foot Function Index.

Studie	Bewertungssystem									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
<i>Studien zu rESWT</i>										
Cacchio et al. (2006)						X				
Kolk et al. (2013)						X				
Kvalvaag et al. (2017)	X									
Duymaz und Sindel (2019)						X				
<i>Studien zu fESWT</i>										
Schmitt et al. (2001)	X									
Schmitt et al. (2002)	X									
Speed et al. (2002b)					X					
Pleiner et al. (2004)						X				
Hsu et al. (2008)						X				
Galasso et al. (2012)						X				

4.5.3 Analyse der Nachuntersuchungszeitpunkte in denjenigen Studien, die in der Metaanalyse berücksichtigt werden konnten

In den Tabellen 4.34 bis 4.38 sind die unterschiedlichen Nachuntersuchungszeitpunkte zusammengefasst, die in denjenigen Studien verwendet wurden, die in der Metaanalyse berücksichtigt werden konnten.

Als wesentliches Ergebnis zeigte sich, dass es bei Studien zu ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat keine einheitlichen Nachuntersuchungszeitpunkte gibt.

In der Metaanalyse wurden für jede Indikation getrennt die Schmerzwerte desjenigen Nachuntersuchungszeitpunkts verwendet, der für die meisten Studien verfügbar war:

- Plantarfasziopathie: 12 Wochen,
- Tendinopathien der Achillessehne: 16 Wochen,
- Kniegelenksarthrose: 12 Wochen,
- Tennisellenbogen: 12 Wochen, sowie
- Tendinopathien der Rotatorenmanschette (einschließlich der Kalkschulter): acht Wochen.

Bei denjenigen Studien, bei denen der jeweils genannte Nachuntersuchungszeitpunkt nicht verfügbar war, wurden die Schmerzwerte des jeweils nächsten Nachuntersuchungszeitpunkts verwendet.

Tabelle 4.34 | Nachuntersuchungszeitpunkte in denjenigen Studien zur Behandlung der Plantarfasziopathie mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT) oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT), die in der Metaanalyse berücksichtigt werden konnten.

Abkürzungen: T: Tag; W: Woche; J: Jahr (z.B.: W1 = eine Woche nach der ersten Behandlung oder eine Woche nach der letzten Behandlung – entsprechend der Angabe in der Studie) X: Zeitpunkt derjenigen Nachuntersuchungen, deren Schmerzwerte in der Metaanalyse verwendet wurden; O: Zeitpunkte zusätzlicher Nachuntersuchungen, deren Schmerzwerte nicht in der Metaanalyse verwendet wurden.

Anmerkungen: a: Zeitpunkt der Nachuntersuchungen relativ zum Zeitpunkt vor der ersten Behandlung; b: Zeitpunkt der Nachuntersuchungen relativ zum Zeitpunkt nach der letzten Behandlung.

Studie	Zeitpunkte der Nachuntersuchungen															
	T0	T3-5	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W8	W12	W16	W24	W25	W28	J1	J5
Studien zu rESWT																
Marks et al. (2008) ^b													X			
Ibrahim et al. (2010) ^a						O				X		O				
Akinoglu et al. (2017) ^a						X										
Akinoglu und Köse (2018) ^a						X										
Studien zu fESWT																
Rompe et al. (1996b) ^b										X					O	
Cosentino et al. (2001) ^b	O					O				X						
Buch et al. (2002) ^b										X						
Buchbinder et al. (2002) ^b								O		X						
Rompe et al. (2002) ^b												X				O
Haake et al. (2003) ^b								O		X					O	
Rompe et al. (2003) ^b												X			O	
Speed et al. (2003) ^a						O			O	X		O				
Theodore et al. (2004) ^b		O						O		X						
Kudo et al. (2006) ^b										X						
Saxena et al. (2012) ^b															X	
Vahdatpour et al. (2012) ^b										X						
Takla und Rezk (2019) ^b	O									X						

Tabelle 4.35 | Nachuntersuchungszeitpunkte in denjenigen Studien zur Behandlung von Tendinopathien der Achillessehne mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT) oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT), die in der Metaanalyse berücksichtigt werden konnten.

Abkürzungen: T: Tag; W: Woche; J: Jahr (z.B.: W1 = eine Woche nach der ersten Behandlung oder eine Woche nach der letzten Behandlung – entsprechend der Angabe in der Studie) X: Zeitpunkt derjenigen Nachuntersuchungen, deren Schmerzwerte in der Metaanalyse verwendet wurden; O: Zeitpunkte zusätzlicher Nachuntersuchungen, deren Schmerzwerte nicht in der Metaanalyse verwendet wurden.

Anmerkungen: a: Zeitpunkt der Nachuntersuchungen relativ zum Zeitpunkt vor der ersten Behandlung; b: Zeitpunkt der Nachuntersuchungen relativ zum Zeitpunkt nach der letzten Behandlung.

Studie	Zeitpunkte der Nachuntersuchungen																
	T0	T3-5	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W8	W12	W16	W24	W25	W28	J1	J5	
Studien zu rESWT																	
Rompe et al. (2007) ^a																	X
Studien zu fESWT																	
Costa et al. (2005) ^a										X							
Studie zu rESWT + fESWT																	
Vahdatpour et al. (2018) ^b	O						O					X					

Tabelle 4.36 | Nachuntersuchungszeitpunkte in denjenigen Studien zur Behandlung der Kniegelenksarthrose mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT), die in der Metaanalyse berücksichtigt werden konnten.

Abkürzungen: T: Tag; W: Woche; J: Jahr (z.B.: W1 = eine Woche nach der ersten Behandlung oder eine Woche nach der letzten Behandlung – entsprechend der Angabe in der Studie) X: Zeitpunkt derjenigen Nachuntersuchungen, deren Schmerzwerte in der Metaanalyse verwendet wurden; O: Zeitpunkte zusätzlicher Nachuntersuchungen, deren Schmerzwerte nicht in der Metaanalyse verwendet wurden.

Anmerkungen: a: Zeitpunkt der Nachuntersuchungen relativ zum Zeitpunkt vor der ersten Behandlung; b: Zeitpunkt der Nachuntersuchungen relativ zum Zeitpunkt nach der letzten Behandlung.

Studie	Zeitpunkte der Nachuntersuchungen															
	T0	T3-5	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W8	W12	W16	W24	W25	W28	J1	J5
Li et al. (2015) ^b				X												
Ediz und Ozgokce (2018) ^b												X				O
Zhong et al. (2019) ^b							O			X						
Uysal et al. (2020) ^a	O					O				X						

Tabelle 4.37 | Nachuntersuchungszeitpunkte in denjenigen Studien zur Behandlung des Tennisellenbogens mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT) oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT), die in der Metaanalyse berücksichtigt werden konnten.

Abkürzungen: T: Tag; W: Woche; J: Jahr (z.B.: W1 = eine Woche nach der ersten Behandlung oder eine Woche nach der letzten Behandlung – entsprechend der Angabe in der Studie) X: Zeitpunkt derjenigen Nachuntersuchungen, deren Schmerzwerte in der Metaanalyse verwendet wurden; O: Zeitpunkte zusätzlicher Nachuntersuchungen, deren Schmerzwerte nicht in der Metaanalyse verwendet wurden.

Anmerkungen: a: Zeitpunkt der Nachuntersuchungen relativ zum Zeitpunkt vor der ersten Behandlung; b: Zeitpunkt der Nachuntersuchungen relativ zum Zeitpunkt nach der letzten Behandlung.

Studie	Zeitpunkte der Nachuntersuchungen																
	T0	T3-5	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W8	W12	W16	W24	W25	W28	J1	J5	
Studien zu rESWT																	
Sarkar et al. (2013) ^a						X											
Capan et al. (2016) ^b						O				X							
Yang et al. (2017) ^a								O		X		O					
Eraslan et al. (2018) ^a	X																
Studien zu fESWT																	
Rompe et al. (1996a) ^b	O				O			O				X					
Rompe et al. (1998c) ^b					O			O				X				O	
Speed et al. (2002a) ^a						O			O	X							
Chung und Wiley (2004) ^a						O			X								
Rompe et al. (2004) ^b										X						O	
Pettrone und McCall (2005) ^b			O			O			O	X							

Tabelle 4.38 | Nachuntersuchungszeitpunkte in denjenigen Studien zur Behandlung von Tendinopathien der Rotatorenmanschette (einschließlich der Kalkschulter) mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT) oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT), die in der Metaanalyse berücksichtigt werden konnten.

Abkürzungen: T: Tag; W: Woche; J: Jahr (z.B.: W1 = eine Woche nach der ersten Behandlung oder eine Woche nach der letzten Behandlung – entsprechend der Angabe in der Studie) X: Zeitpunkt derjenigen Nachuntersuchungen, deren Schmerzwerte in der Metaanalyse verwendet wurden; O: Zeitpunkte zusätzlicher Nachuntersuchungen, deren Schmerzwerte nicht in der Metaanalyse verwendet wurden.

Anmerkungen: a: Zeitpunkt der Nachuntersuchungen relativ zum Zeitpunkt vor der ersten Behandlung; b: Zeitpunkt der Nachuntersuchungen relativ zum Zeitpunkt nach der letzten Behandlung.

Studie	Zeitpunkte der Nachuntersuchungen															
	T0	T3-5	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W8	W12	W16	W24	W25	W28	J1	J5
Studien zu rESWT																
Cacchio et al. (2006) ^b			O										X			
Kolk et al. (2013) ^b										X			O			
Kvalvaag et al. (2017) ^a										X			O			
Duymaz und Sindel (2019) ^a						X										
Studien zu fESWT																
Schmitt et al. (2001) ^b								O		X						
Schmitt et al. (2002) ^b															X	
Speed et al. (2002b) ^a						O			O	X		O				
Pleiner et al. (2004) ^b			O							X				O		
Hsu et al. (2008) ^b								O		X		O			O	
Galasso et al. (2012) ^b								O		X						

4.5.4 Ergebnisse der Metaanalyse

Die Abbildungen 4.3 bis 4.7 zeigen die Ergebnisse der Metaanalyse, die zu folgendem Ergebnis kam:

- Bei allen untersuchten Indikationen war die Behandlung mit ESWT insgesamt einer Schein- bzw. Nichtbehandlung statistisch signifikant überlegen (jeweils $p < 0,001$).
- Bei der Behandlung der Plantarfasziopathie wurde das tendenziell beste Ergebnis mit rESWT erzielt (Mittelwert: 1,10; unteres Limit: 0,71; oberes Limit: 1,49; $p < 0,001$), dicht gefolgt von fESWT ohne Lokalanästhesie (Mittelwert: 0,99; unteres Limit: 0,82; oberes Limit: 1,15; $p < 0,001$) und - mit deutlichem Abstand - fESWT mit Lokalanästhesie (Mittelwert: 0,19; unteres Limit: 0,04; oberes Limit: 0,34; $p = 0,015$).
- Bei der Behandlung von Tendinopathien der Achillessehne (Mittelwert: 0,69; unteres Limit: 0,35; oberes Limit: 1,00; $p < 0,001$) war wegen der geringen Anzahl von Studien keine Unterteilung in rESWT und fESWT mit und ohne Lokalanästhesie möglich.
- Bei der Behandlung der Kniegelenksarthrose waren alle Studien mit rESWT durchgeführt (Mittelwert: 1,17; unteres Limit: 0,91; oberes Limit: 1,42; $p < 0,001$).
- Bei der Behandlung des Tennisellenbogens wurde das tendenziell beste Ergebnis mit fESWT ohne Lokalanästhesie erzielt (Mittelwert: 1,05; unteres Limit 0,86; oberes Limit 1,23; $p < 0,001$), gefolgt von rESWT (Mittelwert: 0,55; unteres Limit: 0,20; oberes Limit: 0,90; $p = 0,002$). Studien zur Behandlung des Tennisellenbogens mit fESWT mit Lokalanästhesie kamen in der Metaanalyse nicht vor.
- Bei der Behandlung von Tendinopathien der Rotatorenmanschette (einschließlich der Kalkschulter) wurde das tendenziell beste Ergebnis mit fESWT mit Lokalanästhesie erzielt (Mittelwert 0,99; unteres Limit: 0,59; oberes Limit: 1,39; $p < 0,001$), gefolgt von rESWT (Mittelwert 0,71; unteres Limit: 0,49; oberes Limit: 0,93; $p < 0,001$).
- Dagegen war bei der Behandlung von Tendinopathien der Rotatorenmanschette (einschließlich der Kalkschulter) die fESWT ohne Lokalanästhesie einer Schein- bzw. Nichtbehandlung nicht statistisch signifikant überlegen (Mittelwert: 0,302; unteres Limit: - 0,07; oberes Limit: 0,68; $p = 0,114$). Allerdings waren auch nur zwei entsprechende Studien in der Metaanalyse berücksichtigt.

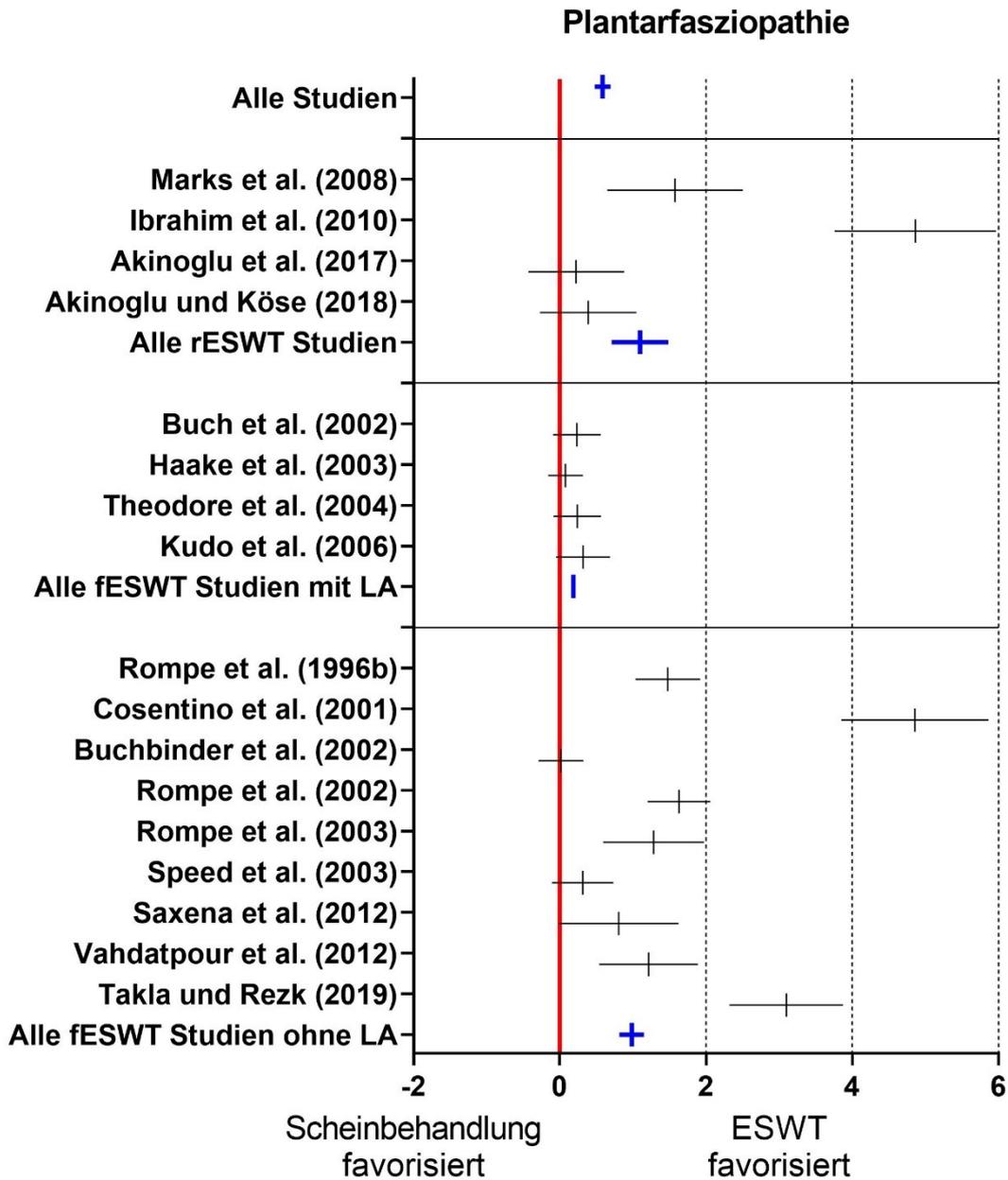


Abbildung 4.3 | Forest-Plot der Ergebnisse der Metaanalyse zur Behandlung der Plantarfasziopathie mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT) oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT). Einzelergebnisse sind durch schwarze Striche dargestellt und Gruppenergebnisse durch blaue Striche. Vertikale Striche repräsentieren jeweils die Standarddifferenz der Mittelwerte und horizontale Striche jeweils das Intervall zwischen dem unteren und dem oberen Limit.

Abkürzung: LA: Lokalanästhesie.

Tendinopathien der Achillessehne

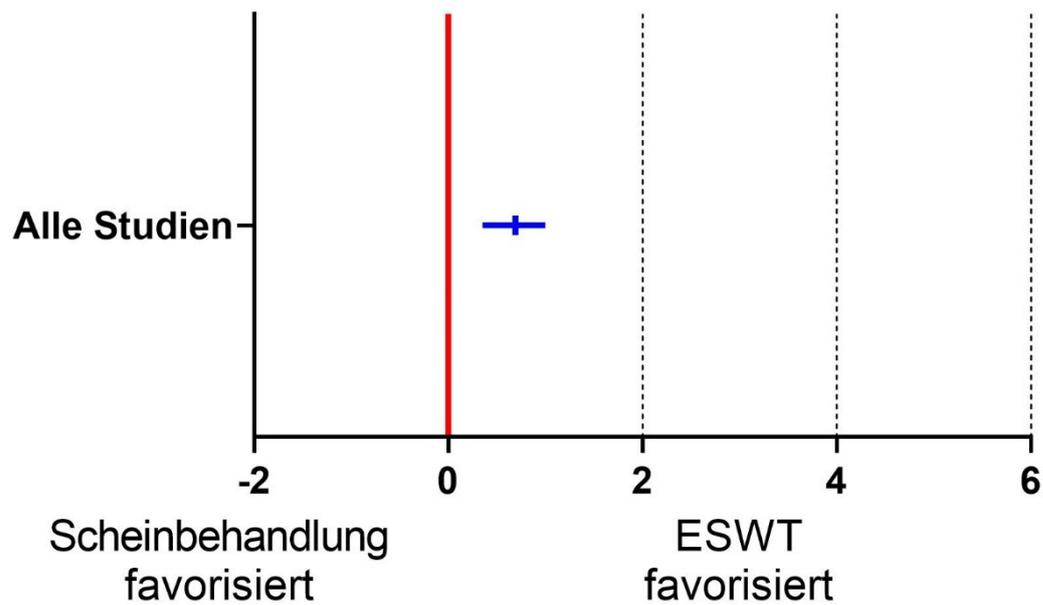


Abbildung 4.4 | Forest-Plot der Ergebnisse der Metaanalyse zur Behandlung von Tendinopathien der Achillessehne mit radialer und/oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie. Da für jede Behandlungsmethode jeweils nur eine Studie in der Metaanalyse berücksichtigt werden konnte, sind nur Gruppenergebnisse dargestellt. Der vertikale Strich repräsentiert die Standarddifferenz der Mittelwerte und der horizontale Strich das Intervall zwischen dem unteren und dem oberen Limit.

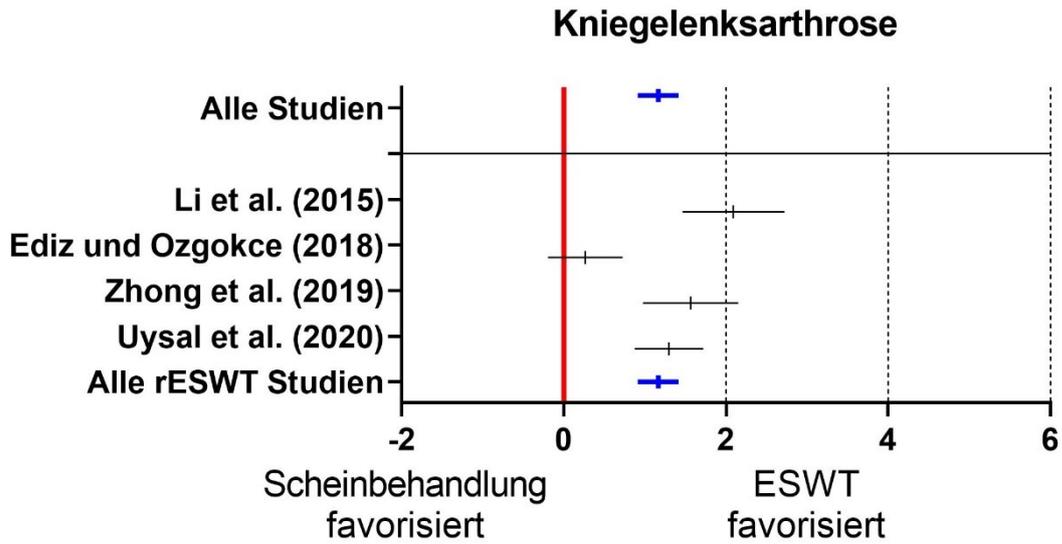


Abbildung 4.5 | Forest-Plot der Ergebnisse der Metaanalyse zur Behandlung der Kniegelenksarthrose mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT). Einzelergebnisse sind durch schwarze Striche dargestellt und Gruppenergebnisse durch blaue Striche. Vertikale Striche repräsentieren jeweils die Standarddifferenz der Mittelwerte und horizontale Striche jeweils das Intervall zwischen dem unteren und dem oberen Limit.

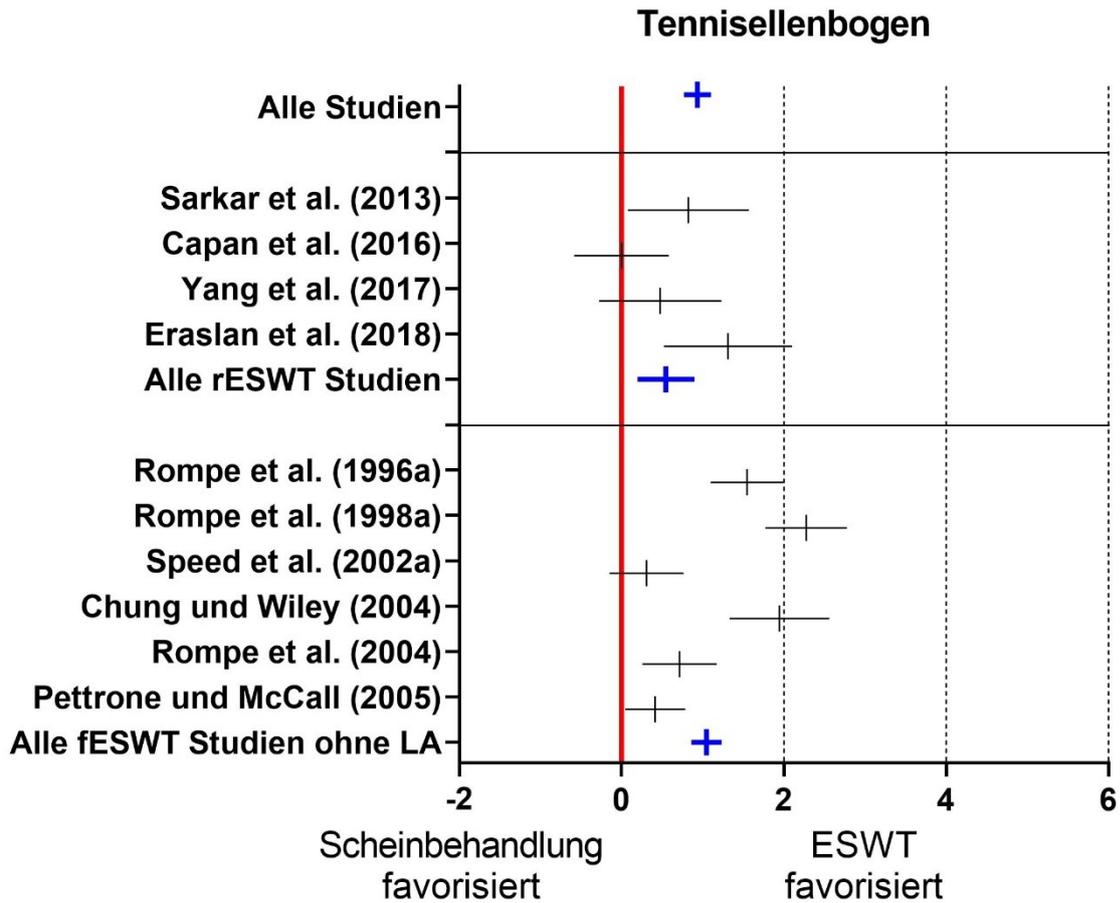


Abbildung 4.6 | Forest-Plot der Ergebnisse der Metaanalyse zur Behandlung des Tennisellenbogens mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT) oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT). Einzelergebnisse sind durch schwarze Striche dargestellt und Gruppenergebnisse durch blaue Striche. Vertikale Striche repräsentieren jeweils die Standarddifferenz der Mittelwerte und horizontale Striche jeweils das Intervall zwischen dem unteren und dem oberen Limit.

Abkürzung: LA: Lokalanästhesie.

Tendinopathien der Rotatorenmanschette

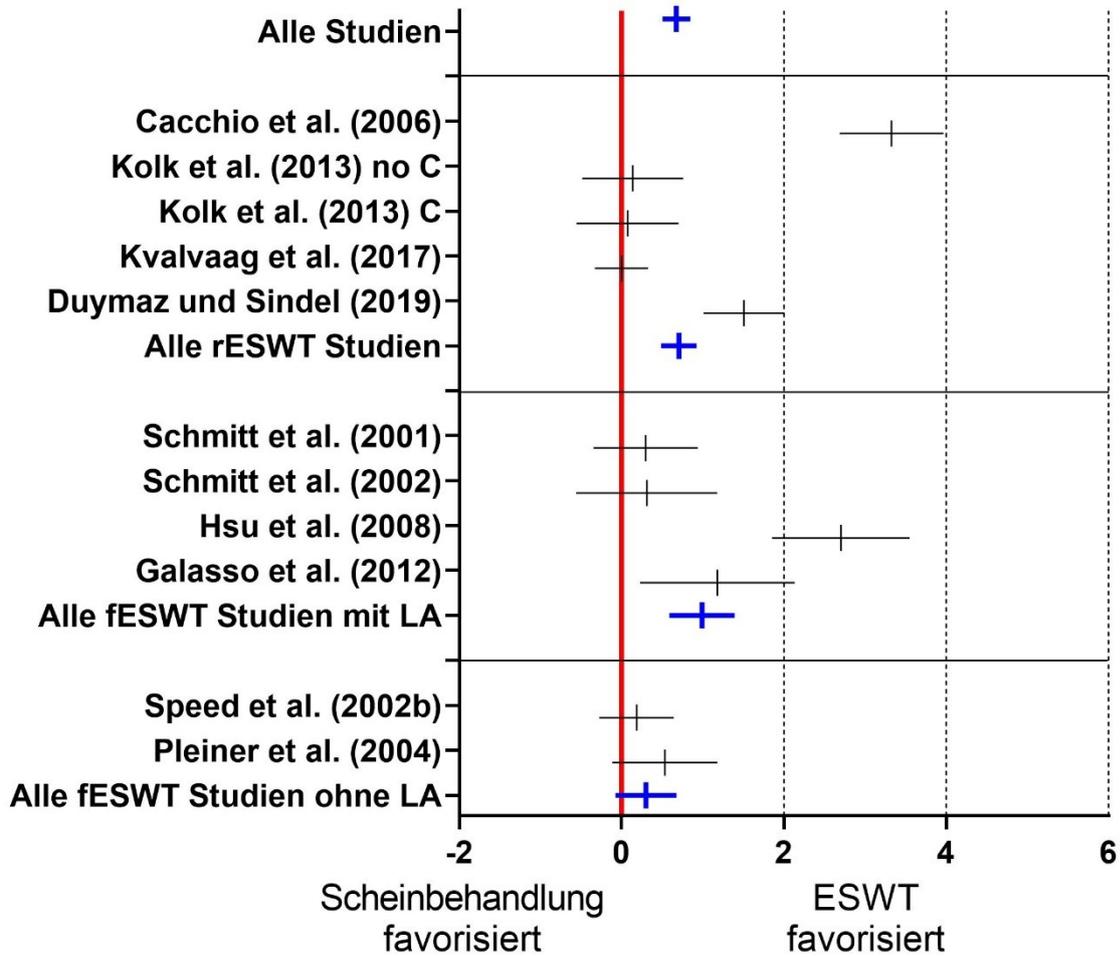


Abbildung 4.7 | Forest-Plot der Ergebnisse der Metaanalyse zur Behandlung von Tendinopathien der Rotatorenmanschette (einschließlich der Kalkschulter) mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie (rESWT) oder fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (fESWT). Einzelergebnisse sind durch schwarze Striche dargestellt und Gruppenergebnisse durch blaue Striche. Vertikale Striche repräsentieren jeweils die Standarddifferenz der Mittelwerte und horizontale Striche jeweils das Intervall zwischen dem unteren und dem oberen Limit.

Abkürzung: LA: Lokalanästhesie.

5 Diskussion

5.1 Zuwachs an Studien in der PEDro-Datenbank zwischen 2015 und 2020

Die von Schmitz et al. (2015) vorgelegte systematische Übersichtsarbeit zu den zum Zeitpunkt 17. Mai 2015 in der PEDro-Datenbank gelisteten Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat umfasste insgesamt 107 Studien (wobei eine Studie von Lohrer et al. (2010) wie auch in der vorliegenden Arbeit doppelt gezählt wurde). Der Einschluss weiterer 65 Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat zwischen dem 17. Mai 2015 (Stichtag der Studie von Schmitz et al., 2015) und dem 11. November 2020 (Stichtag der vorliegenden Arbeit) unterstreicht die Relevanz der in der vorliegenden Arbeit vorgenommenen Neuanalyse.

Tabelle 5.1 zeigt den absoluten und relativen Zuwachs von Studien in den einzelnen Gruppen in Bezug auf die verwendete ESWT-Technologie und das Studienergebnis. Dabei fällt folgendes auf:

- Innerhalb der klinischen Forschung zur ESWT stand zwischen 2015 und 2020 offensichtlich die rESWT im Vordergrund (absoluter bzw. relativer Zuwachs von Studien in der PEDro-Datenbank: +43 bzw. +165%). Dagegen fiel der Zuwachs an Studien zur fESWT in der PEDro-Datenbank in diesem Zeitraum sowohl in absoluten Zahlen (+19), insbesondere aber in relativen Zahlen (+23,5%), deutlich niedriger aus.
- Sowohl bei der rESWT als auch der fESWT fiel der relative Zuwachs von Studien mit negativem Ergebnis (d.h. keine statistisch signifikant besseren Behandlungsergebnisse mit rESWT bzw. fESWT als mit Scheinbehandlung, Nichtbehandlung oder einer alternativen Behandlungsmethode) deutlich größer aus als der relative Zuwachs von Studien mit positivem Ergebnis (d.h. statistisch signifikant bessere Behandlungsergebnisse mit rESWT als mit Scheinbehandlung, Nichtbehandlung oder einer alternativen Behandlungsmethode).

Tabelle 5.1 | Vergleich der Verfügbarkeit von Studien zur radialen extrakorporalen Stoßwellentherapie (rESWT) und zur fokussierten extrakorporalen Stoßwellentherapie (fESWT) zum Stichtag 17.05.2015 (*: ausgewertet in Schmitz et al., 2015) und zum Stichtag 11. November 2020 (**: ausgewertet in der vorliegenden Studie).

Anmerkung: die Gruppen rESWT+, rESWT-, fESWT+ und fESWT- sind in Abschnitt 3.3 definiert.

	rESWT+	rESWT -	rESWT gesamt	fESWT+	fESWT- -	fESWT gesamt
Studien 2015*	23	3	26	66	15	81
Studien 2020**	45	24	69	78	23	101
Zuwachs absolut	22	21	43	12	8	20
Zuwachs relativ [%]	+95,7	+700	+165	+18,2	+53,3	+24,7

Grundsätzlich kommen zwei Möglichkeiten in Frage, um diese Entwicklung zu erklären:

- rESWT und fESWT wurden zunehmend auf Indikationen ausgeweitet, bei denen die ESWT zu keinem positiven Behandlungsergebnis führt bzw. führen kann; sowie
- Es wurden zunehmend Vergleiche zwischen rESWT bzw. fESWT und alternativen Behandlungsmethoden durchgeführt und nicht mehr zwischen rESWT bzw. fESWT und Scheinbehandlung oder Nichtbehandlung.

Zu Klärung dieser Frage wurde wie folgt vorgegangen:

- Es wurden alle Studien mit negativem Ergebnis herausgesucht, die in der vorliegenden Arbeit, nicht aber bei Schmitz et al. (2015) berücksichtigt worden waren (diese Vorgehensweise war nötig, da Studien auch im Nachhinein in die PEDro-Datenbank aufgenommen werden können; d.h. das Jahr der Publikation ist kein eindeutiges Indiz dafür, wann eine Studie in die PEDro-Datenbank aufgenommen wurde).
- Für jede dieser Studien wurde geprüft, welche Indikation adressiert war und welche Kontrolltherapie untersucht wurde.
- Darüber hinaus wurde bei denjenigen Studien, bei denen eine 'echte' Kontrolltherapie zum Einsatz kam (also keine Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung), geprüft, ob nicht beide Behandlungen (ESWT und die Kontrolltherapie) zu einem positiven Ergebnis geführt hatten und nur keine Unterschiede beim direkten Vergleich der Behandlungsergebnisse gefunden wurden (solche Studien wurden nach der in Abschnitt 3.3 vorgenommenen Definition in die Kategorien rESWT- bzw. fESWT- eingeteilt), obwohl die ESWT zu einem positiven Ergebnis geführt hat.

Das Ergebnis ist in Tabelle 5.2 zusammengefasst. Man erkennt, dass die neu in die PEDro-Datenbank eingeschlossenen Studien mit negativem Ergebnis nicht auf die Behandlung neuer Indikationen zurückzuführen ist (die in Tabelle 5.2 genannten Indikationen waren alle schon in der Studie von Schmitz et al. (2015) genannt), sondern im Wesentlichen auf den Vergleich mit 'echten' Kontrolltherapien. Dabei hatten 16 dieser 19 Studien für die ESWT ein positives Ergebnis gefunden, für die jeweilige Kontrolltherapie aber ein statistisch nicht signifikant unterschiedliches Ergebnis. In zwei Studien (Celik und Anaforoglu Kulunkoglu, 2019; Bagcier und Yilmaz, 2019) hatten sowohl die ESWT als auch die Kontrolltherapie kein positives Ergebnis erbracht und nur bei einer einzigen Studie hatte die ESWT ein negatives Ergebnis, die Kontrolltherapie aber ein positives Ergebnis erbracht (Razzano et al., 2017).

Tabelle 5.2 | Kontrolltherapien in denjenigen Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat mit negativem Ergebnis, die zwischen dem 17. Mai 2015 und dem 11.11.2020 in die PEDro-Datenbank eingeschlossen wurden.

Abkürzung: E, Ergebnis; A, ESWT und Kontrolltherapie mit positivem Ergebnis, kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Behandlungen; B, ESWT und Kontrolltherapie mit negativem Ergebnis; C, ESWT mit positivem Ergebnis, Kontrolltherapie aber mit statistisch signifikant besserem Ergebnis; D, ESWT mit negativem Ergebnis, Kontrolltherapie mit positivem Ergebnis.

Indikation	Studie	Kontrolltherapie	E
Plantarfasziopathie	Razzano et al. (2017)	Neurostimulation	D
Plantarfasziopathie	Ulusoy et al. (2017)	Laserbehandlung / Ultraschall	A
Plantarfasziopathie	Cinar et al. (2018)	Laserbehandlung	C
Plantarfasziopathie	Akinoğlu und Köse (2018)	-	
Plantarfasziopathie	Uğurlar et al. (2018)	Prolotherapie, Injektion von PRP, Injektion von Kortikosteroid	A
Plantarfasziopathie	Yinilmez Sanmak et al. (2019)	Laserbehandlung	A
Plantarfasziopathie	Rastegar und Orak (2019)	Injektion von PRP	C
Kniegelenksarthrose	Imamura et al. (2017)	-	
Kniegelenksarthrose	Ediz und Ozgokce (2018)	-	
Tendinopathie der Patellasehne	Thijs et al. (2017)	-	
Trochanter-major Schmerzsyndrom	Weckström und Söderström (2016)	Manuelle Therapie	A
Karpaltunnelsyndrom	Notarnicola et al. (2015)	Spezielle Salbe	A
Tennisellenbogen	Oh et al. (2011)	Injektion von PRP	C
Tennisellenbogen	Capan et al. (2016)	-	
Tennisellenbogen	Akkurt et al. (2016)	Injektion von Kortikosteroid und Physiotherapie	A
Tennisellenbogen	Eraslan et al. (2018)	-	
Tennisellenbogen	Altun et al. (2018)	Physiotherapie	A
Tennisellenbogen	Celik und Anaforoglu Kulunkoglu (2019)	Laserbehandlung	B
Tennisellenbogen	Bagcier und Yilmaz (2019)	"Dry needling"	B
Tendinopathien der Rotatorenmanschette	Schofer et al. (2009)	Vergleich verschiedener fESWT-Protokolle	A
Tendinopathien der Rotatorenmanschette	del Castillo-Gonzalez et al. (2016)	"Ultrasound-guided percutaneous lavage"	C
Tendinopathien der Rotatorenmanschette	Kvalvaag et al. (2017)	-	
Tendinopathien der Rotatorenmanschette	de Boer et al. (2017)	"Ultrasound-guided percutaneous lavage"	C
Tendinopathien der Rotatorenmanschette	Kvalvaag et al. (2018)	-	
Myofasiales Schmerzsyndrom	Lee und Han (2013)	Injektionen in Triggerpunkte; propriozeptive neuromuskuläre Fazilitation	A
Myofasiales Schmerzsyndrom	Taheri et al. (2016)	Laserbehandlung	C
Myofasiales Schmerzsyndrom	Manafnezhad et al. (2019)	"Dry needling"	A

Diese zusätzlichen Daten sind von erheblicher Bedeutung, da sie zeigen, dass die in Abschnitt 3.3 vorgenommene Definition des Studienergebnisses zu einem verzerrten Bild führen kann: tatsächlich lag die Anzahl von Studien, die für rESWT bzw. fESWT zu einem negativen Ergebnis gekommen waren, erheblich niedriger als in Abbildung 4.1 gezeigt. Allerdings sind aus zwei wesentlichen Gründen auch zukünftig solche Studien, bei denen eine bestimmte Behandlung (hier: ESWT) mit einer Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung verglichen wurden/werden, auch weiterhin sorgfältig von solchen Studien zu trennen, bei denen eine bestimmte Behandlung mit einer anderen, 'echten' Kontrolltherapie verglichen wurde/wird:

- Studien mit 'echter' Kontrolltherapie können nicht in Metaanalysen eingeschlossen werden, die ansonsten Analysen von Studien mit Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung zum Ziel haben. Konkret hätten alle in Tabelle 5.2 genannten Studien mit Ergebnis A bzw. C das Ergebnis der Metaanalyse in Richtung fehlender Wirkung der ESWT verfälscht, obwohl in allen diesen Studien ein positiver Effekt der ESWT nachgewiesen wurde.
- Die Tatsache, dass in einer Studie für eine 'echte' Kontrolltherapie ein positives, gegenüber der ESWT statistisch nicht signifikant unterschiedliches Ergebnis erzielt wird, bedeutet keinesfalls eine Einschränkung der Bedeutung der ESWT – im Gegenteil. Dies sei am Beispiel von Laserbehandlungen verdeutlicht. In Tabelle 5.2 sind zwei Studien gelistet, bei denen sowohl die Behandlung mit ESWT als auch die Behandlung mit Laser zu einem positiven Ergebnis gekommen waren (Ulusoy et al., 2017; Yinilmez Sanmak et al., 2019); zwei weitere Studien hatten bei der Behandlung mit ESWT ein positives Ergebnis gezeigt, mit Laserbehandlung aber ein noch besseres Ergebnis (Taheri et al., 2016; Cinar et al., 2018). Ohne weitere Zusatzinformationen könnte man durchaus denken, dass Laserbehandlungen am Stütz- und Bewegungsapparat mit Lasern der ESWT gleichwertig und evtl. sogar überlegen sind. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass Laserbehandlungen am Stütz- und Bewegungsapparat ungleich mehr Behandlungen benötigen als rESWT bzw. fESWT. Zum Beispiel zeigte Schmitz (2021), dass bei 23 in der PEDro-Datenbank gelisteten Studien zur Behandlung verschiedener Indikationen am Stütz- und Bewegungsapparat mit positivem Ergebnis (gleiche Indikationen wie in der vorliegenden Arbeit untersucht) eine mittlere Anzahl von $11,5 \pm 4$ (Mittelwert \pm Standardabweichung) Laserbehandlungen erfolgt war (Median: 10; Minimum: 6; Maximum: 21), mit $4,0 \pm 1,2$ Behandlungen pro Woche (Median: 5; Minimum: 1,5; Maximum: 5). Diese Werte weichen ganz erheblich von den entsprechenden Werten zur ESWT ab (Abbildung 5.2A,B) und können sich in erheblichem Maße negativ auf die 'compliance' durch die Patient:innen auswirken.

5.2 Vergleich der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit mit den Ergebnissen von Schmitz et al. (2015)

Wie in Tabelle 2.1 gezeigt, hatten Schmitz et al. (2015) basierend auf ihrem *systematic review* von Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat in der PEDro-Datenbank zehn Kernaussagen zur ESWT entwickelt. Diese Kernaussagen werden im folgenden Text mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit abgeglichen. Dazu wurde in Abbildung 5.1 die Feinanalyse der von Schmitz et al. (2015) untersuchten Studien in dasselbe Format übertragen wie die Feinanalyse der in der vorliegenden Arbeit mittels *systematic review* untersuchten Studien (vgl. Abbildung 4.2); die Überlassung der Rohdaten aus der Studie von Schmitz et al. (2015) erfolgte durch Herrn Prof. Dr.med. Christoph Schmitz (Anatomische Anstalt der LMU München).

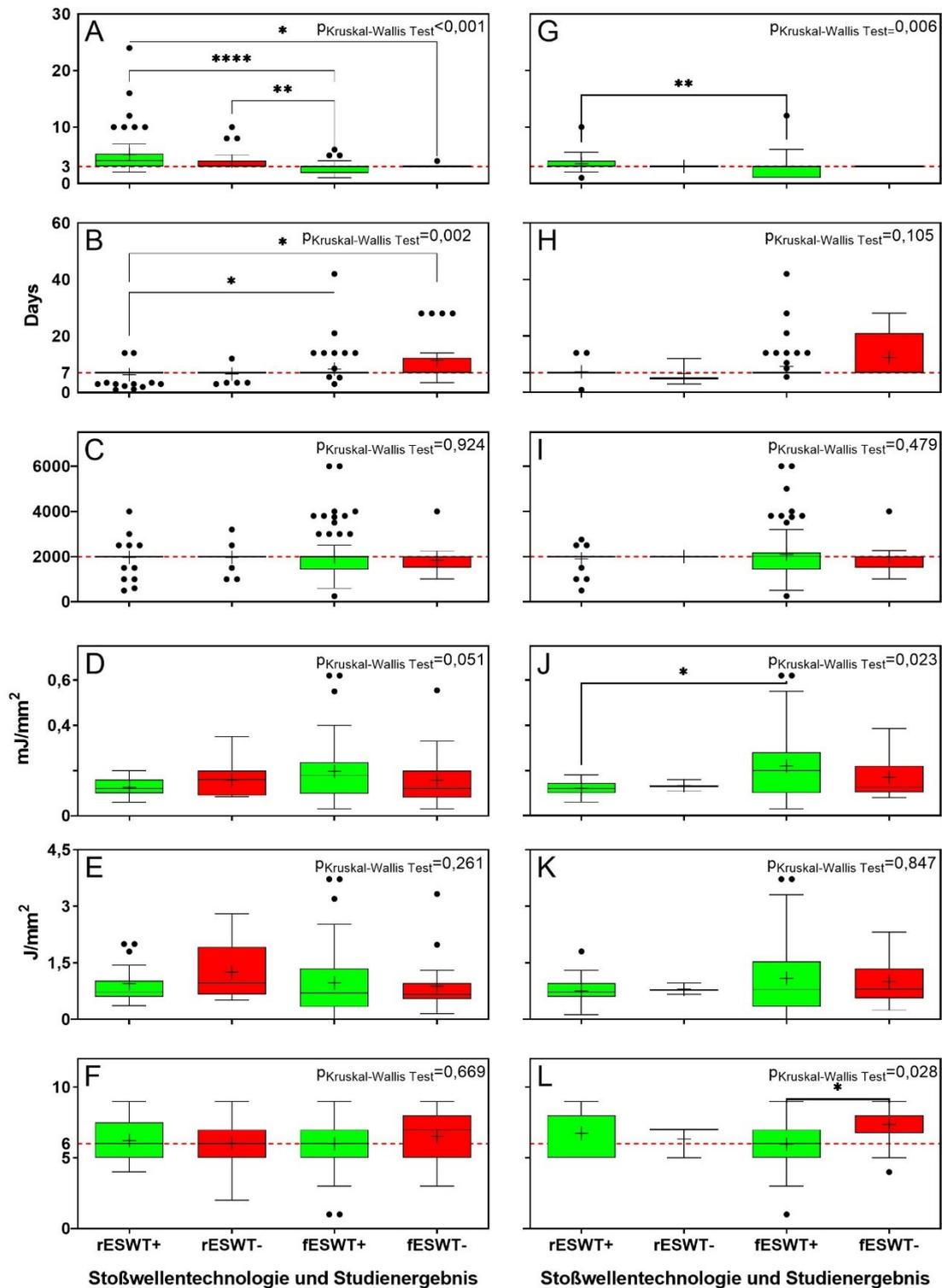


Abbildung 5.1 | Vergleich von gruppenspezifischen *Tukey boxplots* der Anzahl der ESWT-Behandlungen (A, G), dem Zeitintervall zwischen den ESWT-Behandlungen, wenn mehr als eine Behandlung erfolgt war (B, H), der Anzahl von rESWs oder fESWs pro Behandlung (C, I), der Energieflussdichte der applizierten rESWs oder fESWs (D, J) und der insgesamt applizierten Energieflussdichte (E, K) in den mittels *systematic review* ermittelten Studien sowie der PEDro-

Gesamtbewertung (F, L) der mittels *systematic review* ermittelten Studien zwischen den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit (A-F) und einer Studie von Schmitz et al. (2015) (G-L). Gruppen von Studien mit positivem Ergebnis (rESWT+ fESWT+) sind grün markiert; Gruppen von Studien mit negativem Ergebnis (rESWT- und fESWT-) sind rot markiert. Die roten gestrichelten Linien in den Teilabbildungen A-C und F sowie G-I+L markieren die Medianwerte der Variablen "Anzahl der ESWT-Behandlungen" (drei Behandlungen), "Zeitintervall zwischen den ESWT-Behandlungen, wenn mehr als eine Behandlung erfolgt war" (sieben Tage), "Anzahl von rESWs oder fESWs pro Behandlung" (2000 rESWs oder fESWs) und "PEDro-Gesamtbewertung" (6 Punkte). Die P-Werte des Kruskal-Wallis Test sind oben links in den jeweiligen Teilabbildungen angegeben; statistisch signifikante Unterschiede zwischen einzelnen Gruppen (mittels Dunn Bonferroni Test ermittelt) sind in den jeweiligen Teilabbildungen grafisch markiert (*: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$; ****: $p < 0,0001$).

5.2.1 Kernaussage 1: ESWT ist wirksam

Diese Aussage behält auch vor dem Hintergrund der vorliegenden Arbeit unverändert ihre Gültigkeit. Wie in Abbildung 4.1 gezeigt, hatte die Mehrzahl der am 11. November 2020 in der PEDro-Datenbank gelisteten Studien zur rESWT wie auch zur fESWT am Stütz- und Bewegungsapparat ein positives Ergebnis. Darüber hinaus konnte in Abschnitt 5.1 für eine ganze Reihe von Studien mit negativem Ergebnis gezeigt werden, dass das 'negative Ergebnis' durch den Vergleich von rESWT bzw. fESWT mit 'echten' Kontrolltherapien verursacht worden war und nicht durch fehlende Wirksamkeit der ESWT. Die Metaanalyse ergab schließlich für alle eingeschlossenen Indikationen (Plantarfasziopathie, Tendinopathien der Achillessehne, Kniegelenksarthrose, Tennisellenbogen und Tendinopathien der Rotatorenmanschette (einschließlich der Kalkschulter) eine statistisch signifikante Bevorzugung der ESWT gegenüber Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung.

5.2.2 Kernaussage 2: ESWT ist sicher

Auch diese Aussage behält vor dem Hintergrund der vorliegenden Arbeit unverändert ihre Gültigkeit. In keiner der am 11. November 2020 in der PEDro-Datenbank gelisteten Studien zur rESWT wie auch zur fESWT am Stütz- und Bewegungsapparat wurden schwerwiegende unerwünschte Nebenwirkungen berichtet. Vereinzelt finden sich Berichte über leichte unerwünschte Nebenwirkungen wie Rötungen, petechiale Blutungen oder Gefühllosigkeit der Haut über der behandelten Körperregion. Diese Nebenwirkungen sind jedoch seit über 20 Jahren bekannt (z.B. Rompe et al., 1998a; Haake et al., 2002c; Peters et al., 2004) und verschwinden in den allermeisten Fällen auch innerhalb weniger Tage wieder.

Wesentlich zur Sicherheit der ESWT beigetragen haben Studien an Tiermodellen, in denen

der Einfluss verschiedener Energieflussdichten auf die Integrität von Geweben des Stütz- und Bewegungsapparates untersucht wurden. Beispielhaft genannt seien hier die folgenden Studien:

- Rompe et al. (1998b) behandelten Achillessehnen von Kaninchen mit fESWs mit Energieflussdichten von 0,08 mJ/mm² (Gruppe A), 0,28 mJ/mm² (Gruppe B) und 0,60 mJ/mm² (Gruppe C). Die anschließende mikroskopische Beurteilung der Sehnen zeigte keine nachweisbaren Veränderungen bei Gruppe A, leichte Schwellungen und leichte Entzündungsreaktionen bei Gruppe B und ausgeprägte histologische Veränderungen (erhöhte Eosin-Färbung, Fibrinoidnekrose, Fibrose im Paratenon und Infiltration von Entzündungszellen) bei Gruppe C. Basierend auf diesen Daten empfahlen Rompe et al. (1998b) bei der Behandlung von Tendinopathien mit ESWT Energieflussdichten > 0,28 mJ/mm² zu vermeiden. Diese Empfehlung wurde bei der Mehrzahl der am 11. November 2020 in der PEDro-Datenbank gelisteten Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat auch berücksichtigt.
- Ozturk et al. (2008) zeigten, dass fESWs mit einer Energieflussdichte von 0,6 mJ/mm² zu Schädigungen an der Epiphyse von Knochen im Wachstum führen können. Behandlungen von Kindern < 18 Jahren sind in keiner der am 11. November 2020 in der PEDro-Datenbank gelisteten Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat beschrieben.
- Mayer-Wagner et al. (2010) zeigten strukturelle, degenerative Veränderungen in hyalinem Knorpel nach Exposition des Femurkopfes von Ratten mit fESWT mit einer Energieflussdichte von 0,5 mJ/mm². Derart hohe Energieflussdichten können insbesondere mit rESWs nicht erreicht werden und wurden auch bei keiner der am 11. November 2020 in der PEDro-Datenbank gelisteten Studien zur ESWT zur Behandlung der Kniegelenksarthrose eingesetzt.

Es sei darauf hingewiesen, dass Schmerz während der Behandlung nicht etwa eine unerwünschte Nebenwirkung ist, sondern eine erwünschte Wirkung der ESWT. Dies ist auf den Wirkmechanismus von extrakorporalen Stoßwellen auf Gewebe des Stütz- und Bewegungsapparates zurückzuführen (in Abschnitt 5.2.5 beschrieben).

5.2.3 Kernaussage 3: Für bestimmte Indikationen am Stütz- und Bewegungsapparat sind randomisierte, klinische Studien zur ESWT der vorherrschende Studientyp in der PEDro-Datenbank und/oder erzielten die höchste PEDro-Gesamtbewertung unter allen untersuchten Behandlungsmodalitäten.

Dies wurde in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht.

5.2.4 Kernaussage 4: *Es gibt in der PEDro-Datenbank keinen Unterschied in der „Qualität“ (d.h. der mittleren PEDro-Gesamtbewertung) zwischen Studien zur ESWT mit positivem Ergebnis und Studien zur ESWT mit negativem Ergebnis.*

Auch diese Aussage behält vor dem Hintergrund der vorliegenden Arbeit unverändert ihre Gültigkeit. Für alle Gruppen rESWT+, rESWT-, fESWT+ und fESWT- war die mittlere PEDro-Gesamtbewertung der am 11. November 2020 in der PEDro-Datenbank gelisteten Studien zur rESWT bzw. zur fESWT am Stütz- und Bewegungsapparat größer oder gleich 6 (bei zehn Einzelbewertungen mit je einem Punkt) (Tabelle 4.10). Das mit weitem Abstand am wenigsten häufig erfüllte PEDro-Einzelkriterium war Nr. 6 (*"Alle Therapeut:innen, die eine Therapie durchgeführt haben, waren geblindet"*) (nur in zwei Studien erfüllt; Gerdemeyer et al., 2008; Ibrahim et al., 2010), gefolgt von Nr. 5 (*"Alle Proband:innen waren geblindet"*) (in 57 Studien erfüllt). Die am häufigsten erfüllten PEDro-Einzelkriterien waren Nr. 10 (*"Für mindestens ein zentrales outcome wurden die Ergebnisse statistischer Gruppenvergleiche berichtet."*) (in 164 Studien erfüllt), dicht gefolgt von Nr. 2 (*"Die Proband:innen wurden den Gruppen randomisiert zugeordnet (im Falle von crossover Studien wurde die Abfolge der Behandlungen den Proband:innen randomisiert zugeordnet)."*) (in 162 Studien erfüllt).

Auf die besondere Problematik der Verblindung von Proband:innen und Therapeut:innen, die eine Therapie durchgeführt haben, in Bezug auf ESWT wurde bereits in der Vergangenheit mehrfach hingewiesen (Schmitz et al., 2013; Schmitz et al., 2015). Bei Studien mit Medikamenten sind Verblindungen von Proband:innen und Therapeut:innen ungleich leichter zur Realisieren als bei Behandlungen mit physikalischer Energie – insbesondere dann, wenn es zur Erzielung des Therapieerfolges unerlässlich ist, dass die Behandlung für die Proband:innen unangenehm ist (wie bei der ESWT der Fall).

5.2.5 Kernaussage 5: *Die Anwendung von Lokalanästhesie hat einen negativen Einfluss auf das Ergebnis bei ESWT.*

In Bezug auf die Behandlung der Plantarfasziopathie mit fESWT hat die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Metaanalyse diese Kernaussage bestätigt (Abbildung 4.3). Somit decken sich die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit mit zwei Studien von Labek et al. (2005) und Rompe et al. (2005), die bei der Behandlung der Plantarfasziopathie mit fESWT Behandlungen mit und ohne Lokalanästhesie verglichen und jeweils bessere Ergebnisse ohne Lokalanästhesie als mit Lokalanästhesie erzielt hatten. Die genauen molekularen Mechanismen dieses Phänomens sind nicht abschließend geklärt, hängen aber wohl mit den Wirkmechanismen von extrakorporalen Stoßwellen an nozizeptiven C-Fasern zusammen. Aktivierung der nozizeptiven C-Fasern führt im behandelten Gewebe initial zur Freisetzung von Neuropeptiden (Substanz P und *calcitonin gene-related peptide*) (Maier et al., 2003;

Schmitz et al., 2009; Klonschinski et al., 2011), was die Behandlung mit rESWs bzw. fESWs unangenehm macht. Anschließend führt die initiale (Über-) Aktivierung der nozizeptiven C-Fasern aber zur verminderten Möglichkeit zur Freisetzung von Neuropeptiden, die ihrerseits wohl eine der treibenden Kräfte bei der Aufrechterhaltung der neurogenen Entzündung sind, die ihrerseits als Grundlage insbesondere von Tendinopathien angesehen wird (Uchio et al., 2002; Andersson et al., 2011). Auch in aktiven Triggerpunkten beim myofaszialen Schmerzsyndrom wurden hohe Konzentrationen von Substanz P nachgewiesen (Shah et al., 2008); die beschriebene (Über-) Aktivierung der nozizeptiven C-Fasern durch Exposition mit rESWs bzw. fESWs kann somit die Wirksamkeit der ESWT beim myofaszialen Schmerzsyndrom erklären. Werden die nozizeptiven C-Fasern aber durch Lokalanästhesie inaktiviert, können sie durch Exposition mit rESWs bzw. fESWS nicht mehr (über-) aktiviert werden, was die Einschränkung der Wirksamkeit von ESWT unter Lokalanästhesie (Abbildung 4.3 sowie Labek et al. (2005) und Rompe et al. (2005) zu erklären vermag (Maier et al., 2003; Schmitz et al., 2009; Klonschinski et al., 2011).

Bei der Behandlung von Tendinopathien der Rotatorenmanschette zeigte sich jedoch ein anderes Bild, das so von Schmitz et al. (2015) nicht beschrieben wurde. Wie in Abbildung 4.7 gezeigt, war fESWT mit Lokalanästhesie auf Ebene der Metaanalyse statistisch signifikant wirksam, fESWT ohne Lokalanästhesie jedoch nicht. Da in allen Studien, die in die Metaanalyse aufgenommen wurden, jeweils Scheinbehandlung bzw. Nichtbehandlung als Kontrolltherapie verwendet wurde, scheidet die Verwendung einer 'echten' Kontrolltherapie zur Erklärung der fehlenden Wirksamkeit von fESWT ohne Lokalanästhesie aus (vgl. Abschnitt 5.1). Auch die Analyse der mittleren Energieflussdichten, die bei den Behandlungen von Tendinopathien der Rotatorenmanschette mit fESWT mit und ohne Lokalanästhesie verwendet wurden, scheidet als Erklärung aus:

- Studien mit Lokalanästhesie (Schmitt et al., 2001; 2002; Hsu et al., 2008; Galasso et al., 2012): $0,26 \pm 0,22$ (Mittelwert \pm Standardabweichung)
- Studien ohne Lokalanästhesie (Speed et al., 2002b; Pleiner et al., 2004): $0,20 \pm 0,11$

Eine mögliche Erklärung liefert die Analyse der mittleren Zeitintervalle zwischen den Behandlungen:

- Studien mit Lokalanästhesie (Schmitt et al., 2001; 2002; Hsu et al., 2008; Galasso et al., 2012): $8,8 \pm 3,5$ (Mittelwert \pm Standardabweichung) (Median: 7 Tage; Minimum: 7 Tage; Maximum: 14 Tage)
- Studien ohne Lokalanästhesie (Speed et al., 2002b; Pleiner et al., 2004): $21, 0 \pm 9,9$ (Median: 21 Tage; Minimum: 14 Tage; Maximum: 28 Tage)

Auch wenn diese Unterschiede zwischen den Gruppen nicht statistisch signifikant waren (was primär an der geringen Anzahl von entsprechenden Studien liegt), zeigt sich doch, dass die

von Speed et al. (2002b) und Pleiner et al. (2004) verwendeten Zeitintervalle zwischen den Behandlungen wohl einfach zu groß waren, um ein positives Ergebnis zu erzielen. Tatsächlich weisen die von Speed et al. (2002b) und Pleiner et al. (2004) verwendeten Zeitintervalle zwischen zwei fESWT-Behandlungen erheblich vom Median von sieben Tagen zwischen zwei Behandlungen ab, der bei den meisten in der vorliegenden Arbeit untersuchten Studien verwendet wurde (Abbildung 4.2B).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das negative Ergebnis der Metaanalyse bei der Behandlung von Tendinopathien der Rotatorenmanschette mit fESWT ohne Lokalanästhesie wohl nicht auf die Tatsache zurückzuführen ist, dass keine Lokalanästhesie verwendet wurde, sondern dass die Zeitintervalle zwischen den Behandlungen zu lange gewählt wurden. Dies zeigt, mit welcher Vorsicht Metaanalysen zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat durchgeführt und interpretiert werden müssen.

5.2.6 Kernaussage 6: *Die Anwendung unzureichender Energie (EFD) beeinflusst das Ergebnis der ESWT negativ.*

Diese Aussage wird durch die in Abbildung 4.2 D,E sowie den Tabellen 4.8 und 4.9 gezeigten Daten nicht unterstützt. Tatsächlich lag sowohl die mittlere Energieflussdichte der rESWs als auch die mittlere insgesamt applizierte Energieflussdichte für die Gruppe rESWT- höher als für die Gruppe rESWT+ (wenn auch nicht statistisch signifikant unterschiedlich). Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass – wie in den Tabellen 4.1 und 4.2 gezeigt – die Angaben insbesondere zur Energieflussdichte in vielen in der PEDro-Datenbank gelisteten Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat unklar, fehlerhaft oder gar nicht vorhanden sind. Tatsächlich ist bei vielen Werten, auf denen die Angaben in Abbildung 4.2 D,E sowie den Tabellen 4.8 und 4.9 beruhen, unklar, ob es sich um Werte zur positiven Energieflussdichte (EFD₊) oder um Werte zur Gesamtenergieflussdichte (EFD) handelt. Tatsächlich vergleichbare EFD₊ Werte lagen nur für 17 Studien in der Gruppe rESWT+, acht Studien in der Gruppe rESWT-, fünf Studien in der Gruppe fESWT+ und sechs Studien in der Gruppe fESWT- vor.

Andererseits sind in Tabelle 4.2 insgesamt 13 Studien gelistet, in denen bei fESWT gezielt der Einfluss unterschiedlicher Energieflussdichten auf den Erfolg der Therapie untersucht wurde (für die rESWT sind in der PEDro-Datenbank keine entsprechenden Studien gelistet). Sieben dieser Studien (Rompe et al., 1998a; Loew et al., 1999; Gerdesmeyer et al., 2003; Perlick et al., 2003; Peters et al., 2004; Ioppolo et al., 2012; Park et al., 2018) kamen zu dem Ergebnis, dass fESWT mit höherer Energieflussdichte zu besseren klinischen Ergebnissen führt als fESWT mit niedrigerer Energieflussdichte. Bei den anderen sechs Studien, die zu einem anderen Ergebnis kamen, muss jeweils das spezifische Behandlungsprotokoll berücksichtigt

und die Rohdaten genau analysiert werden:

- Seil et al. (1999): Behandlung der Kalkschulter
 - Gruppe 1: 3 × 5000 fESWs @ 0,04-0,12 mJ/mm² ohne Lokalanästhesie
 - Gruppe 2: 1 x 5000 fESWs @ >0,12 mJ/mm² "in Analgosedierung unter anästhesiologischer Kontrolle"
 - Beurteilung: Behandlungsprotokolle der beiden Gruppen nicht miteinander vergleichbar (mit und ohne Lokalanästhesie; vgl. Abschnitt 5.2.5).
- Liang et al. (2007): Behandlung der Plantarfasziopathie
 - Gruppe 1: 3 × 2000 fESWs @ 0,12 mJ/mm² ohne Lokalanästhesie; Verbesserung des Schmerzwertes (VAS) von 57,4 ± 26,0 (Median: 62,0) vor der Behandlung auf 50,8 ± 22,8 (Median: 27,0) drei Monate nach der Behandlung
 - Gruppe 2: 3 x 2000 fESWs @ 0,56 mJ/mm² ohne Lokalanästhesie; Verbesserung des Schmerzwertes (VAS) von 50,8 ± 22,8 (Median: 52) vor der Behandlung auf 25,1 ± 19,6 (Median 20,0) drei Monate nach der Behandlung
 - Beurteilung: Gruppen vor Beginn der Behandlung nicht gleich.
- Sabeti et al. (2007): Behandlung der Kalkschulter
 - Gruppe 1: 3 × 1000 fESWs @ 0,08 mJ/mm² ohne Lokalanästhesie
 - Gruppe 2: 2 x 2000 fESWs @ 0,2 mJ/mm² mit Lokalanästhesie
 - Beurteilung: Behandlungsprotokolle der beiden Gruppen nicht miteinander vergleichbar (mit und ohne Lokalanästhesie; vgl. Abschnitt 5.2.5).
- Schofer et al. (2009): Behandlung von Tendinopathien der Rotatorenmanschette
 - Gruppe 1: 3 × 6000 fESWs @ 0,78 mJ/mm² mit Lokalanästhesie; Verbesserung des Schmerzwertes ("pain at rest"; VAS) von 5,65 ± 2,52 vor der Behandlung auf 3,47 ± 3,29 zwölf Wochen nach der Behandlung
 - Gruppe 2: 3 × 6000 fESWs @ 0,33 mJ/mm² mit Lokalanästhesie; Verbesserung des Schmerzwertes ("pain at rest"; VAS) von 3,45 ± 2,44 vor der Behandlung auf 2,30 ± 2,56 zwölf Wochen nach der Behandlung
 - Beurteilung: Gruppen vor Beginn der Behandlung nicht gleich (statistisch signifikanter Unterschied von den Autoren selbst mit p = 0,006 angegeben).
- Farr et al. (2011): Behandlung der Kalkschulter
 - Gruppe 1: 1 × 3200 fESWs @ 0,3 mJ/mm² ohne Lokalanästhesie
 - Gruppe 2: 2 x 1600 fESWs @ 0,2 mJ/mm² ohne Lokalanästhesie
 - Beurteilung: Behandlungsprotokolle der beiden Gruppen nicht miteinander vergleichbar (unterschiedliche Anzahl von Behandlungen).
- Taheri et al. (2017b): Behandlung des Tennisellenbogens
 - Gruppe 1: 3 × 1000 fESWs @ 0,25 mJ/mm² ohne Lokalanästhesie; Verbesserung des Schmerzwertes ("pain severity") von 6,25 ± 1,52 vor der Behandlung auf 2,45 ± 1,99

drei Monate nach der Behandlung

- Gruppe 2: 3 x 1000 fESWs @ 0,1 mJ/mm² ohne Lokalanästhesie; Verbesserung des Schmerzwertes ("pain severity") von 6,25 ± 1,65 vor der Behandlung auf 1,40 ± 1,54 drei Monate nach der Behandlung
- Beurteilung: paradoxer Effekt (besseres Ergebnis bei niedrigerer Energieflussdichte als bei höherer Energieflussdichte), der so in keiner anderen in der PEDro-Datenbank gelisteten Studie beschrieben und von den Autoren trotz mehrfacher Publikation genau des gegenteiligen Effekts (s.o.) nicht diskutiert wurde.

Besonders hervorzuheben in diesem Zusammenhang ist die oben genannte Studie von Gerdesmeyer et al. (2003), die gezielt der Frage nachging, ob bei gleicher insgesamt applizierter Energieflussdichte die Applikation einer höheren Anzahl von fESWs mit niedrigerer EFD zu einem ähnlichen Ergebnis führt wie die Applikation einer geringeren Anzahl von fESWs mit höherer EFD. Die Details dieser Studie waren wie folgt:

- Gerdesmeyer et al. (2003): Behandlung der Kalkschulter (ohne Lokalanästhesie)
 - Gruppe 1: 2 × 1500 fESWs @ 0,32 mJ/mm²; Verbesserung des mittleren Constant und Murley scores (CMS) von 60,0 Punkten vor der Behandlung um 31 Punkte sechs Monate nach der Behandlung
 - Gruppe 2: 2 x 6000 fESWs @ 0,08 mJ/mm²; Verbesserung des mittleren CMS von 62,7 Punkten vor der Behandlung um 15 Punkte drei Monate nach der Behandlung
 - Gruppe 3: 2 x 1500 fESWs @ 0,0 mJ/mm² (Scheinbehandlung); Verbesserung des mittleren CMS von 64,2 Punkten vor der Behandlung um 6,6 Punkte sechs Monate nach der Behandlung
 - Beurteilung: bei gleicher insgesamt applizierter Energieflussdichte war die Applikation einer höheren Anzahl von fESWs mit niedrigerer EFD nicht so effektiv wie die Applikation einer geringeren Anzahl von fESWs mit höherer EFD.

In einer kürzlich veröffentlichten Studie (RCT) zur Behandlung der Kniegelenksarthrose kamen Zhang et al. (2021) zu einem ähnlichen Ergebnis:

- Zhang et al. (2021): Behandlung der Kniegelenksarthrose (ohne Lokalanästhesie)
 - Gruppe 1: 4 × 4000 rESWs @ 0,24 mJ/mm²; Verbesserung des mittleren Schmerzwertes (VAS) von 6,0 vor der Behandlung auf 1,4 vier Wochen nach der Behandlung (alle Werte von der grafischen Darstellung in Abbildung 2 in der Studie von Zhang et al. (2021) abgelesen, deswegen keine Angabe von Streumaßen)
 - Gruppe 2: 4 × 2000 rESWs @ 0,24 mJ/mm²; Verbesserung des mittleren Schmerzwertes (VAS) von 5,6 vor der Behandlung auf 1,2 vier Wochen nach der Behandlung
 - Gruppe 3: 4 × 4000 rESWs @ 0,12 mJ/mm²; Verbesserung des mittleren

Schmerzwertes (VAS) von 5,3 vor der Behandlung auf 2,8 vier Wochen nach der Behandlung

- Gruppe 4: 4 × 2000 rESWs @ 0,12 mJ/mm²; Verbesserung des mittleren Schmerzwertes (VAS) von 5,3 vor der Behandlung auf 2,3 vier Wochen nach der Behandlung
- Gruppe 5: 4 × 1000 rESWs @ 0,02 mJ/mm² (Scheinbehandlung); Verbesserung des mittleren Schmerzwertes (VAS) von 5,3 vor der Behandlung auf 4,7 vier Wochen nach der Behandlung
- Beurteilung: die Verdoppelung der EFD, nicht aber die Verdoppelung der Anzahl der rESWs, führte zu einem deutlich besseren klinischen Ergebnis.

Zusammenfassend ergibt sich eine deutliche Bestätigung der Hypothese, dass die Anwendung von ESWT mit höherer Energieflussdichte zu einem besseren Ergebnis führt als die Anwendung von ESWT mit (zu) niedriger Energieflussdichte. Die Kernaussage "Die Anwendung unzureichender Energie (EFD) beeinflusst das Ergebnis der ESWT negativ" wird somit durch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit unterstützt.

5.2.7 Kernaussage 7: *Es gibt keine wissenschaftlichen Beweise zugunsten fESWT oder rESWT in Bezug auf das Behandlungsergebnis.*

Diese Kernaussage wird durch die Ergebnisse der Metaanalyse der am 11. November 2020 in der PEDro-Datenbank gelisteten Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat uneingeschränkt unterstützt:

- Bei der Behandlung der Plantarfasziopathie ergab die Metaanalyse für rESWT und fESWT fast identische mittlere Standarddifferenzen der Mittelwerte (rESWT: +1,096; fESWT: +0,985), die beide statistisch signifikant ($p < 0,001$) von Null verschieden waren und die sich nicht statistisch signifikant voneinander unterschieden).
- Bei der Behandlung von Tendinopathien der Achillessehne reicht die Datenlage in der PEDro-Datenbank nicht aus, um eine Aussage zu treffen, ob rESWT besser geeignet ist als fESWT oder umgekehrt.
- Bei der Behandlung der Kniesgelenksarthrose lagen zum Stichtag 11. November für die fESWT keine Studien vor, deren Ergebnisse in die Metaanalyse hätten aufgenommen werden können. Für die rESWT ergab sich dagegen eine positive mittlere Standarddifferenz der Mittelwerte (1,165), die statistisch signifikant ($p < 0,001$) von Null verschieden war.
- Bei der Behandlung des Tennisellenbogens ergab die Metaanalyse für die fESWT eine höhere mittlere Standarddifferenz der Mittelwerte (+1,047) als für die rESWT (0,546); das Maximum für die rESWT (0,898) war aber größer als das Minimum für die fESWT (0,859).

- Bei der Behandlung von Tendinopathien der Rotatorenmanschette (einschließlich der Kalkschulter) ergab die Metaanalyse für die fESWT eine leicht höhere mittlere Standarddifferenz der Mittelwerte (+0,991) als für die rESWT (0,708); das Maximum für die rESWT (0,926) war aber deutlich größer als das Minimum für die fESWT (0,591). Nimmt man alle Studien zur fESWT zu dieser Indikation zusammen (mit und ohne Lokalanästhesie), ergibt die Metaanalyse eine mittlere Standarddifferenz der Mittelwerte von +0,623 (Minimum: 0,350; Maximum: 0,897; $p < 0,001$), die wiederum leicht unter dem Wert für die rESWT lag.

Insgesamt ergeben sich aus diesen Daten keine Präferenzen zugunsten der rESWT oder der fESWT.

5.2.8 Kernaussage 8: Die Unterscheidung zwischen radialer ESWT als "niederenergetischer ESWT" und fokussierter ESWT als "hochenergetischer ESWT" ist nicht korrekt und sollte verworfen werden.

Diese Unterscheidung basiert auf einer frühen Einteilung von Rompe et al. (2007a) (niederenergetische ESWs: $EFD < 0.2 \text{ mJ/mm}^2$; hochenergetische ESWs: $EFD > 0.2 \text{ mJ/mm}^2$). Eine weitere Einteilungen erfolgte durch Neufeld und Cerrato (2008) (niederenergetische ESWs: $EFD = 0.04 - 0.12 \text{ mJ/mm}^2$; hochenergetische ESWs: $EFD > 0.12 \text{ mJ/mm}^2$). In beiden genannten Publikationen wurden keine sachlichen Argumente für diese Einteilungen genannt.

Schmitz et al. (2015) zeigten auf, dass nach der von Rompe et al. (2007a) vorgeschlagenen Definition 100% der am 11. November 2020 in der PEDro-Datenbank gelisteten Studien zur rESWT, ca. 45% der in der PEDro-Datenbank gelisteten Studien zur fESWT mit positivem Ergebnis und ca. 77% der in der PEDro-Datenbank gelisteten Studien zur fESWT mit negativem Ergebnis mit niederenergetischen ESWs durchgeführt wurden.

Gemäß den in Abbildung 4.2D und in Tabelle 4.8 gezeigten Daten ergäben sich für die am 11. November 2020 in der PEDro-Datenbank gelisteten Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat die in Tabelle 5.3. zusammengefassten Einteilungen:

Tabelle 5.3 | Gruppenspezifische relative Anteile (in Prozent) von Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat, die am 11. November 2020 in der PEDro-Datenbank gelistet waren und gemäß Definitionen von Rompe et al. (2007a) ("R") bzw. Neufeld und Cerrato (2008) ("NC") mit "niederenergetischen extrakorporalen Stoßwellen" ("N-R" bzw. "N-NC") oder "hochenergetischen extrakorporalen Stoßwellen" ("H-R" bzw. "H-NC") durchgeführt wurden.

Anmerkung: die Anzahl der Studien in den einzelnen Gruppen ("N") ist teilweise kleiner als in Abbildung 4.1 angegeben, da nicht in allen Studien die Energieflussdichte der applizierten fESWs oder rESWs angegeben wurde (Angaben in Bar bei rESWT konnten wegen fehlender Zusatzinformationen nicht in mJ/mm^2 umgerechnet werden).

Gruppe	N	N-R	H-R	N-NC	H-NC
rESWT+	23	100	0	65,2	34,8
rESWT-	11	81,8	18,2	45,5	54,5
fESWT+	74	64,9	35,1	31,1	68,9
fESWT-	19	84,2	15,8	57,9	42,1

Zusammenfassend lassen die in Tabelle 5.3 gezeigten Daten keine Unterscheidung zwischen rESWT als "niedrigenergetischer ESWT" und fESWT als "hochenergetischer ESWT" zu. Diese Einteilung erscheint willkürlich und sollte verworfen werden.

5.2.9 Kernaussage 9: *Es gibt keine wissenschaftlichen Belege dafür, dass eine bestimmte fESWT-Technologie den anderen Technologien überlegen ist.*

Tabelle 5.4 zeigt gruppenspezifische, absolute Häufigkeiten von fESWT-Studien, die am 11. November 2020 in der PEDro-Datenbank gelistet waren und mit elektrohydraulischen, elektromagnetischen oder piezoelektrischen fESWT-Geräten durchgeführt worden waren. Dabei wurden zunächst die in Abbildung 4.1 gezeigten Gruppen fESWT+ und fESWT- analysiert. In einem zweiten Schritt wurden alle Studien in Gruppe fESWT-, die für die fESWT ein positives Ergebnis erbracht hatten (Kategorien A und C in Tabelle 5.2), aus der Gruppe fESWT- in die Gruppe fESWT+ umgruppiert.

In beiden Fällen zeigte der Chi-Quadrat Test keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den verwendeten fESWT-Technologien. Dies stützt die Hypothese, dass es keine wissenschaftlichen Belege dafür gibt, dass eine bestimmte fESWT-Technologie den anderen Technologien überlegen ist.

Tabelle 5.4 | Gruppenspezifische, absolute Häufigkeiten von fESWT-Studien, die am 11. November 2020 in der PEDro-Datenbank gelistet waren und mit elektrohydraulischen (EH), elektromagnetischen (EM) oder piezoelektrischen (PE) fESWT-Geräten durchgeführt worden waren.

Abkürzungen: *: Gruppen fESWT+ und fESWT- wie in Abbildung 4.1 gezeigt. **: Gruppen fESWT+ und fESWT- unter Berücksichtigung der Daten in Tabelle 5.2. P: P-Werte des Chi-Quadrat Test.

Gruppe	EH	EM	PE	Andere	P
fESWT+*	19	52	6	1	0,397
fESWT-*	3	18	3	0	
fESWT+**	20	55	6	1	0,254
fESWT-**	2	15	3	0	

5.2.10 Kernaussage 10: *Ein optimales Behandlungsprotokoll für die Anwendung von ESWT sieht drei Behandlungen in einem wöchentlichen Intervall, 2000 ESWs pro Behandlung und die maximal mögliche Energieflussdichte (EFD) vor.*

Auch diese Aussage behält vor dem Hintergrund der vorliegenden Arbeit unverändert ihre Gültigkeit. Die genannten Empfehlungen "Drei Behandlungen in einem wöchentlichen Intervall" und "2000 ESWs pro Behandlung" entsprechen exakt den in Abbildung 4.2A-C und den Tabellen 4.5 bis 4.7 genannten Medianwerten; die Empfehlung "maximal mögliche Energieflussdichte" ergibt sich aus den Erläuterungen in Abschnitt 5.2.6.

5.3. Limitierungen

Eine mögliche Limitierung der vorliegenden Arbeit ist die Beschränkung auf die Analyse von Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsarbeit in einer einzigen Datenbank (PEDro-Datenbank). Es kann von daher nicht ausgeschlossen werden, dass weitere randomisierte, kontrollierte Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsarbeit in der wissenschaftlichen Fachliteratur publiziert wurden. Andererseits war es auch nicht das Ziel der vorliegenden Arbeit, sämtliche publizierte, randomisierte, kontrollierte Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat zu erfassen und zu analysieren. Vielmehr hatte die vorliegende Studie zum Ziel, die initial von Schmitz et al. (2015) durchgeführte Analyse von Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat in der PEDro-Datenbank zu aktualisieren und um eine Metaanalyse zu erweitern. Die herausragende Bedeutung der PEDro-Datenbank zur Bereitstellung von Informationen zu klinischen Studien zu konservativen Behandlungen von Erkrankungen des Stütz- und Bewegungsapparates erkennt man auch an der Tatsache, dass die genannte Studie von Schmitz et al. (2015) seit ihrem Erscheinen am 18. November 2015 bis heute (13. Mai 2021) 35 Mal (gemäß PubMed; <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>) bzw. 172 Mal (gemäß Google Scholar; <https://scholar.google.de/>) zitiert wurde.

Eine zweite mögliche Limitierung der vorliegenden Arbeit ist der Verzicht auf die Verwendung des Instruments zur "Bewertung des Verzerrungsrisikos" der Cochrane Collaboration (z.B. Buchberger et al., 2014)

Tabelle 5.5 fasst die Kriterien dieses Instruments zusammen.

Tabelle 5.5 | Wesentliche Aspekte von Validität und Bias in kontrollierten klinischen Studien (entnommen aus Buchberger et al., 2014).

Interne Validität	Ausmaß, in dem systematische Fehler verringert werden konnten
Bias	Systematischer Fehler, Verzerrung
Selection-Bias	Verzerrte Zuteilung zu Studiengruppen
Performance-Bias	Verzerrung durch ungleiche Behandlungen abgesehen von Interventionen
Detection-Bias	Verzerrte Erfassung von Ergebnissen
Attrition-Bias	Verzerrung durch Gruppenunterschiede in der Anzahl und Begründung von Studienabbrüchen
Reporting-Bias	Verzerrung durch selektives Berichten von positiven Ergebnissen
Externe Validität	Ausmaß, in dem eine Verallgemeinerung der Studienergebnisse möglich ist
Patienten	Alter, Geschlecht, Schweregrad und Risikofaktoren, Komorbidität
Behandlungsplan	Dosierung, Häufigkeit und Art der Verabreichung, Art des Präparats innerhalb von Arzneimittelklassen, Begleitbehandlungen
Setting	Versorgungsstufe (primär, sekundär, tertiär), Erfahrung und Spezialisierung des Leistungserbringers
Zielgrößen	Typ oder Definition und Dauer der Nachbeobachtung

Man erkennt folgendes:

- Die Kriterien *selection-bias*, *performance-bias*, *detection-bias* und *attrition-bias* sind auch im PEDro-Bewertungsschema adäquat abgebildet und somit in der vorliegenden Arbeit berücksichtigt.
- Das Kriterium *reporting bias* ist in der vorliegenden Arbeit ebenfalls erfüllt, da alle Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat, die am 11. November 2020 in der PEDro-Datenbank gelistet waren, in der vorliegenden Arbeit berücksichtigt wurden, unabhängig vom Ergebnis. Für die PEDro-Datenbank selbst ist keinerlei Evidenz in Bezug auf *reporting bias* bekannt.
- Die externe Validität in Bezug auf die eingeschlossenen Patient:innen wurde nicht im Detail überprüft. Die große Bandbreite an eingeschlossenen Studien macht eine Einschränkung der externen Validität in dieser Hinsicht sehr unwahrscheinlich.
- Die externe Validität in Bezug auf die Behandlungspläne wurde ausführlich in Abbildung 4.4 und den Tabellen 4.1 bis 4.5 gewürdigt.
- Die externe Validität in Bezug auf die Versorgungsstufe sowie die Erfahrung und Spezialisierung des Leistungserbringers kann für viele der in der vorliegenden Arbeit untersuchten Studien nicht beurteilt werden.

Insgesamt ergibt sich, dass die mögliche Limitierung durch den Verzicht auf die Verwendung des Instruments zur "Bewertung des Verzerrungsrisikos" der Cochrane Collaboration (z.B. Buchberger et al., 2014) vernachlässigbar ist; die Verwendung dieses Instruments hätte das Ergebnis der vorliegenden Arbeit nur unwesentlich verändert.

Eine dritte mögliche Limitierung der vorliegenden Arbeit ist der Verzicht der Überprüfung der von Schmitz et al. (2015) formulierten Kernaussage "*Für bestimmte Indikationen am Stütz- und Bewegungsapparat sind randomisierte, klinische Studien zur ESWT der vorherrschende Studientyp in der PEDro-Datenbank und/oder erzielten die höchste PEDro-Gesamtbewertung unter allen untersuchten Behandlungsmodalitäten.*" Allerdings bezieht sich diese Aussage nicht auf die Inhalte der in der PEDro-Datenbank gelisteten Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat selbst, sondern auf die generelle Einordnung der klinischen Forschung zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat im Gesamtkontext der klinischen Forschung zur konservativen Behandlung von Erkrankungen des Stütz- und Bewegungsapparats. Es spricht jedoch nichts dagegen, diese Kernaussage in separaten Studien zu überprüfen.

6 Schlussfolgerung / Fazit

Die Aktualisierung und Erweiterung der von Schmitz et al. (2015) erstmals durchgeführten systematischen Untersuchung der in der PEDro-Datenbank gelisteten Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat ergab eine Bestätigung der von Schmitz et al. (2015) formulierten Kernaussagen zur ESWT (Tabelle 2.1). Auch die Schlussfolgerungen von Schmitz et al. (2015) sind unverändert gültig:

- Übereinstimmung in der Literatur ("*areas of agreement*" bei Schmitz et al., 2015): ESWT ist effektiv und sicher. Ein optimales Behandlungsprotokoll für die ESWT scheinen drei Behandlungssitzungen in Intervallen von einer Woche mit 2000 rESWs oder fESWs pro Sitzung und der höchsten Energieflussdichte zu sein, die die Patientin/der Patient tolerieren kann.
- Kontroverse in der Literatur ("*areas of controversy*" bei Schmitz et al., 2015): Die Unterscheidung zwischen rESWT als „Niedrigenergie-ESWT“ und fESWT als „Hochenergie-ESWT“ ist nicht korrekt und sollte aufgegeben werden.
- Zunehmend wichtig werdender Bereich ("*growing points*" bei Schmitz et al., 2015): Es gibt keine wissenschaftlichen Beweise für eine Überlegenheit der fESWT gegenüber der rESWT oder umgekehrt in Bezug auf das Behandlungsergebnis.
- Notwendigkeit zukünftiger Entwicklungen ("*areas timely for developing research*" bei Schmitz et al., 2015): Zukünftige randomisierte, kontrollierte Studien sollten sich in erster Linie mit systematischen Tests des oben genannten optimalen Behandlungsprotokolls und direkten Vergleichen zwischen radialer und fokussierter ESWT befassen.

7 Zusammenfassung

- 1) Die extrakorporale Stosswellentherapie (ESWT) wurde in den letzten 25 Jahren als effektive und sichere konservative Behandlungsmethode für verschiedene Erkrankungen des Stütz- und Bewegungsapparates etabliert. Davon zeugen u.a. über 15.000 Publikationen, die gegenwärtig unter den Stichworten "shock wave", "shock waves", "shockwave" und "shockwaves" in PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>) gefunden werden. Diese Fülle von Information macht es aber nahezu unmöglich, heutzutage einen umfassenden Überblick über den aktuellen Stand der Forschung zur ESWT in der evidenzbasierten Medizin zu erhalten. Als Alternative bietet sich die vom Institute for Musculoskeletal Health, School of Public Health an der University of Sydney (Sydney, Australien) unterhaltene, frei verfügbare *Physiotherapy Evidence Database* ("PEDro-Datenbank") (www.pedro.org.au) an, die mit über 45.000 randomisierten, kontrollierten Studien, systematischen Übersichtsarbeiten und klinischen Richtlinien eine einzigartige Informationsquelle für die klinische Praxis darstellt. Schmitz et al. (2015) haben erstmals die in der PEDro-Datenbank gelisteten Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat systematisch untersucht (107 Studien zum Stichtag 17. Mai 2015). Diese Analyse gilt jedoch mittlerweile als veraltet.
- 2) Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin, die von Schmitz et al. (2015) durchgeführte systematische Untersuchung aller in der PEDro-Datenbank gelisteten Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat zu aktualisieren und durch eine Metaanalyse zu erweitern.
- 3) Zu diesem Zweck wurde die PEDro-Datenbank bis zum Stichtag 11. November 2020 wiederholt mit den Suchbegriffen "shock wave", "shock waves", "shockwave", "shockwaves", "lithotripsy" und "lithotripter" durchsucht, wobei alle Suchbegriffe getrennt verwendet wurden (d.h. die PEDro-Datenbank wurde pro Durchgang sechs Mal durchsucht). Von den insgesamt 419 gefundenen Studien wurden in einem mehrstufigen Verfahren 84 Duplikate, 108 Übersichtsarbeiten und 55 nicht für das bearbeitete Thema relevante Studien ausgeschlossen. Die verbliebenen 172 Studien wurden getrennt nach verwendeter Technologie (radiale bzw. fokussierte extrakorporale Stosswellentherapie; rESWT bzw. fESWT) und dem Ergebnis der Studie (rESWT bzw. fESWT statistisch signifikant ($p < 0,05$) besser (+) bzw. nicht statistisch signifikant besser (-) als eine Schein-, Nicht- oder Kontrollbehandlung) eingeteilt. Darüber hinaus wurde für jede Studie überprüft, ob sie für eine Metaanalyse geeignet war (dies war bei 44 Studien der Fall) und ob die entsprechende Indikation in mindestens drei Studien untersucht worden war (dieses Kriterium war für die Indikationen Plantarfasziopathie, Tendinopathien der Achillessehne, Kniegelenksarthrose, Tennisellenbogen und Tendinopathien der Rotatorenmanschette (einschließlich der Kalkschulter) erfüllt). Die gesamte Analyse erfolgte nach den

sogenannten "PRISMA" Kriterien (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*).

- 4) Die systematische Untersuchung ergab, dass die von Schmitz et al. (2015) formulierten Kernaussagen zur ESWT auch weiterhin gültig sind. Die wichtigsten dieser Kernaussagen sind, dass (i) ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat wirksam und sicher ist, (ii) die Anwendung von Lokalanästhesie einen negativen Einfluss auf das Ergebnis bei ESWT hat, (iii) die Anwendung unzureichender Energie das Ergebnis der ESWT negativ beeinflussen kann, (iv) es keine wissenschaftlichen Beweise zugunsten der fESWT oder der rESWT in Bezug auf das Behandlungsergebnis gibt und (v) drei Behandlungen in einem wöchentlichen Intervall mit 2000 extrakorporalen Stosswellen pro Behandlung und maximal möglicher Energieflussdichte ein optimales Behandlungsprotokoll für die Anwendung von ESWT darstellt. Die Metaanalyse ergab, dass sowohl die rESWT als auch die fESWT bei der Behandlung der Plantarfasziopathie, des Tennisellenbogens und Tendinopathien der Rotatorenmanschette (einschließlich der Kalkschulter) einer Schein- bzw. Nichtbehandlung statistisch signifikant ($p < 0,05$) überlegen sind. Für die rESWT gilt dies auch für die Behandlung der Kniegelenksarthrose; zu dieser Indikation lagen zur fESWT in der PEDro-Datenbank keine für die Metaanalyse geeigneten Daten vor. Bei der Behandlung von Tendinopathien der Achillessehne konnte wegen der geringen Anzahl von Studien nur eine statistisch signifikante ($p < 0,05$) Überlegenheit von ESWT insgesamt gegenüber einer Schein- bzw. Nichtbehandlung nachgewiesen werden.
- 5) Insgesamt ergab die Aktualisierung und Erweiterung der von Schmitz et al. (2015) erstmals durchgeführten systematischen Untersuchung der in der PEDro-Datenbank gelisteten Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsapparat eine Bestätigung der von Schmitz et al. (2015) formulierten Kernaussagen zur ESWT. Dabei erscheint von besonderer Bedeutung, dass es auch weiterhin keine wissenschaftlichen Beweise für eine Überlegenheit der fESWT gegenüber der rESWT (oder umgekehrt) in Bezug auf das Behandlungsergebnis gibt.
- 6) Abschließend konnte gezeigt werden, dass weder die Beschränkung auf die Analyse von Studien zur ESWT am Stütz- und Bewegungsarbeit in einer einzigen Datenbank (PEDro-Datenbank) noch der Verzicht auf die Verwendung des Instruments zur "Bewertung des Verzerrungsrisikos" der Cochrane Collaboration eine nennenswerte Limitierung der vorliegenden Arbeit darstellen.

8 Literatur

- Ahadi T, Esmaeili Jamkarani M, Raissi GR, Mansoori K, Emami Razavi SZ, Sajadi S. Prolotherapy vs radial extracorporeal shock wave therapy in the short-term treatment of lateral epicondylitis: a randomized clinical trial. *Pain Med* 2019;20(9):1745-1749. doi: 10.1093/pm/pny303.
- Akinoğlu B, Köse N, Kirdi N, Yakut Y. Comparison of the acute effect of radial shock wave therapy and ultrasound therapy in the treatment of plantar fasciitis: a randomized controlled study. *Pain Med* 2017;18(12):2443-2452. doi: 10.1093/pm/pnx113.
- Akinoğlu B, Köse N. A comparison of the acute effects of radial extracorporeal shockwave therapy, ultrasound therapy, and exercise therapy in plantar fasciitis. *J Exerc Rehabil* 2018;14(2):306-312. doi: 10.12965/jer.1836048.024.
- Akkurt S, Yılmaz A, Saka T. Lateral epikondilit tedavisinde ekstrakorporeal sok dalga tedavisi, fizyoterapi ve lokal steroid enjeksiyonunun karşılaştırılması [A comparison of extracorporeal shock wave therapy, physiotherapy, and local steroid injection in treatment of lateral epicondylitis]. *Türkiye Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Dergisi [Turkish Journal of Physical Medicine and Rehabilitation]* 2016;62(1):37-44. Turkish. doi: 10.5606/tftrd.2016.35492.
- Aktürk S, Kaya A, Çetintaş D, Akgöl G, Gülkesen A, Kal GA, Güçer T. Comparison of the effectiveness of ESWT and ultrasound treatments in myofascial pain syndrome: randomized, sham-controlled study. *J Phys Ther Sci* 2018;30(3):448-453. doi: 10.1589/jpts.30.448.
- Albert JD, Meadeb J, Guggenbuhl P, Marin F, Benkalfate T, Thomazeau H, Chalès G. High-energy extracorporeal shock-wave therapy for calcifying tendinitis of the rotator cuff: a randomised trial. *J Bone Joint Surg Br* 2007;89(3):335-341. doi: 10.1302/0301-620X.89B3.18249.
- Altun RD, Incel NA, Cimen OB, Sahin G. Efficacy of ESWT for lateral epicondylitis treatment: comparison with physical therapy modalities. *J Musculoskelet Res* 2018;21(1):1850001. doi: 10.1142/S021895771850001X.
- Andersson G, Backman LJ, Scott A, Lorentzon R, Forsgren S, Danielson P. Substance P accelerates hypercellularity and angiogenesis in tendon tissue and enhances paratendinitis in response to Achilles tendon overuse in a tendinopathy model. *Br J Sports Med* 2011;45(13):1017-1022. doi: 10.1136/bjsm.2010.082750.sanm
- Bagcier F, Yılmaz N. The impact of extracorporeal shock wave therapy and dry needling combination on pain and functionality in the patients diagnosed with plantar fasciitis. *J Foot Ankle Surg* 2020;59(4):689-693. doi: 10.1053/j.jfas.2019.09.038.
- Buch M, Knorr U, Fleming L, Theodore G, Amendola A, Bachmann C, Zingas C, Siebert WE. Extrakorporale Stosswellentherapie beim symptomatischen Fersensporn. Eine Übersicht

- [Extracorporeal shockwave therapy in symptomatic heel spurs. An overview]. *Orthopade*. 2002;31(7):637-644. German. doi: 10.1007/s00132-002-0323-z.
- Buchberger B, von Elm E, Gartlehner G, Huppertz H, Antes G, Wasem J, Meerpohl JJ. Bewertung des Risikos für Bias in kontrollierten Studien. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 2014;57:1432-1438. doi: 10.1007/s00103-014-2065-6.
- Buchbinder R, Ptasznik R, Gordon J, Buchanan J, Prabakaran V, Forbes A. Ultrasound-guided extracorporeal shock wave therapy for plantar fasciitis: a randomized controlled trial. *J Am Med Assoc* 2002;288(11):1364-1372. doi: 10.1001/jama.288.11.1364.
- Cacchio A, Paoloni M, Barile A, Don R, de Paulis F, Calvisi V, Ranavolo A, Frascarelli M, Santilli V, Spacca G. Effectiveness of radial shock-wave therapy for calcific tendinitis of the shoulder: single-blind, randomized clinical study. *Phys Ther* 2006;86(5):672-682.
- Cacchio A, Rompe JD, Furia JP, Susi P, Santilli V, De Paulis F. Shockwave therapy for the treatment of chronic proximal hamstring tendinopathy in professional athletes. *Am J Sports Med* 2011;39(1):146-153. doi: 10.1177/0363546510379324.
- Capan N, Esmailzadeh S, Oral A, Basoglu C, Karan A, Sindel D. Radial extracorporeal shock wave therapy is not more effective than placebo in the management of lateral epicondylitis: a double-blind, randomized, placebo-controlled trial. *Am J Phys Med Rehabil* 2016;95(7):495-506. doi: 10.1097/PHM.0000000000000407.
- Carlisi E, Cecini M, Di Natali G, Manzoni F, Tinelli C, Lisi C. Focused extracorporeal shock wave therapy for greater trochanteric pain syndrome with gluteal tendinopathy: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 2019;33(4):670-680. doi: 10.1177/0269215518819255.
- Celik D, Anafiroglu Kulunkoglu B. Photobiomodulation therapy versus extracorporeal shock wave therapy in the treatment of lateral epicondylitis. *Photobiomodul Photomed Laser Surg* 2019;37(5):269-275. doi: 10.1089/photob.2018.4533.
- Chaussy CH, Forssmann B, Brendel W, Jocham D, Eisenberger F, Hepp W, Grohel JM. Berührungsfreie Nierensteinzertrümmerung durch extrakorporal erzeugte, fokussierte Stoßwellen. In: Chaussy CH, Staehler G (Hrsg) *Beiträge zur Urologie*. Karger, Basel, München, 1980.
- Chaussy CH, Schmiedt E, Jocham D, Brendel W, Forssmann B, Moser E. Erste klinische Erfahrungen mit der berührungsfreien Nierensteinzertrümmerung durch Stoßwellen. In: *Verhandlungsbericht der Deutschen Gesellschaft für Urologie*, vol 32. Springer, Berlin, Heidelberg, 1981, S. 334-336. doi: 10.1007/978-3-642-81706-9_93.
- Chen H, Brayman AA, Bailey MR, Matula TJ. Blood vessel rupture by cavitation *Urol Res*. 2010;38(4):321-326. doi:10.1007/s00240-010-0302-5

- Chen TW, Lin CW, Lee CL, Chen CH, Chen YJ, Lin TY, Huang MH. The efficacy of shock wave therapy in patients with knee osteoarthritis and popliteal cyamella. *Kaohsiung J Med Sci* 2014;30(7):362-370. doi: 10.1016/j.kjms.2014.03.006.
- Cheng L, Chang S, Qian L, Wang Y, Yang M. Extracorporeal shock wave therapy for isokinetic muscle strength around the knee joint in athletes with patellar tendinopathy. *J Sports Med Phys Fitness* 2019;59(5):822-827. doi: 10.23736/S0022-4707.18.09023-0.
- Chew KT, Leong D, Lin CY, Lim KK, Tan B. Comparison of autologous conditioned plasma injection, extracorporeal shockwave therapy, and conventional treatment for plantar fasciitis: a randomized trial. *PM R*. 2013;5(12):1035-1043. doi: 10.1016/j.pmrj.2013.08.590.
- Cho YS, Park SJ, Jang SH, Choi YC, Lee JH, Kim JS. Effects of the combined treatment of extracorporeal shock wave therapy (ESWT) and stabilization exercises on pain and functions of patients with Myofasziiales Schmerzsyndrom. *J Phys Ther Sci* 2012;24(11):1319-1323. doi: 10.1589/jpts.24.1319.
- Chow IH, Cheing GL. Comparison of different energy densities of extracorporeal shock wave therapy (ESWT) for the management of chronic heel pain. *Clin Rehabil* 2007;21(2):131-141. doi: 10.1177/0269215506069244.
- Chung B, Wiley JP. Effectiveness of extracorporeal shock wave therapy in the treatment of previously untreated lateral epicondylitis: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med* 2004;32(7):1660-1667. doi: 10.1177/0363546503262806.
- Chung B, Wiley JP, Rose MS. Long-term effectiveness of extracorporeal shockwave therapy in the treatment of previously untreated lateral epicondylitis. *Clin J Sport Med* 2005;15(5):305-312. doi: 10.1097/01.jsm.0000179137.69598.7e.
- Cinar E, Saxena S, Uygur F. Combination therapy versus exercise and orthotic support in the management of pain in plantar fasciitis: a randomized controlled trial. *Foot Ankle Int* 2018;39(4):406-414. doi: 10.1177/1071100717747590.
- Cleveland RO, Lifshitz DA, Connors BA, Evan AP, Willis LR, Crum LA. In vivo pressure measurements of lithotripsy shock waves in pigs. *Ultrasound Med Biol* 1998;24(2):293-306. doi:10.1016/s0301-5629(97)00270-6.
- Cleveland RO, Chitnis PV, McClure SR. Acoustic field of a ballistic shock wave therapy device. *Ultrasound Med Biol* 2007;33(8):1327-1335. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2007.02.014.
- Cosentino R, Falsetti P, Manca S, De Stefano R, Frati E, Frediani B, Baldi F, Selvi E, Marcolongo R. Efficacy of extracorporeal shock wave treatment in calcaneal enthesophytosis. *Ann Rheum Dis* 2001;60(11):1064-1067. doi: 10.1136/ard.60.11.1064.
- Cosentino R, De Stefano R, Selvi E, Frati E, Manca S, Frediani B, Marcolongo R. Extracorporeal shock wave therapy for chronic calcific tendinitis of the shoulder: single blind study. *Ann Rheum Dis* 2003;62(3):248-250. doi: 10.1136/ard.62.3.248.

- Costa ML, Shepstone L, Donell ST, Thomas TL. Shock wave therapy for chronic Achilles tendon pain: a randomized placebo-controlled trial. *Clin Orthop Relat Res* 2005;440:199-204. doi: 10.1097/01.blb.0000180451.03425.48.
- Crowther MA, Bannister GC, Huma H, Rooker GD. A prospective, randomised study to compare extracorporeal shock-wave therapy and injection of steroid for the treatment of tennis elbow. *J Bone Joint Surg Br* 2002;84(5):678-679. doi: 10.1302/0301-620x.84b5.12741.
- Császár NB, Angstman NB, Milz S, Sprecher CM, Kobel P, Farhat M, Furia JP, Schmitz C. Radial shock wave devices generate cavitation. *PLoS One* 2015;10(10):e0140541. doi:10.1371/journal.pone.0140541
- D'Andréa Greve JM, Grecco MV, Santos-Silva PR. Comparison of radial shockwaves and conventional physiotherapy for treating plantar fasciitis. *Clinics* 2009;64(2):97-103. doi: 10.1590/s1807-59322009000200006.
- Damian M, Zalpour C. Trigger point treatment with radial shock waves in musicians with nonspecific shoulder-neck pain: data from a special physio outpatient clinic for musicians. *Med Probl Perform Art* 2011;26(4):211-217.
- De Boer FA, Mocking F, Nelissen EM, Van Kampen PM, Huijsmans PE. Ultrasound guided needling vs radial shockwave therapy in calcific tendinitis of the shoulder: a prospective randomized trial. *J Orthop* 2017;14(4):466-469. doi: 10.1016/j.jor.2017.07.011.
- Del Castillo-González F, Ramos-Alvarez JJ, Rodríguez-Fabián G, González-Pérez J, Jiménez-Herranz E, Varela E. Extracorporeal shockwaves versus ultrasound-guided percutaneous lavage for the treatment of rotator cuff calcific tendinopathy: a randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med* 2016;52(2):145-151.
- Dorotka R, Sabeti M, Jimenez-Boj E, Goll A, Schubert S, Trieb K. Location modalities for focused extracorporeal shock wave application in the treatment of chronic plantar fasciitis. *Foot Ankle Int* 2006;27(11):943-947. doi: 10.1177/107110070602701113.
- Duymaz T, Sindel D. Comparison of radial extracorporeal shock wave therapy and traditional physiotherapy in rotator cuff calcific tendinitis treatment. *Arch Rheumatol* 2019;34(3):281-287. doi: 10.5606/ArchRheumatol.2019.7081.
- Ediz L, Ozgokce M. Effectiveness of extracorporeal shock wave therapy to treat primary medial knee osteoarthritis with and without bone marrow edema in elderly patients. *Turk Geriatri Dergisi [Turkish Journal of Geriatrics]* 2018;21(3):394-401. doi: 10.31086/tjgeri.2018344054.
- Ekkernkamp A, Bosse A, Haupt G, Pommer A. Der Einfluss der extrakorporalen Stoßwellen auf die standardisierte Tibiafraktur am Schaf. In: Ittel T, Siebert G, Matthias H (Hrsg) *Aktuelle Aspekte der Osteologie*. Springer, Berlin Heidelberg New York, 1992, S. 307-310.

- Engebretsen K, Grotle M, Bautz-Holter E, Sandvik L, Juel NG, Ekeberg OM, Brox JI. Radial extracorporeal shockwave treatment compared with supervised exercises in patients with subacromial pain syndrome: single blind randomised study. *BMJ* 2009;339:b3360. doi: 10.1136/bmj.b3360.
- Engebretsen K, Grotle M, Bautz-Holter E, Ekeberg OM, Brox JI. Predictors of shoulder pain and disability index (SPADI) and work status after 1 year in patients with subacromial shoulder pain. *BMC Musculoskelet Disord* 2010;11:218. doi: 10.1186/1471-2474-11-218.
- Eraslan L, Yuce D, Erbilici A, Baltaci G. Does kinesiotaping improve pain and functionality in patients with newly diagnosed lateral epicondylitis? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2018;26(3):938-945. doi: 10.1007/s00167-017-4691-7.
- Eslamian F, Shakouri SK, Jahanjoo F, Hajjaliloo M, Notghi F. Extracorporeal shock wave therapy versus local corticosteroid injection in the treatment of chronic plantar fasciitis, a single blinded randomized clinical trial. *Pain Med* 2016;17(9):1722-1731. doi: 10.1093/pm/pnw113.
- Farr S, Sevelde F, Mader P, Graf A, Petje G, Sabeti-Aschraf M. Extracorporeal shockwave therapy in calcifying tendinitis of the shoulder. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011;19(12):2085-2089. doi: 10.1007/s00167-011-1479-z.
- Frizziero A, Vittadini F, Barazzuol M, Gasparre G, Finotti P, Meneghini A, Maffulli N, Masiero S. Extracorporeal shockwaves therapy versus hyaluronic acid injection for the treatment of painful non-calcific rotator cuff tendinopathies: preliminary results. *J Sports Med Phys Fitness* 2017;57(9):1162-1168. doi: 10.23736/S0022-4707.16.06408-2.
- Galasso O, Amelio E, Riccelli DA, Gasparini G. Short-term outcomes of extracorporeal shock wave therapy for the treatment of chronic non-calcific tendinopathy of the supraspinatus: a double-blind, randomized, placebo-controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord* 2012;13:86. doi: 10.1186/1471-2474-13-86.
- Gerdesmeyer L, Maier M, Haake M, Schmitz C. Physikalisch-technische Grundlagen der extrakorporalen Stosswellentherapie (ESWT) [Physical-technical principles of extracorporeal shockwave therapy (ESWT)]. *Orthopade* 2002;31(7):610-617. German. doi: 10.1007/s00132-002-0319-8.
- Gerdesmeyer L, Wagenpfeil S, Haake M, Maier M, Loew M, Wörtler K, Lampe R, Seil R, Handle G, Gassel S, Rompe JD. Extracorporeal shock wave therapy for the treatment of chronic calcifying tendonitis of the rotator cuff: a randomized controlled trial. *J Am Med Assoc* 2003;290(19):2573-2580. doi: 10.1001/jama.290.19.2573.
- Gerdesmeyer L, Frey C, Vester J, Maier M, Weil L Jr, Weil L Sr, Russlies M, Stienstra J, Scurran B, Fedder K, Diehl P, Lohrer H, Henne M, Gollwitzer H. Radial extracorporeal shock wave therapy is safe and effective in the treatment of chronic recalcitrant plantar fasciitis:

- results of a confirmatory randomized placebo-controlled multicenter study. *Am J Sports Med* 2008;36(11):2100-2109. doi: 10.1177/0363546508324176.
- Gezginaslan Ö, Gümüs Atalay S. High-energy flux density extracorporeal shock wave therapy versus traditional physical therapy modalities in myofascial pain syndrome: a randomized-controlled, single-blind trial. *Arch Rheumatol* 2019;35(1):78-89. doi: 10.5606/ArchRheumatol.2020.7496.
- Gollwitzer H, Brandner H, Gloeck T. Extrakorporale Stoßwellentherapie bei Knochenheilungsstörungen. *Evidenzbasierte Therapie – Literaturübersicht und eigene Ergebnisse*. *Trauma Berufskrankh* 2006;8:142-152.
- Gollwitzer H, Diehl P, von Korff A, Rahlfs VW, Gerdesmeyer L. Extracorporeal shock wave therapy for chronic painful heel syndrome: a prospective, double blind, randomized trial assessing the efficacy of a new electromagnetic shock wave device. *J Foot Ankle Surg* 2007;46(5):348-357. doi: 10.1053/j.jfas.2007.05.011.
- Gomez Garcia S, Ramon Rona S, Gomez Tinoco MC, Benet Rodriguez M, Chaustre Ruiz DM, Cardenas Letrado FP, Lopez-Illescas Ruiz Á, Alarcon Garcia JM. Shockwave treatment for medial tibial stress syndrome in military cadets: A single-blind randomized controlled trial. *Int J Surg* 2017;46:102-109. doi: 10.1016/j.ijisu.2017.08.584.
- Graff J, Richter KD, Pastor J: Effect of high energy shock waves on bony tissue. *Urol. Res* 1988.16:252-258.
- Graff J. Die Wirkung hochenergetischer Stoßwellen auf Knochen und Weichteilgewebe. 1989.Habilitationsschrift, Ruhr-Universität Bochum.
- Grecco MV, Brech GC, Greve JM. One-year treatment follow-up of plantar fasciitis: radial shockwaves vs. conventional physiotherapy. *Clinics* 2013;68(8):1089-1095. doi: 10.6061/clinics/2013(08)05.
- Gross MW, Sattler A, Haake M, Schmitt J, Hildebrandt R, Müller HH, Engenhardt-Cabillic R. Die Wertigkeit der Strahlenbehandlung im Vergleich zur extrakorporalen Stoßwellentherapie (ESWT) beim Supraspinatussehnen Syndrom [The effectiveness of radiation treatment in comparison with extracorporeal shockwave therapy (ESWT) in supraspinatus tendon syndrome]. *Strahlenther Onkol* 2002;178(6):314-320. German. doi: 10.1007/s00066-002-0905-z.
- Gündüz R, Malas FÜ, Borman P, Kocaoğlu S, Özçakar L. Physical therapy, corticosteroid injection, and extracorporeal shock wave treatment in lateral epicondylitis. Clinical and ultrasonographical comparison. *Clin Rheumatol* 2012;31(5):807-812. doi: 10.1007/s10067-012-1939-y.
- Haake M, Sattler A, Gross MW, Schmitt J, Hildebrandt R, Müller HH. Vergleich der extrakorporalen Stoßwellentherapie (ESWT) mit der Röntgenreizbestrahlung beim Supraspinatussehnen Syndrom - Ein prospektiver randomisierter einfachblinder

- Parallelgruppenvergleich [Comparison of extracorporeal shockwave therapy (ESWT) with roentgen irradiation in supraspinatus tendon syndrome--a prospective randomized single-blind parallel group comparison]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 2001;139(5):397-402. German. doi: 10.1055/s-2001-17981.
- Haake M, Deike B, Thon A, Schmitt J. Exact focusing of extracorporeal shock wave therapy for calcifying tendinopathy. *Clin Orthop Relat Res* 2002a;(397):323-331. doi: 10.1097/00003086-200204000-00037.
- Haake M, König IR, Decker T, Riedel C, Buch M, Müller HH; Extracorporeal Shock Wave Therapy Clinical Trial Group. Extracorporeal shock wave therapy in the treatment of lateral epicondylitis: a randomized multicenter trial. *J Bone Joint Surg Am* 2002b;84(11):1982-1991. doi: 10.2106/00004623-200211000-00012.
- Haake M, Böddeker IR, Decker T, Buch M, Vogel M, Labek G, Maier M, Loew M, Maier-Boerries O, Fischer J, Betthäuser A, Rehack HC, Kanovsky W, Müller I, Gerdesmeyer L, Rompe JD. Side-effects of extracorporeal shock wave therapy (ESWT) in the treatment of tennis elbow. *Arch Orthop Trauma Surg* 2002c;122(4):222-228. doi: 10.1007/s00402-001-0362-7.
- Haake M, Willenberg T, Sauer F, Griss P. Einfluss der Extrakorporalen Stosswellentherapie auf die Gefäßregulation. Infrarotthermographie bei Epicondylitis humeri radialis [Effect of extracorporeal shockwave therapy on vascular regulation. Infrared thermography in epicondylitis humeri radialis]. *Swiss Surg* 2002d;8(4):176-180. German. doi: 10.1024/1023-9332.8.4.176.
- Haake M, Buch M, Schoellner C, Goebel F, Vogel M, Mueller I, Hausdorf J, Zamzow K, Schade-Brittinger C, Mueller HH. Extracorporeal shock wave therapy for plantar fasciitis: randomised controlled multicentre trial. *BMJ* 2003;327(7406):75. doi: 10.1136/bmj.327.7406.75.
- Hammer DS, Rupp S, Kreutz A, Pape D, Kohn D, Seil R. Extracorporeal shockwave therapy (ESWT) in patients with chronic proximal plantar fasciitis. *Foot Ankle Int* 2002;23(4):309-313. doi: 10.1177/107110070202300403.
- Hammer DS, Adam F, Kreutz A, Kohn D, Seil R. Extracorporeal shock wave therapy (ESWT) in patients with chronic proximal plantar fasciitis: a 2-year follow-up. *Foot Ankle Int* 2003;24(11):823-828. doi: 10.1177/107110070302401103.
- Haupt G, Haupt A, Ekkernkamp A, Gerety B, Chvapil M. Influence of shock waves on fracture healing. *Urology* 1992;39(6):529-532. doi:10.1016/0090-4295(92)90009-I
- Hearnden A, Desai A, Karmegam A, Flannery M. Extracorporeal shock wave therapy in chronic calcific tendonitis of the shoulder - is it effective? *Acta Orthop Belg* 2009;75(1):25-31.

- Hochstraßer T, Frank HG, Schmitz C. Dose-dependent and cell type-specific cell death and proliferation following in vitro exposure to radial extracorporeal shock waves. *Sci Rep*. 2016;6:30637. doi:10.1038/srep30637.
- Hofmann A, Ritz U, Hessmann MH, Alini M, Rommens PM, Rompe JD. Extracorporeal shock wave-mediated changes in proliferation, differentiation, and gene expression of human osteoblasts. *J Trauma* 2008;65(6):1402-1410. doi:10.1097/TA.0b013e318173e7c2.
- Hsu CJ, Wang DY, Tseng KF, Fong YC, Hsu HC, Jim YF. Extracorporeal shock wave therapy for calcifying tendinitis of the shoulder. *J Shoulder Elbow Surg* 2008;17(1):55-59. doi: 10.1016/j.jse.2007.03.023.
- Hussein AZ, Donatelli RA. The efficacy of radial extracorporeal shockwave therapy in shoulder adhesive capsulitis: a prospective, randomised, double-blind, placebo-controlled, clinical study. *Eur J Physiother* 2016;18(1):63-76. doi: 10.3109/21679169.2015.1119887.
- Ibrahim MI, Donatelli RA, Schmitz C, Hellman MA, Buxbaum F. Chronic plantar fasciitis treated with two sessions of radial extracorporeal shock wave therapy. *Foot Ankle Int* 2010;31(5):391-397. doi: 10.3113/FAI.2010.0391.
- Imamura M, Alamino S, Hsing WT, Alfieri FM, Schmitz C, Battistella LR. Radial extracorporeal shock wave therapy for disabling pain due to severe primary knee osteoarthritis. *J Rehabil Med* 2017;49(1):54-62. doi: 10.2340/16501977-2148.
- Ioppolo F, Tattoli M, Di Sante L, Attanasi C, Venditto T, Servidio M, Cacchio A, Santilli V. Extracorporeal shock-wave therapy for supraspinatus calcifying tendinitis: a randomized clinical trial comparing two different energy levels. *Phys Ther* 2012;92(11):1376-1385. doi: 10.2522/ptj.20110252.
- Iro H, Nitsche N, Schneider HT, Ell C. Extracorporeal shockwave lithotripsy of salivary gland stones. *Lancet* 1989;2(8654):115. doi:10.1016/s0140-6736(89)90365-6
- Kertzman P, Császár NBM, Furia JP, Schmitz C. Radial extracorporeal shock wave therapy is efficient and safe in the treatment of fracture nonunions of superficial bones: a retrospective case series. *J Orthop Surg Res* 2017;12(1):164. doi:10.1186/s13018-017-0667-z.
- Klinke R, Pape HC, Kurtz A, Silbernagl S. *Physiologie*, Georg Thieme Verlag. 6. Auflage. 2010.
- Klonschinski T, Ament SJ, Schlereth T, Rompe JD, Birklein F. Application of local anesthesia inhibits effects of low-energy extracorporeal shock wave treatment (ESWT) on nociceptors. *Pain Med* 2011;12(10):1532-1537. doi:10.1111/j.1526-4637.2011.01229.x.
- Kolk A, Yang KG, Tamminga R, van der Hoeven H. Radial extracorporeal shock-wave therapy in patients with chronic rotator cuff tendinitis: a prospective randomised double-blind placebo-controlled multicentre trial. *Bone Joint J* 2013;95-B(11):1521-1526. doi: 10.1302/0301-620X.95B11.31879.

- Konjen N, Napnark T, Janchai S. A comparison of the effectiveness of radial extracorporeal shock wave therapy and ultrasound therapy in the treatment of chronic plantar fasciitis: a randomized controlled trial. *J Med Assoc Thai* 2015;98 Suppl 1:S49-56.f
- Kraus M, Reinhart E, Krause H, Reuther J. Niederenergetische extrakorporale Stosswellentherapie (ESWT) zur Behandlung von Myogelosen des M. masseter [Low energy extracorporeal shockwave therapy (ESWT) for treatment of myogelosis of the masseter muscle]. *Mund Kiefer Gesichtschir* 1999;3(1):20-23. German. doi: 10.1007/s100060050087.
- Krischek O, Rompe JD, Herbsthofer B, Nafe B. Symptomatische niedrig-energetische Stosswellentherapie bei Fersenschmerzen und radiologisch nachweisbarem plantaren Fersensporn [Symptomatic low-energy shockwave therapy in heel pain and radiologically detected plantar heel spur] (German). *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 1998;136(2):169-174. doi: 10.1055/s-2008-1051301.
- Krukowska J, Wrona J, Sienkiewicz M, Czernicki J. A comparative analysis of analgesic efficacy of ultrasound and shock wave therapy in the treatment of patients with inflammation of the attachment of the plantar fascia in the course of calcaneal spurs. *Arch Orthop Trauma Surg* 2016;136(9):1289-1296. doi: 10.1007/s00402-016-2503-z.
- Kubot A, Grzegorzewski A, Synder M, Szymczak W, Kozłowski P. Radial extracorporeal shockwave therapy and ultrasound therapy in the treatment of tennis elbow syndrome. *Ortop Traumatol Rehabil* 2017;19(5):415-426. doi: 10.5604/01.3001.0010.5821.
- Kudo P, Dainty K, Clarfield M, Coughlin L, Lavoie P, Lebrun C. Randomized, placebo-controlled, double-blind clinical trial evaluating the treatment of plantar fasciitis with an extracorporeal shockwave therapy (ESWT) device: a North American confirmatory study. *J Orthop Res* 2006;24(2):115-123. doi: 10.1002/jor.20008.
- Kvalvaag E, Brox JI, Engebretsen KB, Soberg HL, Juel NG, Bautz-Holter E, Sandvik L, Roe C. Effectiveness of radial extracorporeal shock wave therapy (reswt) when combined with supervised exercises in patients with subacromial shoulder pain: a double-masked, randomized, sham-controlled trial. *Am J Sports Med* 2017;45(11):2547-2554. doi: 10.1177/0363546517707505.
- Kvalvaag E, Roe C, Engebretsen KB, Soberg HL, Juel NG, Bautz-Holter E, Sandvik L, Brox JI. One year results of a randomized controlled trial on radial Extracorporeal Shock Wave Treatment, with predictors of pain, disability and return to work in patients with subacromial pain syndrome. *Eur J Phys Rehabil Med* 2018;54(3):341-350. doi: 10.23736/S1973-9087.17.04748-7.

- Labek G, Auersperg V, Ziernhöld M, Poulios N, Böhler N. Einfluss von Lokalanästhesie und Energieflussdichte bei niederenergetischer Extrakorporaler Stosswellentherapie der chronischen Plantaren Fasziitis -- Eine prospektiv-randomisierte klinische Studie [Influence of local anesthesia and energy level on the clinical outcome of extracorporeal shock wave-treatment of chronic plantar fasciitis]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 2005;143(2):240-246. doi:10.1055/s-2004-832379
- Lee SS, Kang S, Park NK, Lee CW, Song HS, Sohn MK, Cho KH, Kim JH. Effectiveness of initial extracorporeal shock wave therapy on the newly diagnosed lateral or medial epicondylitis. *Ann Rehabil Med* 2012;36(5):681-687. doi: 10.5535/arm.2012.36.5.681.
- Lee JH, Han EY. A comparison of the effects of PNF, ESWT, and TPI on pain and function of patients with Myofaszielles Schmerzsyndrom. *J Phys Ther Sci* 2013;25(3):341-344. doi: 10.1589/jpts.25.341.
- Li JW, Zheng SJ, Zhang JC, Huang JJ, Liu XG. Effect of acupuncture plus different frequency shock-wave interventions on pain reactions and motor function in knee osteoarthritis. *Acupunct Res* 2015;40(4):300-303. doi: 10.13702/j.1000-0607.2015.04.008.
- Liang HW, Wang TG, Chen WS, Hou SM. Thinner plantar fascia predicts decreased pain after extracorporeal shock wave therapy. *Clin Orthop Relat Res* 2007;460:219-225. doi: 10.1097/BLO.0b013e31804ffd19.
- Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gøtzsche PC, Ioannidis JP, Clarke M, Devereaux PJ, Kleijnen J, Moher D. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. *BMJ* 2009;339:b2700. doi:10.1136/bmj.b2700.
- Lin SF, Chen YJ, Tu HP, Lee CL, Hsieh CL, Wu WL, Chen CH. The effects of extracorporeal shock wave therapy in patients with coccydynia: a randomized controlled trial. *PLoS One* 2015;10(11):e0142475. doi: 10.1371/journal.pone.0142475.
- Liu S, Zhai L, Shi Z, Jing R, Zhao B, Xing G. Radial extracorporeal pressure pulse therapy for the primary long bicipital tenosynovitis a prospective randomized controlled study. *Ultrasound Med Biol* 2012;38(5):727-735. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2012.01.024.
- Lizis P, Kobza W, Manko G. Extracorporeal shockwave therapy vs. kinesiotherapy for osteoarthritis of the knee: A pilot randomized controlled trial. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2017;30(5):1121-1128. doi: 10.3233/BMR-169781.
- Loew M, Daecke W, Kusnierczak D, Rahmzadeh M, Ewerbeck V. Shock-wave therapy is effective for chronic calcifying tendinitis of the shoulder. *J Bone Joint Surg Br* 1999;81(5):863-867. doi: 10.1302/0301-620x.81b5.9374.
- Lohrer H, Nauck T, Dorn-Lange NV, Schöll J, Vester JC. Comparison of radial versus focused extracorporeal shock waves in plantar fasciitis using functional measures. *Foot Ankle Int* 2010;31(1):1-9. doi: 10.3113/FAI.2010.0001.

- Maier M, Averbeck B, Milz S, Refior HJ, Schmitz C. Substance P and prostaglandin E2 release after shock wave application to the rabbit femur. *Clin Orthop Relat Res* 2003;(406):237-245. doi:10.1097/01.blo.0000030173.56585.8f.
- Maier M, Schmitz C. Shock wave therapy: what really matters. *Ultrasound Med Biol* 2008;34(11):1868-1870. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2008.03.016.
- Malay DS, Pressman MM, Assili A, Kline JT, York S, Buren B, Heyman ER, Borowsky P, LeMay C. Extracorporeal shockwave therapy versus placebo for the treatment of chronic proximal plantar fasciitis: results of a randomized, placebo-controlled, double-blinded, multicenter intervention trial. *J Foot Ankle Surg* 2006;45(4):196-210. doi: 10.1053/j.jfas.2006.04.007.
- Manafnezhad J, Salahzadeh Z, Salimi M, Ghaderi F, Ghojazadeh M. The effects of shock wave and dry needling on active trigger points of upper trapezius muscle in patients with non-specific neck pain: A randomized clinical trial. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2019;32(5):811-818. doi: 10.3233/BMR-181289.
- Marks W, Jackiewicz A, Witkowski Z, Kot J, Deja W, Lasek J. Extracorporeal shock-wave therapy (ESWT) with a new-generation pneumatic device in the treatment of heel pain. A double blind randomised controlled trial. *Acta Orthop Belg* 2008;74(1):98-101.d
- Mayer-Wagner S, Ernst J, Maier M, Chiquet M, Joos H, Müller PE, Jansson V, Sievers B, Hausdorf J. The effect of high-energy extracorporeal shock waves on hyaline cartilage of adult rats in vivo. *J Orthop Res* 2010;28(8):1050-1056. doi: 10.1002/jor.21074.
- Mehra A, Zaman T, Jenkin AI. The use of a mobile lithotripter in the treatment of tennis elbow and plantar fasciitis. *Surgeon* 2003;1(5):290-292. doi: 10.1016/s1479-666x(03)80048-3.
- Melegati G, Tornese D, Bandi M, Rubini M. Comparison of two ultrasonographic localization techniques for the treatment of lateral epicondylitis with extracorporeal shock wave therapy: a randomized study. *Clin Rehabil* 2004;18(4):366-370. doi: 10.1191/0269215504cr762oa.
- Melikyan EY, Shahin E, Miles J, Bainbridge LC. Extracorporeal shock-wave treatment for tennis elbow. A randomised double-blind study. *J Bone Joint Surg Br* 2003;85(6):852-855.
- Miller DL. Overview of experimental studies of biological effects of medical ultrasound caused by gas body activation and inertial cavitation. *Prog Biophys Mol Biol* 2007;93(1-3):314-330. doi:10.1016/j.pbiomolbio.2006.07.027
- Moon YE, Seok H, Kim SH, Lee SY, Yeo JH. Extracorporeal shock wave therapy for sacroiliac joint pain: A prospective, randomized, sham-controlled short-term trial. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2017;30(4):779-784. doi: 10.3233/BMR-150405.
- Mostafa MSM, Ammar TAEA. Shock wave versus phonophoresis on mechanical neck dysfunction. *J Pain Management* 2016;9(1):49-56.

- Muthukrishnan R, Rashid AA, Al-Alkharji F. The effectiveness of extracorporeal shockwave therapy for frozen shoulder in patients with diabetes: randomized control trial. *J Phys Ther Sci* 2019;31(7):493-497. doi: 10.1589/jpts.31.493.
- Narin S, Unver B, Demirkiran ND, Erduran M. Comparison of radial extracorporeal shock wave therapy in plantar fasciitis treatment using two different frequencies. *Cureus* 2020;12(5):e8284. doi: 10.7759/cureus.8284. PMID: 32601560.
- Neufeld SK, Cerrato R. Plantar fasciitis: evaluation and treatment. *J Am Acad Orthop Surg* 2008;16(6):338-346. doi: 10.5435/00124635-200806000-00006.
- Njawaya MM, Moses B, Martens D, Orchard JJ, Driscoll T, Negrine J, Orchard JW. Ultrasound guidance does not improve the results of shock wave for plantar fasciitis or calcific achilles tendinopathy: a randomized control trial. *Clin J Sport Med* 2018;28(1):21-27. doi: 10.1097/JSM.0000000000000430.
- Notarnicola A, Maccagnano G, Tafuri S, Forcignanò MI, Panella A, Moretti B. CHELT therapy in the treatment of chronic insertional Achilles tendinopathy. *Lasers Med Sci* 2014;29(3):1217-1225. doi: 10.1007/s10103-013-1510-3.
- Notarnicola A, Maccagnano G, Tafuri S, Fiore A, Pesce V, Moretti B. Comparison of shock wave therapy and nutraceutical composed of Echinacea angustifolia, alpha lipoic acid, conjugated linoleic acid and quercetin (perinerv) in patients with carpal tunnel syndrome. *Int J Immunopathol Pharmacol* 2015;28(2):256-262. doi: 10.1177/0394632015584501.
- Notarnicola A, Maccagnano G, Gallone MF, Mastromauro L, Rifino F, Pesce V, Covelli I, Moretti B. Extracorporeal shockwave therapy versus exercise program in patients with low back pain: short-term results of a randomised controlled trial. *J Biol Regul Homeost Agents* 2018;32(2):385-389.
- Ogden JA, Alvarez R, Levitt R, Cross GL, Marlow M. Shock wave therapy for chronic proximal plantar fasciitis. *Clin Orthop Relat Res* 2001a;(387):47-59. doi: 10.1097/00003086-200106000-00007.
- Ogden JA, Tóth-Kischkat A, Schultheiss R. Principles of shock wave therapy. *Clin Orthop Relat Res* 2001b;(387):8-17. doi:10.1097/00003086-200106000-00003
- Ogden JA, Alvarez RG, Levitt RL, Johnson JE, Marlow ME. Electrohydraulic high-energy shock-wave treatment for chronic plantar fasciitis. *J Bone Joint Surg Am* 2004;86(10):2216-2228. doi: 10.2106/00004623-200410000-00013.
- Oh JH, Lhee S-H, Park J-Y, Choi HW, Jeon SH, Eom JS. 상완골 외측 상과염에서 체외충격파 치료와 혈소판 풍부 혈장 주사의 임상 결과에 대한 전향적 무작위 비교 연구 [Extracorporeal shock wave therapy versus platelet-rich plasma injection for the treatment of lateral epicondylitis: a prospective randomized clinical trial]. *J Korean Soc Surg Hand* 2011;16(4):241-246. Korean.

- Ozturan KE, Yucel I, Cakici H, Guven M, Sungur I. Autologous blood and corticosteroid injection and extracorporeal shock wave therapy in the treatment of lateral epicondylitis. *Orthopedics* 2010;33(2):84-91. doi: 10.3928/01477447-20100104-09.
- Ozturk H, Bulut O, Oztemur Z, Kaloglu C, Kol IO. Effect of high-energy extracorporeal shock waves on the immature epiphysis in a rabbit model. *Arch Orthop Trauma Surg* 2008;128(6):627-631. doi: 10.1007/s00402-007-0388-6.
- Pan PJ, Chou CL, Chiou HJ, Ma HL, Lee HC, Chan RC. Extracorporeal shock wave therapy for chronic calcific tendinitis of the shoulders: a functional and sonographic study. *Arch Phys Med Rehabil* 2003;84(7):988-993. doi: 10.1016/s0003-9993(03)00010-8.
- Paoloni M, Tavernese E, Cacchio A, D'orazi V, Ioppolo F, Fini M, Santilli V, Mangone M. Extracorporeal shock wave therapy and ultrasound therapy improve pain and function in patients with carpal tunnel syndrome. A randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med* 2015;51(5):521-528.
- Park KD, Lee WY, Park MH, Ahn JK, Park Y. High- versus low-energy extracorporeal shock-wave therapy for Myofasiales Schmerzsyndrom of upper trapezius: A prospective randomized single blinded pilot study. *Medicine (Baltimore)*. 2018 Jul;97(28):e11432. doi: 10.1097/MD.00000000000011432.
- Perez C, Chen H, Matula TJ, Karzova M, Khokhlova VA. Acoustic field characterization of the Duolith: measurements and modeling of a clinical shock wave therapy device. *J Acoust Soc Am* 2013;134(2):1663-1674. doi:10.1121/1.4812885
- Perlick L, Luring C, Bathis H, Perlick C, Kraft C, Diedrich O. Efficacy of extracorporeal shock-wave treatment for calcific tendinitis of the shoulder: experimental and clinical results. *J Orthop Sci* 2003;8(6):777-783. doi: 10.1007/s00776-003-0720-0.
- Peters J, Luboldt W, Schwarz W, Jacobi V, Herzog C, Vogl TJ. Extracorporeal shock wave therapy in calcific tendinitis of the shoulder. *Skeletal Radiol* 2004;33(12):712-718. doi: 10.1007/s00256-004-0849-8.
- Pettrone FA, McCall BR. Extracorporeal shock wave therapy without local anesthesia for chronic lateral epicondylitis. *J Bone Joint Surg Am* 2005;87(6):1297-1304. doi: 10.2106/JBJS.C.01356.
- Pleiner J, Crevenna R, Langenberger H, Keilani M, Nuhr M, Kainberger F, Wolzt M, Wiesinger G, Quittan M. Extracorporeal shockwave treatment is effective in calcific tendonitis of the shoulder. A randomized controlled trial. *Wien Klin Wochenschr* 2004;116(15-16):536-541. doi: 10.1007/BF03217707.
- Porter MD, Shadbolt B. Intralesional corticosteroid injection versus extracorporeal shock wave therapy for plantar fasciopathy. *Clin J Sport Med* 2005;15(3):119-124. doi: 10.1097/01.jsm.0000164039.91787.dc.

- Radwan YA, Mansour AM, Badawy WS. Resistant plantar fasciopathy: shock wave versus endoscopic plantar fascial release. *Int Orthop* 2012;36(10):2147-2156. doi: 10.1007/s00264-012-1608-4.
- Ramon S, Russo S, Santoboni F, Lucenteforte G, Di Luise C, de Unzurrunzaga R, Vetrano M, Albano M, Baldini R, Cugat R, Stella G, Balato G, Seijas R, Nusca SM, Servodidio V, Vulpiani MC. Focused Shockwave Treatment for Greater Trochanteric Pain Syndrome: A Multicenter, Randomized, Controlled Clinical Trial. *J Bone Joint Surg Am* 2020;102(15):1305-1311. doi: 10.2106/JBJS.20.00093.
- Rasmussen S, Christensen M, Mathiesen I, Simonson O. Shockwave therapy for chronic Achilles tendinopathy: a double-blind, randomized clinical trial of efficacy. *Acta Orthop* 2008;79(2):249-256. doi: 10.1080/17453670710015058.
- Rastegar S, Orak K. درملى روش دو نئىرېخ شى ى مقطس ه [A comparison of the effectiveness of extracorporeal shockwave therapy and platelet-rich plasma therapy in treatment of plantar fasciitis inflammation] *J Isfahan Med Sch* 2019;36(508):1526-1232. Persian. doi: 10.22122/jims.v36i508.10680.
- Razzano C, Carbone S, Mangone M, Iannotta MR, Battaglia A, Santilli V. Treatment of chronic plantar fasciitis with noninvasive interactive neurostimulation: a prospective randomized controlled study. *J Foot Ankle Surg* 2017;56(4):768-772. doi: 10.1053/j.jfas.2017.02.015.
- Reilly JM, Bluman E, Tenforde AS. Effect of Shockwave Treatment for management of upper and lower extremity musculoskeletal conditions: a narrative review. *PM R* 2018;10(12):1385-1403. doi:10.1016/j.pmrj.2018.05.007
- Rompe JD, Hopf C, Küllmer K, Heine J, Bürger R. Analgesic effect of extracorporeal shock-wave therapy on chronic tennis elbow. *J Bone Joint Surg Br* 1996a;78(2):233-237.
- Rompe JD, Kullmer K, Riehle H-M, Herbsthofer B, Eckardt A, Burger R, Nafe B, Eysel P. Effectiveness of low-energy extracorporeal shock waves for chronic plantar fasciitis. *Foot Ankle Surg* 1996b;2(4):215-221. doi: 10.1016/S1268-7731(96)80004-X
- Rompe JD, Hopf C, Nafe B, Burger R. Low-energy extracorporeal shock wave therapy for painful heel: a prospective controlled single-blind study. *Arch Orthop Trauma Surg* 1996c;115(2):75-79. doi: 10.1007/BF00573445.
- Rompe JD, Hopf C, Küllmer K, Heine J, Bürger R, Nafe B. Low-energy extracorporeal shock wave therapy for persistent tennis elbow. *Int Orthop* 1996d;20(1):23-27. doi: 10.1007/s002640050021.
- Rompe JD, Eysel P, Hopf C, Kirschek O, Vogel J, Bürger R, Jage J, Heine J. Extrakorporale Stosswellentherapie in der Orthopädie. Positive Ergebnisse beim Tennisellenbogen und der Tendinosis calcarea der Schulter [Extracorporeal shockwave therapy in orthopedics. Positive results in tennis elbow and tendinosis calcarea of the shoulder]. *Fortschr Med* 1997;115(18):26, 29-33. German.

- Rompe JD, Bürger R, Hopf C, Eysel P. Shoulder function after extracorporeal shock wave therapy for calcific tendinitis. *J Shoulder Elbow Surg* 1998a;7(5):505-509. doi: 10.1016/s1058-2746(98)90203-8.
- Rompe JD, Kirkpatrick CJ, Küllmer K, Schwitalle M, Krischek O. Dose-related effects of shock waves on rabbit tendo Achillis. A sonographic and histological study. *J Bone Joint Surg Br* 1998b;80(3):546-552. doi: 10.1302/0301-620x.80b3.8434.
- Rompe JD, Krischek O, Eysel P, Hopf C, Jage J. Chronische Insertionstendopathie am lateralen Epicondylus humeri. Ergebnisse der extrakorporalen Stosswellenapplikation [Results of extracorporeal shock-wave application in lateral elbow tendopathy] *Schmerz* 1998c;12(2):105-111. German. doi: 10.1007/s004829800048.
- Rompe JD, Riedel C, Betz U, Fink C. Chronic lateral epicondylitis of the elbow: A prospective study of low-energy shockwave therapy and low-energy shockwave therapy plus manual therapy of the cervical spine. *Arch Phys Med Rehabil* 2001;82(5):578-582. doi: 10.1053/apmr.2001.22337.
- Rompe JD, Schoellner C, Nafe B. Evaluation of low-energy extracorporeal shock-wave application for treatment of chronic plantar fasciitis. *J Bone Joint Surg Am* 2002;84(3):335-341. doi: 10.2106/00004623-200203000-00001.
- Rompe JD, Decking J, Schoellner C, Nafe B. Shock wave application for chronic plantar fasciitis in running athletes. A prospective, randomized, placebo-controlled trial. *Am J Sports Med* 2003;31(2):268-275. doi: 10.1177/03635465030310021901.
- Rompe JD, Decking J, Schoellner C, Theis C. Repetitive low-energy shock wave treatment for chronic lateral epicondylitis in tennis players. *Am J Sports Med* 2004;32(3):734-743. doi: 10.1177/0363546503261697.
- Rompe JD, Meurer A, Nafe B, Hofmann A, Gerdesmeyer L. Repetitive low-energy shock wave application without local anesthesia is more efficient than repetitive low-energy shock wave application with local anesthesia in the treatment of chronic plantar fasciitis. *J Orthop Res* 2005;23(4):931-41. doi: 10.1016/j.orthres.2004.09.003.
- Rompe JD, Furia J, Weil L, Maffulli N. Shock wave therapy for chronic plantar fasciopathy. *Br Med Bull*. 2007a;81-82:183-208. doi:10.1093/bmb/ldm005
- Rompe JD, Nafe B, Furia JP, Maffulli N. Eccentric loading, shock-wave treatment, or a wait-and-see policy for tendinopathy of the main body of tendo Achillis: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med* 2007b;35(3):374-383. doi: 10.1177/0363546506295940.
- Rompe JD, Furia J, Maffulli N. Eccentric loading compared with shock wave treatment for chronic insertional achilles tendinopathy. A randomized, controlled trial. *J Bone Joint Surg Am* 2008;90(1):52-61. doi: 10.2106/JBJS.F.01494.

- Rompe JD, Furia J, Maffulli N. Eccentric loading versus eccentric loading plus shock-wave treatment for midportion achilles tendinopathy: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med* 2009a;37(3):463-470. doi: 10.1177/0363546508326983.
- Rompe JD, Segal NA, Cacchio A, Furia JP, Morral A, Maffulli N. Home training, local corticosteroid injection, or radial shock wave therapy for greater trochanter pain syndrome. *Am J Sports Med* 2009b;37(10):1981-1990. doi: 10.1177/0363546509334374.
- Rompe JD, Cacchio A, Weil L Jr, Furia JP, Haist J, Reiners V, Schmitz C, Maffulli N. Plantar fascia-specific stretching versus radial shock-wave therapy as initial treatment of plantar fasciopathy. *J Bone Joint Surg Am* 2010;92(15):2514-2522. doi: 10.2106/JBJS.I.01651.
- Rompe JD, Auersperg V, Hausdorf J, Thiele R, Schmitz C. Die muskuloskelettale extrakorporale Stoßwellentherapie. *Arthritis und Rheuma* 2013; 33(5):291-298.
- Rompe JD, Furia J, Cacchio A, Schmitz C, Maffulli N. Radial shock wave treatment alone is less efficient than radial shock wave treatment combined with tissue-specific plantar fascia-stretching in patients with chronic plantar heel pain. *Int J Surg* 2015;24(Pt B):135-142. doi: 10.1016/j.ijssu.2015.04.082.
- Sabeti-Aschraf M, Dorotka R, Goll A, Trieb K. Extracorporeal shock wave therapy in the treatment of calcific tendinitis of the rotator cuff. *Am J Sports Med* 2005;33(9):1365-1368. doi: 10.1177/0363546504273052.
- Sabeti M, Dorotka R, Goll A, Gruber M, Schatz KD. A comparison of two different treatments with navigated extracorporeal shock-wave therapy for calcifying tendinitis - a randomized controlled trial. *Wien Klin Wochenschr* 2007;119(3-4):124-128. doi: 10.1007/s00508-006-0723-x.
- Saggini R, Cavezza T, Di Pancrazio L, Piscicella V, Saladino G, Zuccaro MC, Bellomo RG. Treatment of lesions of the rotator cuff. *J Biol Regul Homeost Agents* 2010;24(4):453-459.
- Santamato A, Panza F, Notarnicola A, Cassatella G, Fortunato F, de Sanctis JL, Valeno G, Kehoe PG, Seripa D, Logroscino G, Fiore P, Ranieri M. Is extracorporeal shockwave therapy combined with isokinetic exercise more effective than extracorporeal shockwave therapy alone for subacromial impingement syndrome? a randomized clinical trial. *J Orthop Sports Phys Ther* 2016;46(9):714-725. doi: 10.2519/jospt.2016.4629.
- Sarkar B, Das PG, Equebal A, Mitra PK, Kumar R, Anwer S. Efficacy of low-energy extracorporeal shockwave therapy and a supervised clinical exercise protocol for the treatment of chronic lateral epicondylitis: a randomised controlled study. *Hong Kong Physiother J* 2013;31(1):19-24. doi: 10.1016/j.hkpj.2012.12.003.
- Sauerbruch T, Delius M, Paumgartner G, Holl J, Wess O, Weber W, Hepp W, Brendel W. Fragmentation of gallstones by extracorporeal shock waves. *N Engl J Med* 1986;314(13):818-822. doi:10.1056/NEJM198603273141304.

- Sauerbruch T, Holl J, Sackmann M, Werner R, Wotzka R, Paumgartner G. Disintegration of a pancreatic duct stone with extracorporeal shock waves in a patient with chronic pancreatitis. *Endoscopy* 1987;19(5):207-208. doi:10.1055/s-2007-1018284.
- Sauerbruch T, Stern M. Fragmentation of bile duct stones by extracorporeal shock waves. A new approach to biliary calculi after failure of routine endoscopic measures. *Gastroenterology* 1989;96(1):146-152. doi:10.1016/0016-5085(89)90775-0.
- Saxena A, Fournier M, Gerdesmeyer L, Gollwitzer H. Comparison between extracorporeal shockwave therapy, placebo ESWT and endoscopic plantar fasciotomy for the treatment of chronic plantar heel pain in the athlete. *Muscles Ligaments Tendons J* 2013;2(4):312-316.
- Schaden W, Haffner N, Mittermayr R., Wirkungsmechanismus der extrakorporalen Stoßwellentherapie, JATROS 2015 auf <https://ch.universimed.com/>.
- Schmitt J, Haake M, Tosch A, Hildebrand R, Deike B, Griss P. Low-energy extracorporeal shock-wave treatment (ESWT) for tendinitis of the supraspinatus. A prospective, randomised study. *J Bone Joint Surg Br* 2001;83(6):873-876. doi: 10.1302/0301-620x.83b6.11591.
- Schmitt J, Tosch A, Hünerkopf M, Haake M. Die extrakorporale Stosswellentherapie (ESWT) als therapeutische Option beim Supraspinatussehnenensyndrom? Ein-Jahres-Ergebnisse einer placebokontrollierten Studie [Extracorporeal shockwave therapy (ESWT) as therapeutic option in supraspinatus tendon syndrome? One year results of a placebo controlled study] *Orthopäde* 2002;31(7):652-657. German. doi: 10.1007/s00132-002-0325-x.
- Schmitz C, DePace R. Pain relief by extracorporeal shockwave therapy: an update on the current understanding. *Urol Res* 2009;37(4):231-234. doi:10.1007/s00240-009-0190-8.
- Schmitz C, Császár NB, Rompe JD, Chaves H, Furia JP. Treatment of chronic plantar fasciopathy with extracorporeal shock waves (review). *J Orthop Surg Res* 2013;8:31. doi:10.1186/1749-799X-8-31.
- Schmitz C, Császár NB, Milz S, Schieker M, Maffulli N, Rompe JD, Furia JP. Efficacy and safety of extracorporeal shock wave therapy for orthopedic conditions: a systematic review on studies listed in the PEDro database. *Br Med Bull* 2015;116(1):115-138. doi:10.1093/bmb/ldv047.
- Schmitz C. Improving extracorporeal shock wave therapy with 904 or 905 nm pulsed, high power laser pretreatment. *medicine & pharmacology*; 2021. doi:10.20944/preprints202101.0138.v1
- Schöberl M, Prantl L, Loose O, Zellner J, Angele P, Zeman F, Spreitzer M, Nerlich M, Krutsch W. Non-surgical treatment of pubic overload and groin pain in amateur football players: a prospective double-blinded randomised controlled study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2017;25(6):1958-1966. doi: 10.1007/s00167-017-4423-z.

- Schofer MD, Hinrichs F, Peterlein CD, Arendt M, Schmitt J. High- versus low-energy extracorporeal shock wave therapy of rotator cuff tendinopathy: a prospective, randomised, controlled study. *Acta Orthop Belg* 2009;75(4):452-458.
- Seil R, Rupp S, Hammer DS, Ensslin S, Gebhardt T, Kohn D. Extrakorporale Stosswellentherapie bei der Tendionosis calcarea der Rotatorenmanschette: Vergleich verschiedener Behandlungsprotokolle [Extracorporeal shockwave therapy in tendionosis calcarea of the rotator cuff: comparison of different treatment protocols]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 1999;137(4):310-315. German.
- Shah JP, Danoff JV, Desai MJ, Parikh S, Nakamura LY, Phillips TM, Gerber LH. Biochemicals associated with pain and inflammation are elevated in sites near to and remote from active myofascial trigger points. *Arch Phys Med Rehabil* 2008;89(1):16-23. doi: 10.1016/j.apmr.2007.10.018.
- Shaheen AAM. Comparison of three different treatment protocols of low-energy radial extracorporeal shock wave therapy for management of chronic plantar fasciitis. *Ind J Physiother Occupat Ther* 2010;4(1):8-12.
- Spacca G, Necozone S, Cacchio A. Radial shock wave therapy for lateral epicondylitis: a prospective randomised controlled single-blind study. *Eura Medicophys* 2005;41(1):17-25.
- Speed CA, Nichols D, Richards C, Humphreys H, Wies JT, Burnet S, Hazleman BL. Extracorporeal shock wave therapy for lateral epicondylitis--a double blind randomised controlled trial. *J Orthop Res* 2002a;20(5):895-898. doi: 10.1016/S0736-0266(02)00013-X.
- Speed CA, Richards C, Nichols D, Burnet S, Wies JT, Humphreys H, Hazleman BL. Extracorporeal shock-wave therapy for tendonitis of the rotator cuff. A double-blind, randomised, controlled trial. *J Bone Joint Surg Br* 2002b;84(4):509-512. doi: 10.1302/0301-620x.84b4.12318.
- Speed CA, Nichols D, Wies J, Humphreys H, Richards C, Burnet S, Hazleman BL. Extracorporeal shock wave therapy for plantar fasciitis. A double blind randomised controlled trial. *J Orthop Res* 2003;21(5):937-940. doi: 10.1016/S0736-0266(03)00048-2.
- Speed C. A systematic review of shockwave therapies in soft tissue conditions: focusing on the evidence. *Br J Sports Med* 2014;48(21):1538-1542. doi: 10.1136/bjsports-2012-091961.
- Staples MP, Forbes A, Ptasznik R, Gordon J, Buchbinder R. A randomized controlled trial of extracorporeal shock wave therapy for lateral epicondylitis (tennis elbow). *J Rheumatol* 2008;35(10):2038-2046.
- Sternecker K, Geist J, Beggel S, Dietz-Laursonn K, de la Fuente M, Frank HG, Furia JP, Milz S, Schmitz C. Exposure of zebra mussels to extracorporeal shock waves demonstrates formation of new mineralized tissue inside and outside the focus zone. *Biol Open* 2018;7(7):bio033258. doi: 10.1242/bio.033258.

- Taheri P, Vahdatpour B, Andalib S. Comparative study of shock wave therapy and Laser therapy effect in elimination of symptoms among patients with myofascial pain syndrome in upper trapezius. *Adv Biomed Res* 2016;5:138. doi: 10.4103/2277-9175.187398.
- Taheri P, Emadi M, Poorghasemian J. Comparison the effect of extra corporeal shockwave therapy with low dosage versus high dosage in treatment of the patients with lateral epicondylitis. *Adv Biomed Res* 2017;6:61. doi: 10.4103/2277-9175.207148.
- Takahashi N, Wada Y, Ohtori S, Saisu T, Moriya H. Application of shock waves to rat skin decreases calcitonin gene-related peptide immunoreactivity in dorsal root ganglion neurons. *Auton Neurosci* 2003;107(2):81-84. doi:10.1016/S1566-0702(03)00134-6
- Takla MKN, Rezk SSR. Clinical effectiveness of multi-wavelength photobiomodulation therapy as an adjunct to extracorporeal shock wave therapy in the management of plantar fasciitis: a randomized controlled trial. *Lasers Med Sci* 2019;34(3):583-593. doi: 10.1007/s10103-018-2632-4.
- Taunton JE, Taunton KM, Khan KM. Treatment of patellar tendinopathy with extracorporeal shock wave therapy. *BC Med J* 2003;45(10):500-507.
- Theodore GH, Buch M, Amendola A, Bachmann C, Fleming LL, Zingas C. Extracorporeal shock wave therapy for the treatment of plantar fasciitis. *Foot Ankle Int* 2004;25(5):290-297. doi: 10.1177/107110070402500503.
- Thijs KM, Zwerver J, Backx FJ, Steeneken V, Rayer S, Groenenboom P, Moen MH. Effectiveness of shockwave treatment combined with eccentric training for patellar tendinopathy: a double-blinded randomized study. *Clin J Sport Med* 2017;27(2):89-96. doi: 10.1097/JSM.0000000000000332.
- Tornese D, Mattei E, Lucchesi G, Bandi M, Ricci G, Melegati G. Comparison of two extracorporeal shock wave therapy techniques for the treatment of painful subcalcaneal spur. A randomized controlled study. *Clin Rehabil* 2008;22(9):780-787. doi: 10.1177/0269215508092819.
- Tornese D, Mattei E, Bandi M, Zerbi A, Quaglia A, Melegati G. Arm position during extracorporeal shock wave therapy for calcifying tendinitis of the shoulder: a randomized study. *Clin Rehabil* 2011;25(8):731-739. doi: 10.1177/0269215510396740.
- Uchio Y, Ochi M, Ryoke K, Sakai Y, Ito Y, Kuwata S. Expression of neuropeptides and cytokines at the extensor carpi radialis brevis muscle origin. *J Shoulder Elbow Surg.* 2002 Nov-Dec;11(6):570-5. doi: 10.1067/mse.2002.126769.
- Ueberle F: Einsatz von Stoßwellen in der Medizin. In: Kramme R (Hrsg). *Medizintechnik* (1st ed). Berlin, Springer; 2007, P. 483-513.
- Uğurlar M, Sönmez MM, Uğurlar ÖY, Adıyeke L, Yıldırım H, Eren OT. Effectiveness of four different treatment modalities in the treatment of chronic plantar fasciitis during a 36-month

- follow-up period: a randomized controlled trial. *J Foot Ankle Surg* 2018;57(5):913-918. doi: 10.1053/j.jfas.2018.03.017.
- Ulusoy A, Cerrahoglu L, Orguc S. Magnetic resonance imaging and clinical outcomes of laser therapy, ultrasound therapy, and extracorporeal shock wave therapy for treatment of plantar fasciitis: a randomized controlled trial. *J Foot Ankle Surg* 2017;56(4):762-767. doi: 10.1053/j.jfas.2017.02.013.
- Uysal A, Yildizgoren MT, Guler H, Turhanoglu AD. Effects of radial extracorporeal shock wave therapy on clinical variables and isokinetic performance in patients with knee osteoarthritis: a prospective, randomized, single-blind and controlled trial. *Int Orthop* 2020;44(7):1311-1319. doi: 10.1007/s00264-020-04541-w.
- Vahdatpour B, Sajadieh S, Bateni V, Karami M, Sajjadieh H. Extracorporeal shock wave therapy in patients with plantar fasciitis. A randomized, placebo-controlled trial with ultrasonographic and subjective outcome assessments. *J Res Med Sci* 2012;17(9):834-838.
- Vahdatpour B, Taheri P, Zade AZ, Moradian S. Efficacy of extracorporeal shockwave therapy in frozen shoulder. *Int J Prev Med* 2014;5(7):875-881.
- Vahdatpour B, Forouzan H, Momeni F, Ahmadi M, Taheri P. Effectiveness of extracorporeal shockwave therapy for chronic Achilles tendinopathy: A randomized clinical trial. *J Res Med Sci* 2018;23:37. doi: 10.4103/jrms.JRMS_413_16.
- Verhagen AP, de Vet HC, de Bie RA, Kessels AG, Boers M, Bouter LM, Knipschild PG. The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomized clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. *J Clin Epidemiol* 1998;51(12):1235-1241. doi: 10.1016/s0895-4356(98)00131-0
- Walewicz K, Taradaj J, Rajfur K, Ptaszkowski K, Kuszewski MT, Sopol M, Dymarek R. The effectiveness of radial extracorporeal shock wave therapy in patients with chronic low back pain: a prospective, randomized, single-blinded pilot study. *Clin Interv Aging* 2019;14:1859-1869. doi: 10.2147/CIA.S224001.
- Walewicz K, Taradaj J, Dobrzyński M, Sopol M, Kowal M, Ptaszkowski K, Dymarek R. Effect of radial extracorporeal shock wave therapy on pain intensity, functional efficiency, and postural control parameters in patients with chronic low back pain: a randomized clinical trial. *J Clin Med* 2020;9(2):568. doi: 10.3390/jcm9020568.
- Wang CJ. An overview of shock wave therapy in musculoskeletal disorders. *Chang Gung Med J* 2003;26(4):220-232.
- Wang CJ, Wang FS, Huang CC, Yang KD, Weng LH, Huang HY. Treatment for osteonecrosis of the femoral head: comparison of extracorporeal shock waves with core decompression and bone-grafting. *J Bone Joint Surg Am* 2005;87(11):2380-2387. doi: 10.2106/JBJS.E.00174.

- Wang CJ, Wang FS, Yang KD, Weng LH, Ko JY. Long-term results of extracorporeal shockwave treatment for plantar fasciitis. *Am J Sports Med* 2006;34(4):592-596. doi: 10.1177/0363546505281811.
- Wang CJ, Ko JY, Chan YS, Weng LH, Hsu SL. Extracorporeal shockwave for chronic patellar tendinopathy. *Am J Sports Med* 2007a;35(6):972-978. doi: 10.1177/0363546506298109.
- Wang CJ, Liu HC, Fu TH. The effects of extracorporeal shockwave on acute high-energy long bone fractures of the lower extremity. *Arch Orthop Trauma Surg* 2007b;127(2):137-142. doi: 10.1007/s00402-006-0236-0.
- Weckström K, Söderström J. Radial extracorporeal shockwave therapy compared with manual therapy in runners with iliotibial band syndrome. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2016;29(1):161-170. doi: 10.3233/BMR-150612.
- Wess O. Physikalische Grundlagen der extrakorporalen Stoßwellentherapie. *Journal für Mineralstoffwechsel*. 2004;11(4):7-18.
- Wu YT, Ke MJ, Chou YC, Chang CY, Lin CY, Li TY, Shih FM, Chen LC. Effect of radial shock wave therapy for carpal tunnel syndrome: A prospective randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *J Orthop Res* 2016;34(6):977-984. doi: 10.1002/jor.23113.
- Yang TH, Huang YC, Lau YC, Wang LY. Efficacy of radial extracorporeal shock wave therapy on lateral epicondylitis, and changes in the common extensor tendon stiffness with pretherapy and posttherapy in real-time sonoelastography: a randomized controlled study. *Am J Phys Med Rehabil* 2017;96(2):93-100. doi: 10.1097/PHM.0000000000000547.
- Yinilmez Sanmak ÖD, Geler Külcü D, Mesci N, Altunok EÇ. Comparison of effects of low-level laser therapy and extracorporeal shock wave therapy in plantar fasciitis treatment: A randomized, prospective, single-blind clinical study. *Turk J Phys Med Rehabil* 2019;65(2):184-190. doi: 10.5606/tftrd.2019.3528.
- Yucel I, Ozturan KE, Demiraran Y, Degirmenci E, Kaynak G. Comparison of high-dose extracorporeal shockwave therapy and intralesional corticosteroid injection in the treatment of plantar fasciitis. *J Am Podiatr Med Assoc* 2010;100(2):105-110. doi: 10.7547/1000105.
- Zhang M, Fan CX, Zhu PY, Qin H, Wang Y. Clinical efficacy evaluation of body acupuncture and scalp acupuncture combined with extracorporeal shock wave for scapulothoracic periarthritis. *W J Acupunct Moxibust* 2019;29:108-112. doi: 10.1016/j.wjam.2019.06.005.
- Zhang YF, Liu Y, Chou SW, Weng H. Dose-related effects of radial extracorporeal shock wave therapy for knee osteoarthritis: A randomized controlled trial. *J Rehabil Med* 2021;53(1):jrm00144. doi: 10.2340/16501977-2782.
- Zhong Z, Liu B, Liu G, Chen J, Li Y, Chen J, Liu X, Hu Y. A randomized controlled trial on the effects of low-dose extracorporeal shockwave therapy in patients with knee osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil* 2019;100(9):1695-1702. doi: 10.1016/j.apmr.2019.04.020.

Zwerver J, Hartgens F, Verhagen E, van der Worp H, van den Akker-Scheek I, Diercks RL. No effect of extracorporeal shockwave therapy on patellar tendinopathy in jumping athletes during the competitive season: a randomized clinical trial. *Am J Sports Med* 2011;39(6):1191-1199. doi: 10.1177/0363546510395492.

9 Danksagung

Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Dr. Christoph Schmitz (Inhaber des Lehrstuhls Anatomie II an der Medizinischen Fakultät der LMU München) für die Überlassung des Themas, die vielen Anregungen und die Unterstützung beim Verfassen der Dissertation.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinem Mann, der mich während der gesamten Zeit ermutigt und unterstützt hat!

Eidesstattliche Versicherung

Isabelle Gabriele Braun

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel

Meta-Analyse der in der PEDro Datenbank gelisteten randomisierten, kontrollierten Studien zur extrakorporalen Stoßwellenbehandlung am Stütz- und Bewegungsapparat

selbständig verfasst, mich außer den angegebenen keiner, weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, also solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Dachau, den 30.12.2021

Isabelle Braun