

Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie  
der Technischen Universität  
Klinikum rechts der Isar  
(Lehrstuhl: Univ.-Prof. Dr. R. Gradinger)

**Die Behandlung des plantaren Fersenschmerzes  
mit radialer extrakorporaler Stoßwellentherapie  
- eine prospektive Studie -**

Mark Henne

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin  
der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades  
eines Doktors der Medizin  
genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:	Univ.-Prof. Dr. D. Neumeier
Prüfer der Dissertation:	1. Priv.-Doz. Dr. L. J. Gerdesmeyer 2. Univ.-Prof. Dr. R. Gradinger

Die Dissertation wurde am 16.01.2006 bei der Technischen Universität München  
eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 19.07.2006 angenommen.

---

Inhaltsverzeichnis .....	2
Abkürzungen .....	4
Einleitung .....	5
Fragestellung .....	6
1. Plantarer Fersenschmerz.....	7
1.1 Anatomie und Funktion .....	7
1.2 Ätiologie und Pathogenese .....	9
1.3 Klinik und Diagnose.....	10
1.4 Therapiemöglichkeiten .....	11
1.4.1 Konservative Therapie .....	11
1.4.2 Operative Therapie .....	12
2. Grundlagen der Stosswellentherapie .....	13
2.1 Geschichte und Entwicklung der Stosswelle .....	13
2.2 Physikalische Grundlagen extrakorporaler Stosswellen .....	13
3. Radiale Stosswellentherapie bei Plantarfasziitis .....	18
3.1 Patienten .....	18
3.2 Material .....	19
3.3 Methode .....	21
3.4 Statistik .....	23
4. Ergebnisse .....	24
4.1 Demographische Daten .....	24
4.2 Vorbehandlung .....	26
4.3 Visuelle Analogskala (VAS) .....	27
4.3.1 Anlaufschmerz .....	27
4.3.2 Aktivitätsschmerz .....	28
4.4 Roles-and Maudsley-Score .....	29
4.5 Nebenwirkungen .....	30

---

5.	Diskussion .....	31
6.	Zusammenfassung .....	41
7.	Literaturverzeichnis .....	42
8.	Abbildungsverzeichnis .....	49
9.	Tabellenverzeichnis .....	50
10.	Lebenslauf .....	51
11.	Danksagung .....	53

---

## Abkürzungen

BMI	Body Mass Index (kg/m <sup>2</sup> )
dB	Dezibel
eNOS	endothelial Nitric Oxide Synthetase
EFD	Energieflussdichte (mJ/mm <sup>2</sup> )
ESWT	extrakorporale Stosswellentherapie
FDA	Food and Drug Administration (US-Kontrollbehörde für pharmazeutische und medizintechnische Produkte)
Gy	Grey
Lig.	Ligamentum
M.	Musculus
Mm.	Musculi
MPa	Mega-Pascal
N.	Nervus
NSAR	nichtsteroidale Antirheumatika
PCNA	Proliferating Cell Antinuclear Antigen
rESWT	radiale extrakorporale Stoßwellentherapie
SPSS	Statistical Package for Social Sciences (Programm für statistische Datenanalyse)
VAS	visuelle Analogskala
VEGF	Vascular Endothelial Growth Factor
WHO	World Health Organization

## Einleitung

Der plantare Fersenschmerz gehört mit einer Prävalenz von mehr als einer halben Million zu einem der häufigsten Erkrankungen im Fußbereich (14). Die Ursachen sind bis heute unklar. Fußdeformitäten, Übergewicht und zu hohe Belastungen werden als prädisponierende Faktoren bezeichnet.

Bezüglich Ursache und Therapie fand Stiell 1922 heraus, dass „die schmerzende Ferse“ aufgrund ihrer unexakten Diagnose nur schwer eine kausale Therapie zulässt (63). Zum gleichen Resultat kamen auch Lapidus und Guidotti (41). Während im angloamerikanischen Raum bis heute der Begriff „Painful heel“ gebraucht wird, verwendet man im deutschsprachigen Raum den Begriff „Fersensporn“, ohne dass dieser zwingend radiologisch nachweisbar sein muss.

Die extrakorporale Stosswellentherapie (ESWT) gilt seit gut 25 Jahren als Standardverfahren in der Urologie zur Zertrümmerung von Nierensteinen und wurde schließlich auch in der Orthopädie zur Behandlung am Bewegungsapparat verwendet. 1988 wurden extrakorporale Stosswellen erstmals orthopädisch zur Behandlung von Pseudarthrosen (68), später auch zur Behandlung der Tendinitis calcarea der Schulter angewendet (19). Nachdem man anfangs Pseudarthrosen und Verkalkungen von Sehnenansätzen therapierte, wurde die ESWT schließlich zur Behandlung von chronischen Insertionstendopathien indiziert (54,30,28).

Mittlerweile gilt die extrakorporale Stosswellentherapie als ein etabliertes Verfahren. In den bislang erschienen Publikationen wurden fast ausschließlich sogenannte focussierte ESWT-Systeme untersucht. Über den Einsatz der radialen unfocussierten ESWT gibt es bislang nur einzelne Erfahrungsberichte.

## **Fragestellung**

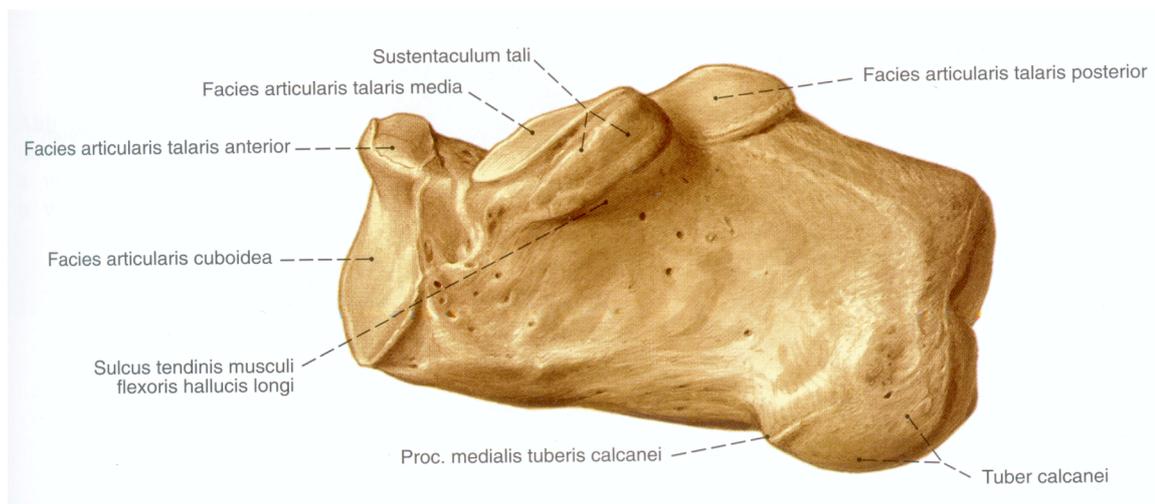
Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den klinischen Effekt der radialen extrakorporalen Stosswellentherapie zur Behandlung des chronischen plantaren Fersenschmerzes zu untersuchen.

Die Indikation zur extrakorporalen Stosswellentherapie wurde bei chronischen Krankheitsverläufen gestellt, wenn diese unbeeinflusst durch konservative Maßnahmen blieben.

## 1. Plantarer Fersenschmerz

### 1.1 Anatomie und Funktion

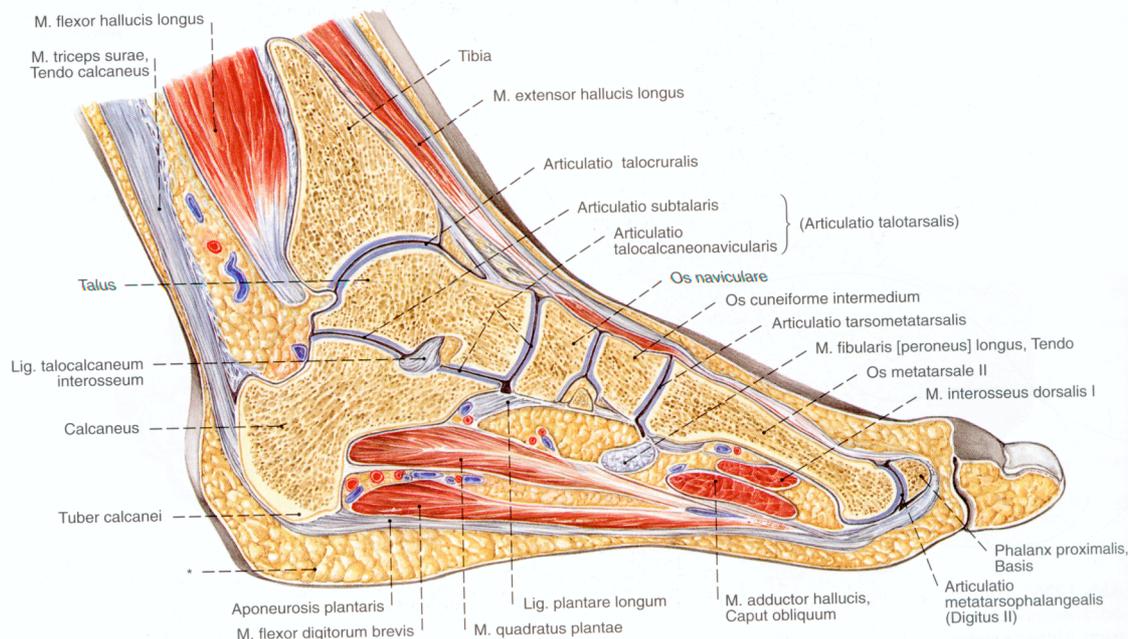
An der Unterseite des Calcaneus befinden sich zwei Knochenhöcker, Processus medialis und lateralis calcanei. Die beiden Knochenvorsprünge dienen als Ursprung für einen Teil der kurzen Fußmuskeln und des plantaren Bandapparates. Bei ca. 20% der Bevölkerung trifft man am Processus medialis auf eine knöcherne Ausziehung, einem sogenannten plantaren Fersensporn. Dieser entsteht durch Knochenbildung im Insertionsbereich der Sehnen der Mm. flexor digitorum brevis und abductor hallucis sowie der Plantaraponeurose (66) (Abb. 1).



**Abbildung 1**

**Fersenbein, Calcaneus; von medial (Sobotta, Abb. 1214, U&S)**

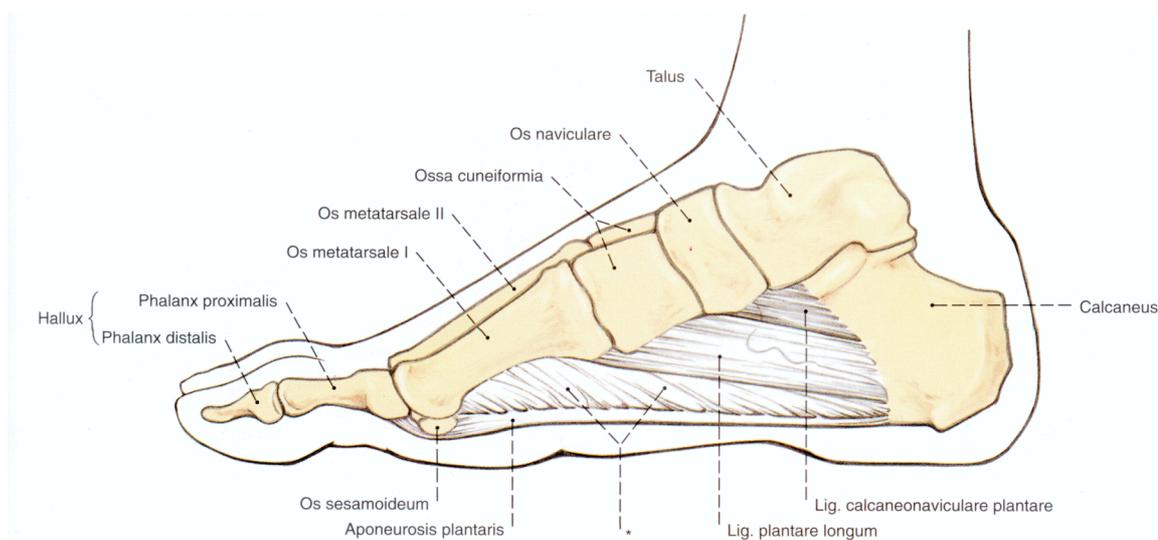
Hicks beschrieb das Prinzip des „Windmechanismus“ (31). Durch den konstanten Zug, der auf die Plantarfaszie durch das Umschlingen der Metatarsaleköpfchen (Winde) wirkt, kommt es zu einer Aufrichtung des Längsgewölbes, einer Inversion des Rückfußes und eine Außenrotation des Fußes. Natürlich hängt dieser Mechanismus ganz von der knöchernen und ligamentären Stabilität ab (Abb. 2).



**Abbildung 2**

**Fuß sagital (Sobotta, Abb. 1228, U&S)**

Die Erhaltung der Längs- und Quervölbung bewirkt ein ligamentäres plantares System. Die wichtigsten Bestandteile dieses ligamentären plantaren Verspannungssystems sind Plantaraponeurose, Lig. plantare longum und Lig. calcaneonaviculare plantare und folgt dem Prinzip der Zuggurtung (67) (Abb. 3).



**Abbildung 3**

**Plantare Bandstrukturen (Sobotta, Abb. 1218, U&S)**

## 1.2 Ätiologie und Pathogenese

Der Fersenschmerz hat eine Prävalenz zwischen 40 und 70 Jahren (41). Die Geschlechtsverteilung ist uneinheitlich (41,24,3). Sehr häufig wurde zusätzlich ein Übergewicht der Patienten festgestellt, welches als ursächlicher Faktor diskutiert wird (32,22). In vielen Studien werden die Fersenschmerz-Patienten in zwei Gruppen (sport- und freizeit-/berufsinduziert) eingeteilt (7).

Unter dem Begriff „Fasciitis plantaris“ werden lokal inflammatorische Prozesse an der Insertionszone am Processus mediale des Calcaneus subsummiert. Die plantare Fasciitis wird als überbelastungsbedingte primäre Ansatzendopathie angesehen (45). Woolnough sprach in diesem Zusammenhang auch von einem „Tennis heel“ (75). Häufig liegen beim Fersenschmerz prädisponierende anatomische Bedingungen vor. Zu diesen werden Knick-, Senk- oder Hohlfüße oder eine Bandinsuffizienz mit Hypermobilität der Fußwurzel gezählt (24). Dabei kommt es durch repetitive Überlastungen des Fußlängsgewölbes mit Zug auf die Plantarfaszie zu chronischen Entzündungsreaktionen mit Mikroläsionen (21).

Histopathologisch wurden erstmals 1987 durch Leach et al. Auflockerungen der kollagenen Fasern, fibrinoide Verquellungen, fibrotische Verdickungen, fettige Degeneration, Narbengewebe, Nekrosen, angiofibroblastische Hyperplasie, chondroide Metaplasie und Matrixverkalkungen im Faszien-Sehnen-Ansatzbereich festgestellt (42).

Einige Autoren beschreiben ein Nervenengpasssyndrom als Ursache des Fersenschmerzes. Baxter und Thiegnen vermuten zwei Formen des Nervenengpasses, an denen der N. plantaris lateralis komprimiert und verletzt werden kann: Zum einen an der scharfen Kante der Faszie des M. abductor hallucis, zum anderen am medialen Rand des Calcaneus zwischen M. flexor brevis und der Plantarfaszie. Schmerzursächlich soll hier die Muskelhypertrophie der kleinen Fußmuskeln sein. Bei Dorsalextension der Zehen bzw. Zehenstand verschlimmerten sich die Beschwerden, bei Flexion kam es zur Schmerzminderung (7).

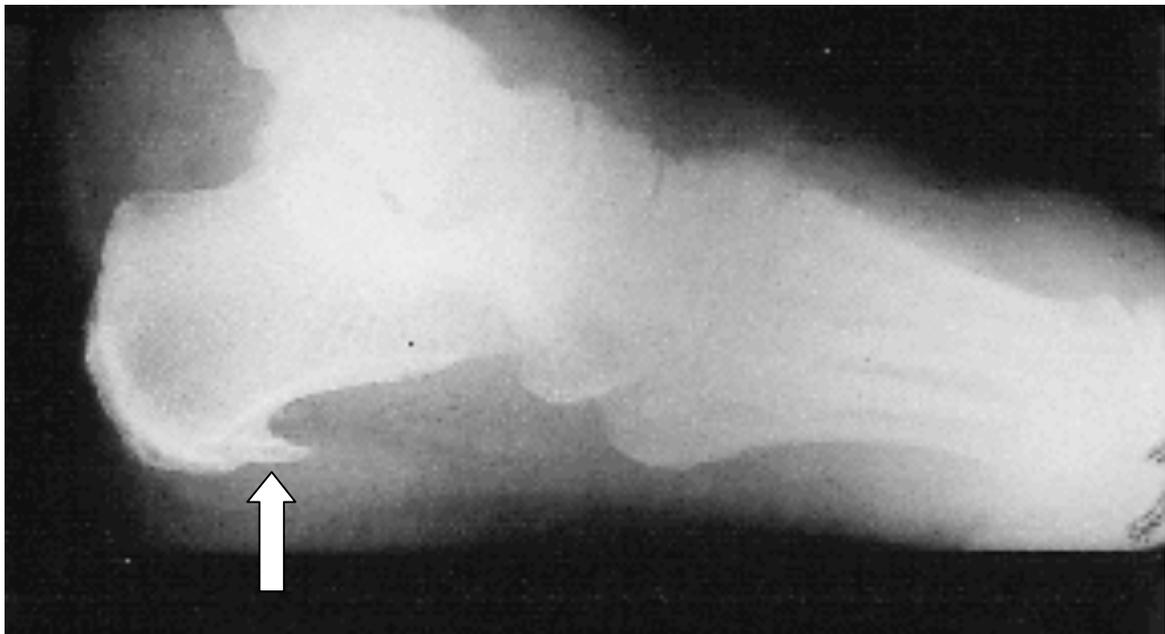
Des Weiteren wurde auch eine Atrophie des subcalcanealen Fettpolsters oder Risse der subkutanen fibrösen Septen mit Verlust der physiologischen Elastizität diskutiert (50). Szintigraphische Untersuchungen ließen den Verdacht zu, dass eine lokale Periostitis die Ursache des Fersenschmerzes sein könnte (35).

Bei immer der gleichen Topographie schwankt die Länge des Fersensporns zwischen 2 und 15 mm (53). Bis heute ist ein Zusammenhang zwischen Fersensporn und dem klinischen Bild des plantaren Fersenschmerzes nicht bewiesen. In einzelnen Arbeiten konnte eine Prävalenz von 8 bis 16 % bei klinisch unauffälligen Patienten festgestellt werden (65,61).

### 1.3 Klinik und Diagnose

Klinisch imponiert der medial an der Ferse sitzende Belastungsschmerz mit Verstärkung beim Barfußgehen. Palpatorisch lässt sich typischerweise ein Druckschmerz über dem Tuberculum mediale auslösen (53). Der Patient klagt über einen morgendlichen Anlaufschmerz, der sich durch Alltagsaktivitäten wie Beruf oder Sport verschlechtern kann (48).

In welchem Ausmaß der knöcherne Fersensporn selbst für die klinische Symptomatik verantwortlich ist, bleibt umstritten (27,33). Günstige Verläufe der Beschwerdesymptomatik mit und ohne Therapie sind häufig. Eine spontane Rückbildung des Fersensporns tritt nicht ein (24).



**Abbildung 4**

**Röntgen Fuß seitlich: Plantarer Fersensporn**

Radiologisch zeigt sich ein Fersensporn (Abb. 4) bei ca. 50 % aller Patienten mit plantarem Fersenschmerz (65,62,6). Tanz fand 1963 auf 100 Röntgenbildern, die bei Patienten mit akuten Verletzungen ohne plantaren Fersenschmerz angefertigt wurden, 16 Fersensporne (65). Shmokler fand bei 1000 randomisiert ausgewählten Patienten eine Inzidenz von 13,2 % an Fersenspornen, wovon lediglich 5,2 % jemals klinisch auffällig waren (61).

Die Fasciitis plantaris kann auch mit Magnetresonanztomographie und Ultraschall dargestellt werden. Dabei erkennt man eine Verdickung der Plantarfaszie, häufig mit Weichteilödem in und um die Faszie, oft mit einem begleitenden sekundären Knochenödem im Calcaneus, unmittelbar im Bereich der Ansatzzone (8). Lin et al. berichten 1995 über eine diagnostische Sensitivität von 94% bei Technetium-Methylen-Diphosphonat in der Knochenszintigraphie (43).

Differentialdiagnostisch sollten bei beidseitigem plantarem Fersenschmerz stets die rheumatoide Arthritis, die Spondylitis ankylosans, das Reiter-Syndrom, diabetische Angiopathien und HIV-Infektionen ausgeschlossen werden (53).

## **1.4 Therapiemöglichkeiten**

### **1.4.1 Konservative Therapie**

Bei akuter Symptomatik erfolgt eine Einlagenversorgung mit Weichbettung und Korrektur des abgeflachten Fußgewölbes, Fersenkappen aus Silikon, Nachtlagerungsschienen, Dehnungsübungen, Ultraschall, Eisbehandlung oder orale nichtsteroidale Antirheumatika (NSAR). Dabei wird meistens kaum auf die Ursache eingegangen, sondern die Symptomatik behandelt. Insgesamt kann die Behandlungszeit bis zu einem Jahr dauern.

Sollte der plantare Fersenschmerz persistieren und chronisch werden, sinken die Chancen der konservativen Therapie, so dass lokale Cortisontherapie, Röntgenbestrahlung oder die ESWT indiziert sind.

### **1.4.2 Operative Therapie**

Die operative Therapie ist nur in wenigen konservativ frustran therapierten Patienten indiziert. Bezüglich des OP-Zeitpunktes empfehlen Schepsis et al. eine Wartezeit von einem Jahr (59).

Die operativen Verfahren sind sehr vielfältig. Zur Anwendung kommen eine Exzision des Fersenspornes, ein Release der Plantarfaszie, Rotationsosteotomie, Calcaneus-Keilosteotomie, Anbohren des Calcaneus und Neurolyse oder Neurektomie (1).

## **2. Grundlagen der Stoßwellentherapie**

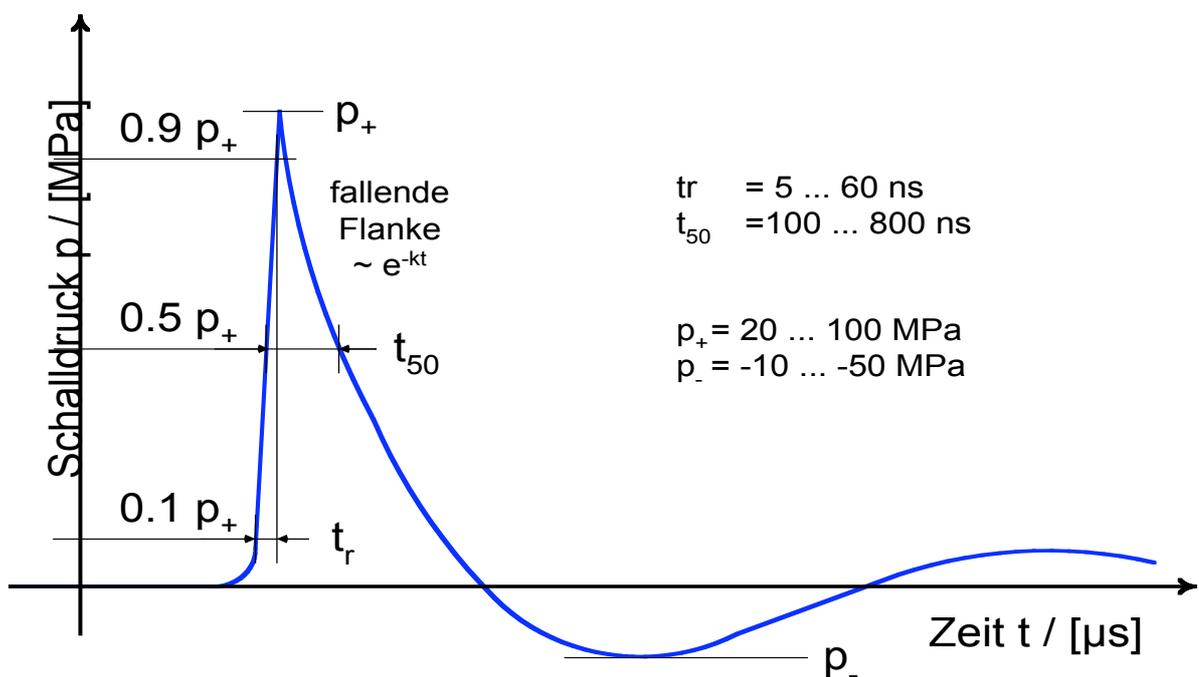
### **2.1 Geschichte und Entwicklung der Stoßwelle**

Erstmals wurde die Wirkung von hohen Druckwellen auf Gewebe im 2. Weltkrieg beobachtet, als die Lungen bei Schiffbrüchigen nach Einwirkung von weit entfernten Explosionen zum Teil letale Läsionen aufwiesen. Mitte der 70iger Jahre lagen die ersten Ergebnisse über die erfolgreiche experimentelle Anwendung von Stoßwellen zur Zertrümmerung von Nierensteinen vor (17). 1980 fand die erste erfolgreiche klinische Nierensteinzertrümmerung statt (17). Später erfolgten Behandlungen von Gallen-, Pankreas- und Speichelsteinen (57,58,36).

1987 berichteten Karpmann et al. über orthopädische In-vitro-Versuche. Sie versuchten mit Stoßwellen Knochenzement bei Hüftprothesenwechseloperationen zu zerstören (38). 1988 veröffentlichten Valchanou et al. ihre Arbeit über die ESWT von 42 Patienten mit verzögerter Knochenbruchheilung und Pseudarthrose an Hand und Unterarm (68). Dahmen (1992) und Loew (1993) berichteten erstmalig über die Behandlung von Tendinosis calcarea an der Schulter (19,44). Nebenbefundlich wurde eine ausgeprägte und anhaltende Analgesie der behandelnden Region festgestellt. Dieses war die Rationale, Stoßwellen zur Schmerztherapie bei Epicondylitis und anderen chronischen Insertionstendopathien wie Plantarfasciitis, Achillodynie oder Patellaspitzensyndrom einzusetzen. Trotz des fehlenden sicheren Wirkungsnachweises durch placebokontrollierte, prospektive Studien überstieg die Zahl der Anwendungen auf orthopädischem Gebiet, mit geschätzten 60.000 – 100.000 Patienten pro Jahr, die Zahl der Anwendungen zur Lithotripsie in der Urologie.

## 2.2 Physikalische Grundlagen extrakorporaler Stoßwellen

Bei Stoßwellen handelt es sich um transiente Druckschwankungen, die sich dreidimensional ausbreiten. Typische Charakteristika im Vergleich zur gängigen Sinuswelle sind ein rascher Druckanstieg innerhalb weniger Nanosekunden mit einem Druckmaximum zwischen 5 und 120 MPa und einer negativen Zugphase, die etwa 10 bis 20% des positiven Druckmaximums erreicht. Abhängig von der Stoßwellenquelle und der verwendeten Geräteeinstellung variiert die Stoßwelle in Amplitude und Pulsbreite (44) (Abb. 5).



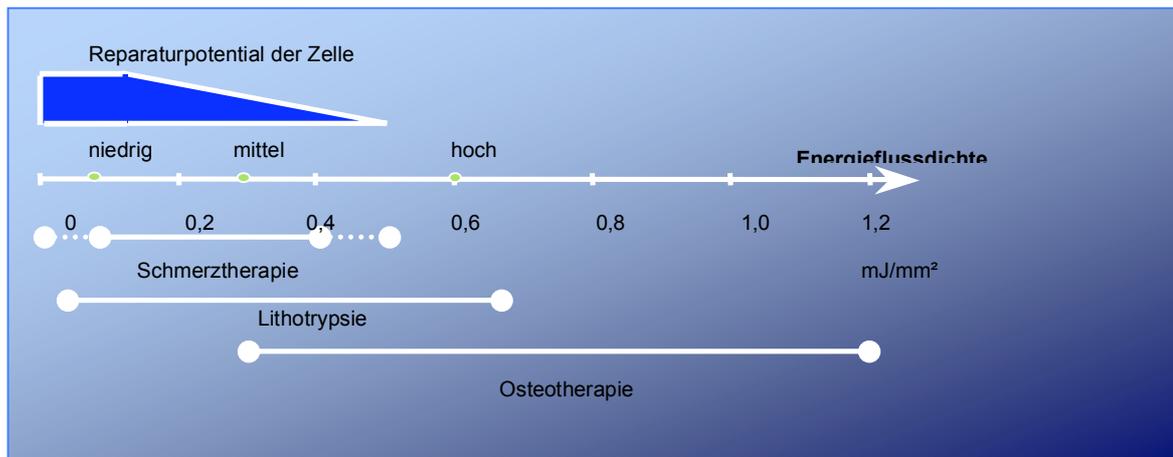
**Abbildung 5** Zeit-Druck-Profil einer Stoßwelle

Bei der sogenannten fokussierten extrakorporalen Stoßwellentherapie werden die Druckwellen in einem Bereich gebündelt. Dieser Stoßwellenfokus wird als Raumbereich definiert, innerhalb dessen ein Druck von mindestens 50% von  $P_+$  erreicht wird (sogenannter „-6 dB Fokus“). Die äußere Begrenzung dieses Raumes wird durch die sogenannte „-6 dB Isobare“ gebildet. Daneben kann auch die sogenannte „5 MPa Isobare“ bestimmt werden. Der entsprechende Stoßwellenfokus wird als „5MPa Fokus“ bezeichnet (23).

Neben dem Fokus werden verschiedene akustische Parameter definiert. Diese sind: Gesamtenergieflussdichte (ED), positive Energieflussdichte (ED+),

maximaler Spitzendruck ( $P_{max}$ ). Die Energieflussdichte wird zur Festlegung der verschiedenen Bereiche benutzt und wird in  $\text{mJ}/\text{mm}^2$  angegeben (23).

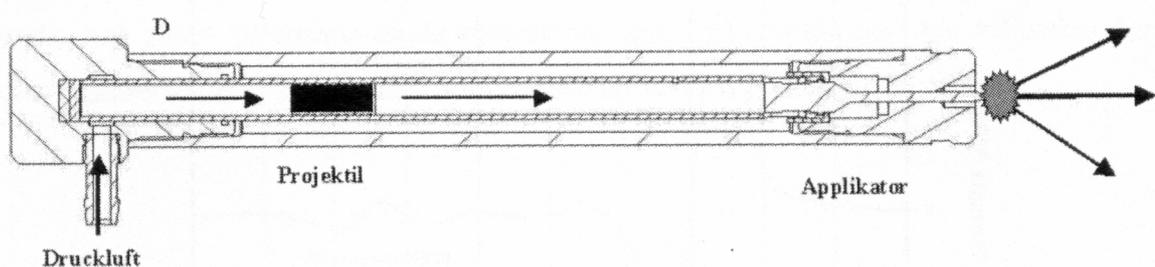
Nach Rompe werden Energiebereiche in „niederenergetisch“ bis zu einer Energieflussdichte von  $0,08 \text{ mJ}/\text{mm}^2$ , in „mittelenergetisch“ bis zu  $0,28 \text{ mJ}/\text{mm}^2$  und darüber als „hochenergetisch“ eingeteilt (55)(Abb. 6).



**Abbildung 6 Energieflussdichte (EFD) und Wirkung (nach Rompe)**

Zur Erzeugung von extrakorporalen Stosswellen im orthopädischen Anwendungsbereich gibt es verschiedene Verfahren. Diese werden in elektrohydraulisch, elektromagnetisch, piezoelektrisch und ballistisch unterschieden.

Das in dieser Arbeit verwendete Gerät beruht auf dem ballistischen Erzeugungsprinzip. Bei diesem Verfahren beschleunigt komprimierte Luft ein Projektil, vergleichbar einer Pistolenkugel, auf maximale Geschwindigkeit. Das Projektil trifft am Ende des Handstücks auf einen Applikator, über den der Energieimpuls in das Gewebe fortgeleitet (23)(Abb. 7).



**Abbildung 7**

**Schematische Darstellung einer ballistischen Stosswellenquelle**

Unterschiedliche Gewebe mit verschiedenen akustischen Impedanzen (Tab. 1) führen zu einer Beeinflussung der Stosswelle im Sinne einer Verlagerung, Defokussierung und Abschwächung (23).

<b>Medium</b>	<b>Schallgeschwindigkeit (m/s)</b>	<b>Impedanz <math>\times 10^3 \text{ Ns/m}^3</math></b>
Luft	343	429
Lunge	650-1160	260-460
Fett	1450	1380
Wasser	1483	1480
ZNS	1560	1600
Niere	1570	1630
Muskel	1545-1630	1650-1740
Knochen	2700-4100	3200-7400
Nierenstein	4000-6000	5600-14400
Stahl	5790	45700

**Tabelle 1**

**Physikalische Eigenschaften menschlicher Gewebe (nach Krause 1997)**

Die physikalischen Effekte von Stoßwellen lassen sich unabhängig von der Erzeugerquelle und den induzierbaren Effekten in eine direkte oder indirekte Wirkung einteilen. Durch Impedanzsprünge an Grenzflächen zweier Medien kommt es zur Umwandlung von akustischer in mechanische, thermische und chemische Energie. Während thermische und chemische Effekte eine untergeordnete Rolle spielen, hat die mechanische Energie eine Wirkung, die man zur Nierensteinzertrümmerung oder zur Behandlung der Tendinosis calcarea verwendet. Dabei ist die direkte mechanische Wirkung proportional zur Größe des Impedanzsprunges (23).

Die Induktion von Kavitation als indirekter Wirkungsmechanismus spielt in der extrakorporalen Stosswellentherapie eine weitere wichtige Rolle (43). Kavitation ist das Auftreten gasgefüllter Hohlräume in einem flüssigen Medium unter Einfluss negativer Druckgradienten. Durch den negativen Zugwellenanteil der Stosswelle kommt es zur Absenkung des Druckes mit Aufreißen der Verbindung zwischen den Wassermolekülen und der Entstehung von Wasserdampf. Dieser sammelt sich kurzfristig in gasgefüllten Hohlräumen, sogenannten Kavitationsblasen. Diese können 0,3-2 mm groß werden. Kommt es zum Abklingen der Zugphase und Normalisierung der Druckverhältnisse kollabieren die Blasen (45). Durch einen

asymmetrischen Kollaps der Blasen kommt es zu einem sogenannten „Jet-stream“ und infolge dessen zu lokalen zerstörenden Effekten (23).

Als zusätzliche indirekte Wirkung der Stosswelle ist noch die Bildung von freien Radikalen zu nennen. In biologischem Gewebe kann diese Radikalbildung Veränderungen hervorrufen (53).

### 3. Radiale Stosswellentherapie bei plantarem Fersenschmerz

#### 3.1 Patienten

Im Zeitraum vom 01.07.2001 bis 01.03.2002 wurden insgesamt 79 Patienten mit therapieresistenten plantaren Fersenschmerzen in der orthopädischen Abteilung des Klinikum rechts der Isar mit der radialen extrakorporalen Stosswelle behandelt. Von den 79 Patienten hatten 16 einen beidseitigen plantaren Fersenschmerz. Sämtliche Patienten mussten therapieresistent gegenüber mindestens zwei konservativen Behandlungsmaßnahmen sein. Zu diesen zählten Einlagenversorgung, Gelkissen, Einnahme von NSAR, Injektionen von Kortikoiden, Physio- oder Elektrotherapie, Eisbehandlung, Akupunktur und Röntgentiefenbestrahlung.

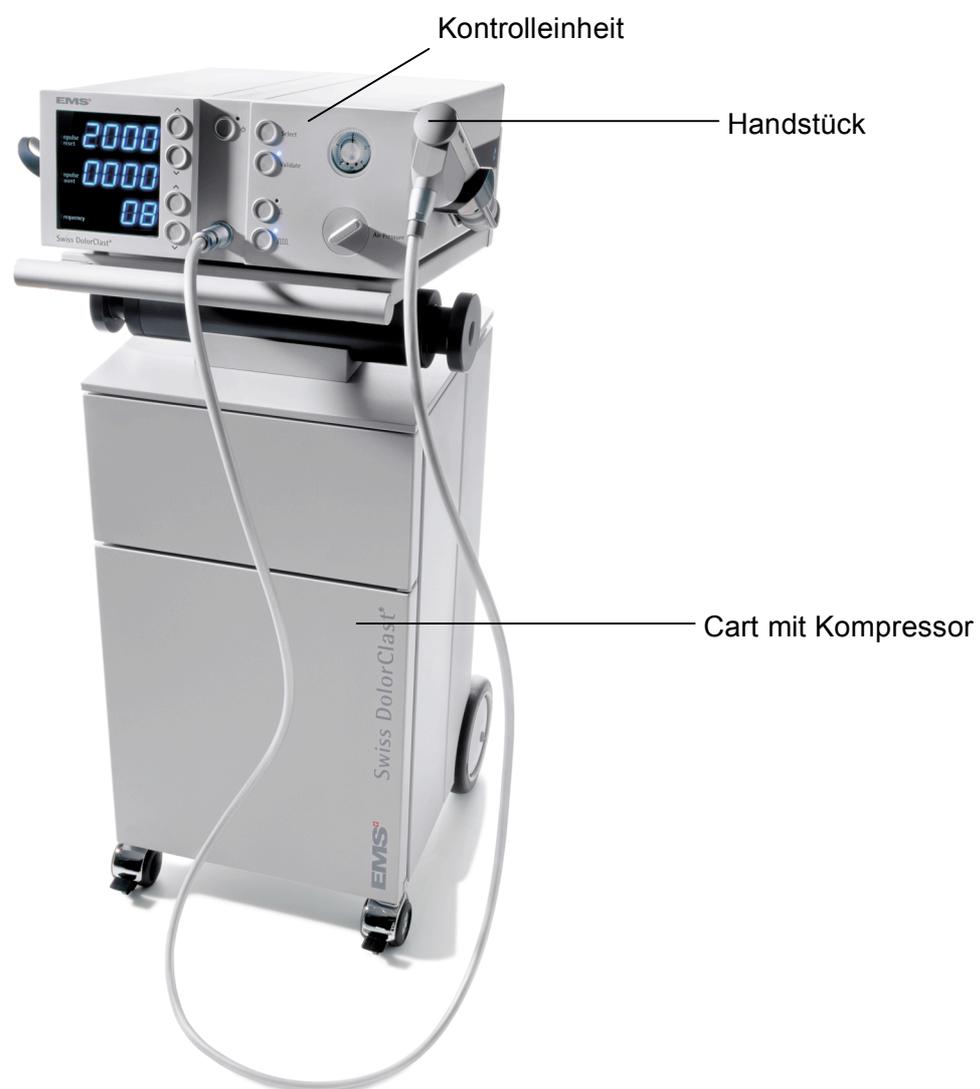
Die speziellen Ein- und Ausschlusskriterien sind in Tabelle 2 dargestellt.

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
<ul style="list-style-type: none"> <li>- ein klinisch nachgewiesener plantarer Fersenschmerz</li> <li>- eine erfolglose Behandlung mit mindestens zwei verschiedenen Therapieverfahren</li> <li>- mindestens 6 Monate Anamnese</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dysfunktionen im Sprunggelenk- und Fußbereich</li> <li>- lokale Arthrose/Arthritis; rheumatoide Arthritis</li> <li>- pathologische neurologische und/oder vaskuläre Befunde</li> <li>- Tarsaltunnelsyndrom</li> <li>- Alter unter 18 Jahren</li> <li>- Schwangerschaft</li> <li>- Gerinnungsstörungen</li> <li>- Infektionen</li> <li>- Tumorleiden</li> </ul>

**Tabelle 2 Ein- und Ausschlusskriterien für rESWT-Studie**

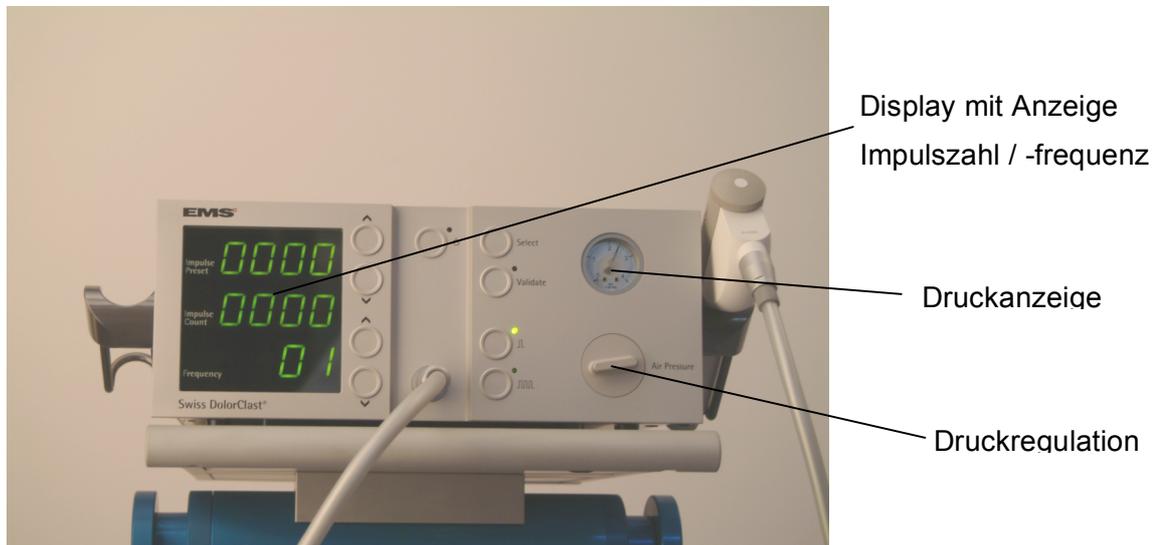
### 3.2 Material

Die radiale extrakorporale Stoßwellentherapie (rESWT) wurde mit dem Swiss Dolor Clast® der Firma EMS (EMS SA, Ch. de la Vuarpillière 31, CH-1260 Nyon, Schweiz, [www.ems-medical.ch](http://www.ems-medical.ch)) durchgeführt. Das unfocussierte Stoßwellengerät besteht aus folgenden Gerätekomponenten: Kontrolleinheit, Handstück, einem Fußpedal und dem Kompressor (Abb. 8). Alternativ zu einem Kompressor kann in einer Klinik auch externe Druckluft verwendet werden.



**Abbildung 8 EMS Swiss Dolor Clast®**

Über die Kontrolleinheit lassen sich die gewünschte Anzahl der Stosswellen, die Schussfrequenz und der zu verabreichende Applikationsdruck mühelos vor, bzw. sogar während der Therapie einstellen (Abb. 9).



**Abbildung 9 Kontrolleinheit EMS Swiss Dolor Clast®**

Das Swiss Dolor Clast®-Handstück (Abb. 10) ist ausgelegt für eine großflächige (kugelförmige) Energieabgabe. Durch den modularen Aufbau lässt sich das Handstück nach der Therapie ohne großen Aufwand reinigen und im Autoklaven sterilisieren. Das Handstück wird mit einem 6 und 15 mm Applikator geliefert. Zur großflächigen Behandlung wurde am Handstück ein 15 mm Applikator verwendet.



**Abbildung 10 Handstück EMS Swiss Dolor Clast®**

Eine kontrollierte Steuerung der zu applizierenden Stosswellen erfolgt mittels Fußpedal. Als Kontaktmedium wurde ein konventionelles Ultraschallgel verwendet (64).

### 3.3 Methode

Bei allen Patienten wurde vor der ersten Behandlung Gewicht und Körpergröße vermessen, um den mittleren Body Mass Index (BMI) zu bestimmen. Nach Prüfung der Ein- und Ausschlusskriterien wurde der Patient bauchwärts gelagert und die zu behandelnde Ferse auf einem Kissen gebettet. Anschließend wurde eine klinische Lokalisation des Druckschmerzmaximums durchgeführt (Abb. 11 a). Diese Methode wird auch als Biofeedback-Technik bezeichnet. Nach Markierung des zu behandelnden Areals (Abb. 11 b), wurde ein konventionelles Ultraschallgel auf die Haut aufgebracht (Abb. 11 c) und der Applikator des Handstücks senkrecht auf das markierte Areal aufgesetzt (Abb. 11 d). Um eine suffiziente Eindringtiefe zu erreichen, wurde mit dem Handstück ein entsprechender Anpressdruck ausgeübt, dass der bewegliche Applikator komprimiert wurde.

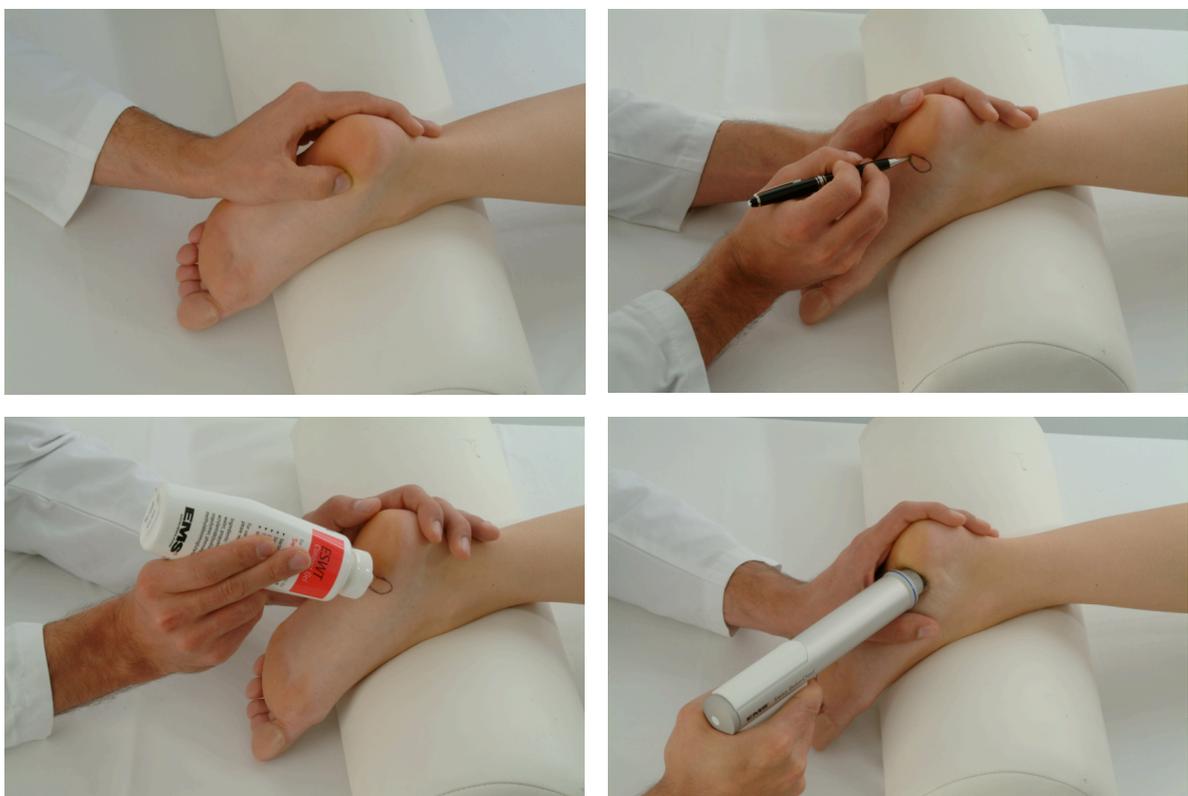


Abbildung 11a-d Applikation rESWT

Es wurden insgesamt drei Behandlungen durchgeführt. Dabei wurden 2000 Impulse mit einer Frequenz von 8 Hertz und einem Druck von 4 bar, was einer Energieflussdichte von 0,16 mJ/mm<sup>2</sup> entspricht, appliziert. Der Abstand zwischen den Behandlungen betrug 6 Wochen. Obwohl die Behandlung oft als schmerzhaft empfunden wurde, konnte auf eine Lokalanästhesie verzichtet werden. Aufgrund guter Schmerzakzeptanz von Seiten der Patienten war auch eine einschleichende Energie nicht nötig. Die Kontrolluntersuchungen erfolgten 6 Wochen, 3, 6 und 12 Monate nach der letzten rESWT.

Zielkriterien waren die visuelle Analogskala (VAS) und der Roles- and Maudsley-Score. Die Schmerzangaben der Patienten wurden mittels VAS erfasst, wobei 0 kein Schmerz, 10 maximaler Schmerz bedeutete (Tab. 3).

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

**Tabelle 3 Visuelle Analogskala (VAS)**

Wir untersuchten dabei zwei Kriterien: Den täglichen Anlaufschmerz zur Baseline und den Follow-ups, sowie den mittleren Schmerz bei alltäglichen Aktivitäten. Weiterhin verwendeten wir den Score nach Roles- and Maudsley (Tab. 4) zur subjektiven Bestimmung der Aktivität des Patienten (52).

Sehr gut	kein Schmerz, volle Beweglichkeit, volle Aktivität
Gut	gelegentliche Schmerzen, volle Beweglichkeit, volle Aktivität
Befriedigend	Schmerzen bei längerer Aktivität
Schlecht	Aktivitäten einschränkender Schmerz

**Tabelle 4 Roles- and Maudsley-Score**

### 3.4 Statistik

Die statistische Auswertung erfolgte mittels SPSS. Hier wurde für den Aktivitäts- und Anlaufschmerz (0 bis 10 anhand der VAS) sowie für den Roles- and Maudsley-Score der Wilcoxon-Rangsummentest für unverbundene Stichproben angewandt. Das Niveau einer statistisch signifikanten Veränderung wurde mit  $p < 0,05$  angegeben.

Zur Bestimmung des Therapieerfolges wurden die mittleren Differenzen zwischen den Baseline-Werten und den entsprechenden Kriterien zum Zeitpunkt 6 Wochen, 3 Monate, 6 Monate und 1 Jahr nach letzter rESWT ermittelt. Fehlende Werte wurden in der „last value carried forward“-Technik ersetzt. Dabei wurden bei Studienabbrechern alle bis dahin gesammelten Daten ausgewertet und der zuletzt erhobene Wert bis 1 Jahr nach der letzten Behandlung übernommen.

## 4. Ergebnisse

Es wurden 79 Patienten (94 Fersen) mit einer ESWT behandelt. Davon konnten 78 nachuntersucht werden. Zur Bestimmung des Outcomes wurden 6 Wochen, 3, 6 und 12 Monate nach Behandlung Untersuchungen durchgeführt.

### 4.1 Demographische Daten

Das durchschnittliche Alter der behandelten Patienten betrug  $56,4 \pm 0$  Jahre, die Geschlechterverteilung weiblich:männlich war 52:27. Der mittlere Body Mass Index (BMI) betrug  $27,1 \pm 4,57$  kg/m<sup>2</sup> und entspricht der Adipositas Grad 1 (74). Es wurden 46 rechte und 49 linke Fersen behandelt (Tab. 5).

<b>Geschlecht</b>	männlich	27 (34,2%)
	weiblich	52 (65,8 %)
<b>Seite</b>	rechts	46 (48,4 %)
	links	49 (51,6 %)
<b>Alter</b>	(Jahre)	56,4 (24-81)
<b>Beschwerdedauer</b>	(Monate)	21 (6-180)

**Tabelle 5 Demographische Daten des Patientenkollektivs**

Die durchschnittliche Beschwerdedauer wurde mit 21 (6 Monate bis 15 Jahre) Monaten angegeben. In der radiologischen Diagnostik zeigte sich bei 65/95 ein plantarer Fersensporn. Die durchschnittliche Länge konnte mit 3,7 (1-11) mm ermittelt werden. Nur selten bestand eine Arbeitsunfähigkeit bedingt durch plantaren Fersenschmerz.

6 von 41 Arbeitstätigen hatten einen durchschnittlichen Arbeitsausfall von 2,2 (1-4) Wochen, 24 Patienten waren Rentner und 14 nicht berufstätig (Tab 6).

Arbeitstätige	40
Rentner	24
Hausfrauen	12
Arbeitslose	1
Studenten	1

**Tabelle 6 Patienten**

Es wurden unterschiedliche Schmerzcharakteristika angegeben (Tab. 7).

Stechend	68
Dumpf	38
Ausstrahlend	38
Klopfen/Pochen	26
Brennend	25
Überwärmung	21
Elektrisierend	6
Ziehend	1

**Tabelle 7 Schmerzcharakter (Mehrfachnennung)**

## 4.2 Vorbehandlung

Alle Patienten hatten vor Behandlung mit der radialen extrakorporalen Stoßwellentherapie mindestens zwei erfolglose konservative Behandlungen und eine mindestens 6 monatige Beschwerdedauer.

Bezüglich der konservativen Therapie ergab sich eine sehr unterschiedliche Verteilung. Diese ist in Tabelle 8 dargestellt. Die überwiegende Anzahl der Patienten wurde mittels Einlagen (65,3% korrigierend, 33,7% Gelkissen), Injektionen (44,2%) und nichtsteroidalen Antiphlogistika (53,7%) behandelt (Tab. 8).

Einlagen	62	Physiotherapie	16
NSAR	51	Elektrotherapie	12
Injektionen	42	ESWT	7
Gelkissen	32	Akupunktur	3
Eis	24	Röntgentiefenbestrahlung	1

**Tabelle 8 Vorbehandlungen (Mehrfachnennung)**

5 Patienten mit 7 behandelten Fersen begannen im Anschluss an die Stoßwellentherapie wegen mangelnden Erfolges eine weitere Behandlung. 3 Fersen wurden mit Cortisoninjektionen, 3 mit Einlagen und eine mit Röntgentiefenbestrahlung therapiert. Dabei kam es bei allen Patienten zur Besserung. Aufgrund des Einflusses der Begleittherapie wurden diese Patienten aus der weiteren Analyse ausgeschlossen. Der letzte gültige Wert wurde nach dem Prinzip „last value carried forward“ übernommen.

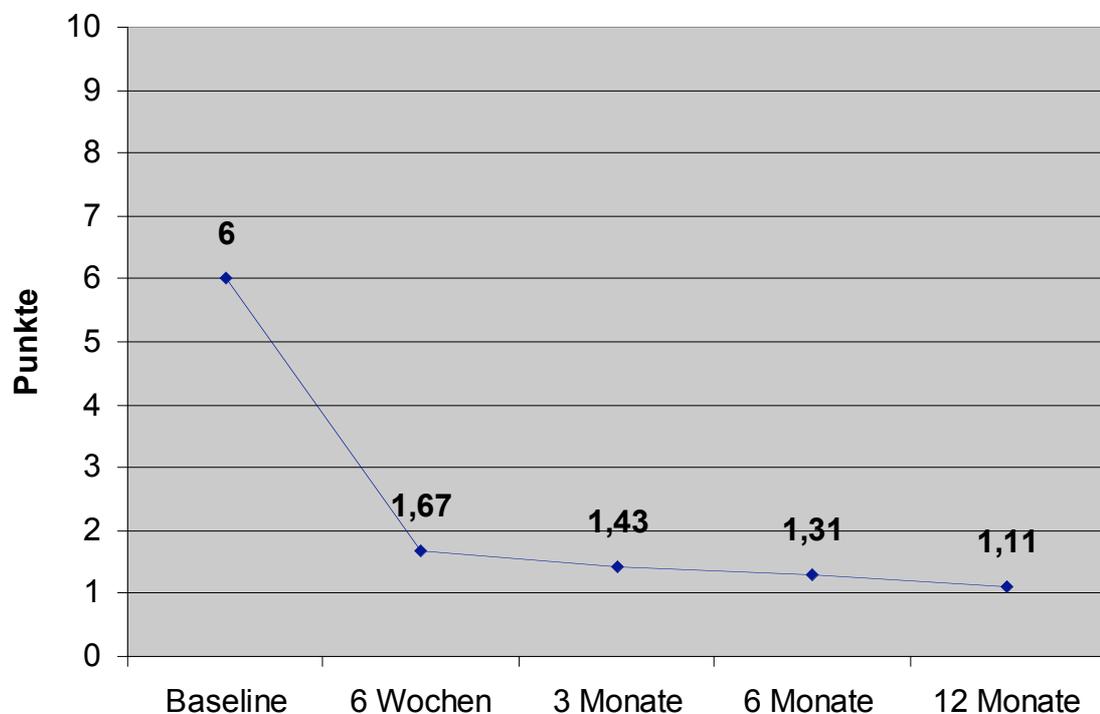
## 4.3 Visuelle analoge Skala (VAS)

### 4.3.1 Anlaufschmerz

Die Patienten gaben vor der ersten Behandlung mit der radialen extrakorporalen Stoßwelle einen durchschnittlichen Wert auf der VAS von  $6,0 \pm 3,0$  an. Nach dreimaliger Behandlung reduzierte sich der Anlaufschmerz bis zur 1. Nachuntersuchung (6 Wochen) auf  $1,67 \pm 2,46$ , nach 3 Monaten auf  $1,43 \pm 2,37$ , nach 6 Monaten auf  $1,31 \pm 2,27$  und nach 12 Monaten auf  $1,11 \pm 2,12$  (Tab. 9). Diese Veränderungen waren statistisch signifikant ( $p < 0,01$ ).

Baseline	6 Wochen	3 Monate	6 Monate	12 Monate
6	1,67	1,43	1,31	1,11

**Tabelle 9 VAS Anlaufschmerz**



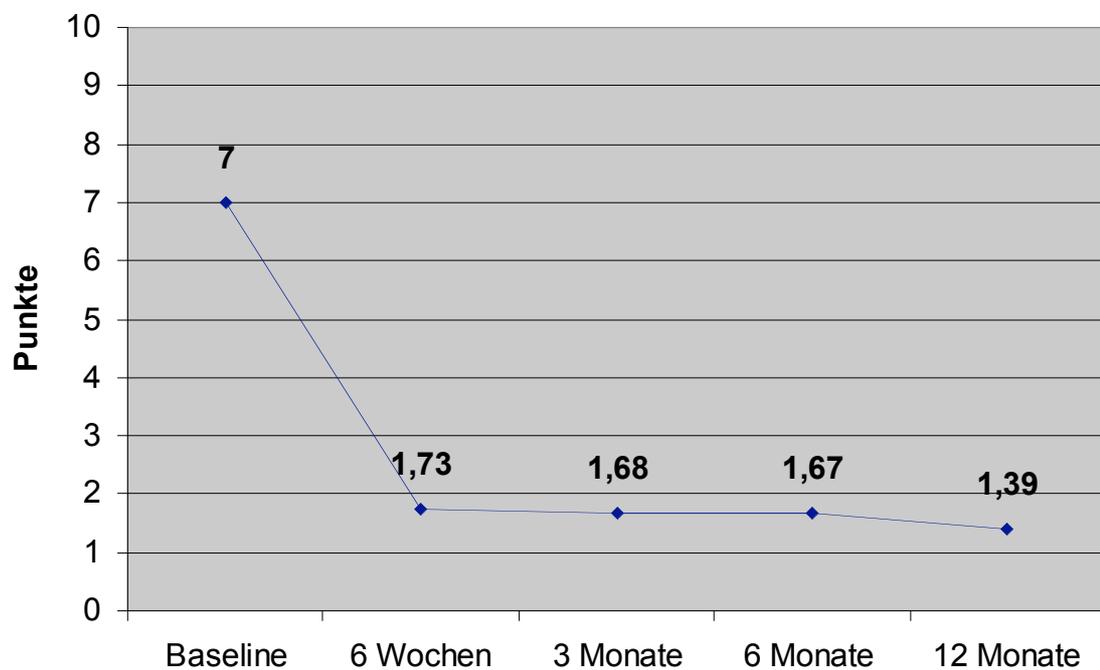
**Abbildung 12 VAS Anlaufschmerz**

### 4.3.2 Aktivitätsschmerz

Ähnlich wie beim Anlaufschmerz verhielten sich die Ergebnisse der subjektiven Schmerzangabe bei Aktivitäten im Laufe des Tages. Die Beschwerden verringerten sich bei den behandelnden Patienten von initial  $7,0 \pm 2,0$  zur Baseline auf einen Wert von  $1,73 \pm 2,42$  (nach 6 Wochen), nach 3 Monaten auf  $1,68 \pm 2,45$ , nach 6 Monaten auf  $1,67 \pm 2,54$  und nach 12 Monaten auf  $1,39 \pm 2,35$  (Tab. 10). Es konnte keine Verschlechterung des Ergebnisses im Laufe der Zeit festgestellt werden (Abb. 13). Die festgestellten Ergebnisse waren statistisch signifikant ( $p < 0,01$ ).

Baseline	6 Wochen	3 Monate	6 Monate	12 Monate
7	1,73	1,68	1,67	1,39

**Tabelle 10 VAS Schmerz bei Aktivität**



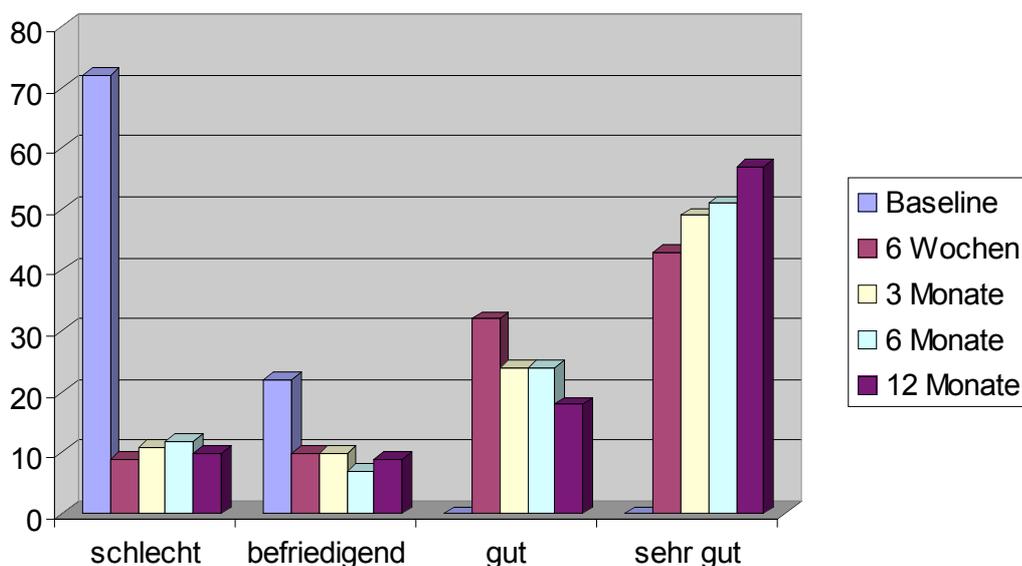
**Abbildung 13 VAS Schmerz bei Aktivität**

#### 4.4 Roles- and Maudsley-Score

Bei der subjektiven Einschätzung des Therapieerfolges mittels Roles- and Maudsley-Score konnte eine deutliche Verbesserung festgestellt werden (Tab. 12). Während zur Baseline 72 Fersen als schlecht (76,6%) und 22 nur als befriedigend (23,4%) bezeichnet wurden, kam es im weiteren Verlauf zu einer deutlichen Verbesserung. 6 Wochen nach der letzten Behandlung wurden 32 Fersen als gut (34,0%) und 43 als sehr gut (45,7%) eingestuft. Weitere 6 Wochen später gaben die Patienten 24 gute (25,5%) und 49 sehr gute (52,1%) Resultate an. Nach 6 Monaten waren weiterhin 24 gute (25,5%) und 51 sehr gute (54,3%) Ergebnisse festzustellen. Im 12 Monate Follow-up waren schließlich 57 Fersen sehr gut (60,6%), 18 gut (19,1%), 9 befriedigend (9,6%) und 10 schlecht (10,6%). Somit erreichten knapp 4/5 aller behandelten Fersen ein gutes oder sehr gutes Ergebnis (Tab. 12, Abb. 14).

	Baseline	6 Wochen	3 Monate	6 Monate	12 Monate
<b>sehr gut</b>	0	43 (45,7 %)	49 (52,1 %)	51 (54,3 %)	57 (60,6 %)
<b>gut</b>	0	32 (34,0 %)	24 (25,5 %)	24 (25,5 %)	18 (19,1 %)
<b>befriedigend</b>	22 (23,4 %)	10 (10,6 %)	10 (10,6 %)	7 (7,4 %)	9 (9,6 %)
<b>schlecht</b>	72 (76,6 %)	9 (9,6 %)	11 (11,7 %)	12 (12,8 %)	10 (10,6 %)

**Tabelle 12 Roles- and Maudsley-Score**



**Abbildung 14 Roles- and Maudsley-Score**

#### **4.5 Nebenwirkungen**

Neben dem einmaligen Auftreten starker Schmerzen und deutlicher aseptischer Entzündung der Ferse wurden keine Nebenwirkungen festgestellt. Lediglich bei 2 Patienten konnten petechiale Blutungen im Fersenbereich nach der Behandlung festgestellt werden, die jedoch bis zu nächsten Vorstellung zur weiteren Behandlung nach 2 Wochen komplett rückläufig waren. Darüber hinaus wurden keine weiteren Nebenwirkungen oder Effekte festgestellt.

## 5. Diskussion

Der Fersenschmerz im Sinne einer plantaren Fasciitis gehört zu einer der häufigsten Erkrankungen des Fußes und tritt hauptsächlich im höheren Alter auf. Die Prävalenz wird dabei mit 12,5% bis 15% angegeben (39).

Die Ätiologie dieser in der Regel benignen Erkrankung ist bis heute nicht exakt erforscht. Faktoren, die zur Plantarfasciitis beitragen können, sind der Platt- und Hohlfuß, Beinlängendifferenz, tarsale Koalition, Verkürzung der Achillessehne, Übergewicht bzw. plötzliche Gewichtszunahme und Trainingsfehler beim Sportler wie z.B. schnelle Zunahme der Laufdistanz, -geschwindigkeit und -dauer (12,11,76). In einer Studie konnte festgestellt werden, dass Faktoren wie reduzierte Dorsalextension im Sprunggelenk, Übergewicht mit einem BMI > 30 kg/m<sup>2</sup> und arbeitsverbundene Gewichtsbelastung der Ferse zu diesen Problemen führen können (51). So konnte auch in unserem Kollektiv im Mittel eine erstgradige Adipositas festgestellt werden.

Bei der plantaren Fasciitis wurden nur wenige konservative oder operative Verfahren im Rahmen multizentrischer, kontrollierter Studien hinsichtlich ihrer Wirksamkeit geprüft. Daher ist eine Beurteilung bezüglich klinischer Relevanz einzelner Verfahren schwierig (2). Crawford et al verglichen elf randomisierte Studien mit 465 Patienten und kamen zunächst zu der Erkenntnis, dass die Studiendesigns sehr inhomogen waren, so dass ein Pooling der Ergebnisse unmöglich und damit eine Metaanalyse nicht machbar war. Lediglich sieben Verfahren verglichen eine Behandlung mit Placebo oder keiner Therapie (wait-and-see). Dabei zeigte sich lediglich eine geringe Evidenz der Effektivität von lokalen Cortisoninjektionen im kurzfristigen Bereich, Nachtschienen oder niedrig energetischer Stosswellen (18).

Gudeman et al stellten in einer randomisierten, doppelverblindeten, placebokontrollierten Studie einen signifikanten Unterschied zwischen Iontophorese von 0,4%igem Dexamethason bei Plantarfasciitis und einer Placebo-Iontophorese. Alle Patienten erhielten zusätzlich andere traditionelle Modalitäten wie Einlagenversorgung, Eisbehandlung und Physiotherapie. Die Patienten wurden sechsmal innerhalb von 2 Wochen behandelt (25).

In einer weiteren prospektiv randomisierten Studie wurde die Effektivität von Nachtschienen untersucht. Dabei wurde eine zusätzliche Therapie mit Ibuprofen, Viscohel-Gelkissen und ein Stretchprogramm für Gastrocnemius- und Soleus-Muskulatur durchgeführt. Die Kontrollgruppe erhielt die gleiche konservative Therapie, jedoch ohne Nachtschiene. Nach einer durchschnittlichen Behandlungszeit von 12,5 Wochen zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen Verum- und Placebogruppe hinsichtlich der Nachtschienenbehandlung (5).

Porter stellte in einer prospektiven, randomisiert kontrollierten, Observer-verblindeten Studie einen signifikanten Unterschied zwischen intraläsionalen Cortisoninjektionen und niedrigenergetischer ESWT fest. 125 Patienten wurden in drei Gruppen aufgeteilt. Die Standardtherapie war ein regelmäßiges Stretching. Gruppe A erhielt eine einmalige Cortison-Injektion (40mg Triamcinolon), Gruppe B drei ESWT-Behandlungen (3x1500 Impulse, 0,09 mJ/mm<sup>2</sup>) innerhalb von 3 Wochen und Gruppe C lediglich Stretching. Sowohl in der VAS als auch die Schmerzangabe im Bereich der Plantarfaszie mittels eines Algometers zeigte sich 3 und 12 Monate nach der letzten Behandlung eine deutliche Verbesserung in Gruppe A gegenüber B und C (49).

Nur in einer Arbeit, bei der die Ineffektivität des Einsatzes des Lasers bei plantarer Fasciitis festgestellt wurde, erfolgte eine placebokontrollierte Untersuchung. Dabei wurden 32 Patienten nach Randomisierung dreimal wöchentlich über 4 Wochen mit einem Infrarot-Laser im Bereich des Tuberculum calcanei mediale behandelt. Nebenwirkungen traten nicht auf, aber es zeigte sich auch kein signifikanter Unterschied während und einen Monat nach der letzten Behandlung zwischen Placebo und Verum-Gruppe (4).

Die Strahlentherapie ist umstritten. Seegenschmidt et al. behandelten 3 Patientengruppen. Gruppe A (n=72) erhielt 12 Gy Gesamtdosis in drei Fraktionen pro Woche und in zwei Radiotherapie-Serien im Abstand von 6 Wochen. Gruppe B (n=98) erhielt entweder 3Gy in 10 Fraktionen a 0,3 Gy (n=50) oder 5 Gy (10x0,5 Gy). Die Erfolgsquote lag retrospektiv in allen Gruppen bei 70%, allerdings fehlte eine Kontrollgruppe (60).

Schepsis et al. führte bei 27 Patienten mit erfolgloser konservativer Behandlung einer Plantarfasciitis einen Release der Plantarfaszie durch. Dabei waren 24 der

27 Operationen erfolgreich, so dass die Patienten wieder alle tägliche Aktivitäten durchführen konnte. Die Nachbehandlung erfolgte bis ein Jahr nach der Operation. Die 3 erfolglos behandelten Patienten hatten eine Wundheilungsstörung mit Ausbildung eines hypertrophen Narbenkeloids, Absenkung des Längsgewölbes und damit Einschränkung der Gehstrecke bzw. eine postoperative schmerzhaft Einschränkung bei intensivem Marathonlaufen (59). Boyle berichtete über Ergebnisse bei endoskopischem Release der Plantarfaszie an 17 Füßen. Dabei waren alle Patienten mit dem Eingriff zufrieden und hatten eine Verbesserung der Gehstrecke. 82,4% berichteten über keine oder minimale Schmerzen (9). Auch Brekke hatte bei 54 Fasciotomien (endoskopisch, Minimalinzision und offen) sehr gute und gute Ergebnisse (10). Trotzdem sollte primär eine konservative Therapie dem operativen Eingriff wegen vermehrter Nebenwirkungen vorgezogen werden (1).

Mit der extrakorporalen Stosswellentherapie zur Nierensteinzertrümmerung wurde ein neues physikalisches Verfahren eingeführt (15,16). Damit war es möglich, Effekte im Körper zu erzielen, ohne dabei einen chirurgischen Eingriff vorzunehmen. Des weiteren wurde die ESWT auch zur Behandlung anderer intrakorporaler Konkreme wie Gallen-, Pankreas- oder Speicheldrüsensteine verwendet (57,58,37).

In der Orthopädie wurden erstmals 1986 Stosswellen mit dem Ziel, Heilungsprozesse zu stimulieren, eingesetzt. Dabei zeigten hochenergetische Stosswellen ausgeprägte physikalische Wirkungen an Modelsteinen und Knochengeweben, während niedrigenergetische Stosswellen am menschlichen Bindegewebe einen neurophysiologischen Effekt haben (45). Maier konnte nachweisen, dass sich zwar Prostaglandin E2 durch Stosswellenbehandlung nicht verändern lässt, aber die Substanz P nach 6 und 24 Stunden erhöht und 6 Wochen nach der Therapie signifikant erniedrigt ist (47). Wang et al. haben signifikante Änderungen von eNOS (endothelial Nitric Oxide Synthetase), VEGF (Vascular Endothelial Growth Factor) und PCNA (Proliferating Cell Antinuclear Antigen), von signal-regulated kinase (ERK) und p38-Kinase, sowie die Unterdrückung von COX-2 bzw. Prostaglandin E2 gefunden, was eine Verringerung der inflammatorischen Mediatoren bedeutet und die komplexe molekularbiologische Veränderung durch ESWT widerspiegelt (72,73). Außerdem konnte er nachweisen, dass offensichtlich eine Neovaskularisation entsteht, indem

er am Versuchsmodell frisch operierte Kreuzbänder mit ESWT behandelte und dadurch ein schnelleres Einheilen der Transplantate erreichte (70).

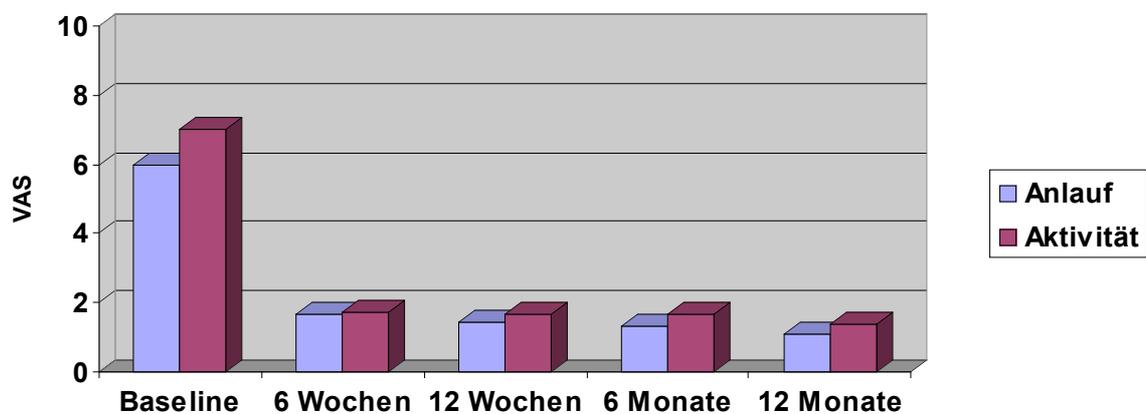
Ogden et al führte 2001 eine doppelverblindete, placebokontrollierte Multicenter-Studie mit 302 Patienten mit plantarem Fersensporen durch. Davon wurden 260 randomisiert und 42 nichtrandomisiert behandelt. Er verwendete dabei ein elektrohydraulisch betriebenes Stosswellengerät (Ossa Tron®). Einschlusskriterien waren Schmerzen länger als 6 Monate, klinisch erfolglose Therapie mit mindestens drei konservativen Therapiemöglichkeiten, klinischer Nachweis einer Plantarfasciitis und eine Einschätzung des Anlaufschmerzes auf der visuellen Analogskala von  $> 5$ . Das Durchschnittsalter im Studienkollektiv betrug 49,6 Jahre. 65,9% der Patienten waren weiblich. Die Beschwerdedauer wurde mit durchschnittlich 19 Monaten angegeben. Nach Randomisierung wurden alle Patienten mit 1500 Impulsen bei einer Spannung von 18 kV behandelt. Dabei wurde in der Placebogruppe ein Schaumstoffkissen zur Absorption zwischen Koppelmembran und Ferse platziert. Die vier Hauptzielkriterien waren lokaler Druckschmerz, gemessen auf dem Dolormeter (1.), morgendlicher Anlaufschmerz (2.), Aktivitätsschmerz im Laufe des Tages (3.) sowie die Veränderung der Schmerzmitteleinnahme (4.) nach 12 Wochen. Der klinisch relevante Erfolg wurde als eine mindestens 50%ige Schmerzreduktion, verglichen zur Baseline definiert. Sowohl in der randomisierten als auch nichtrandomisierten Verumgruppe zeigte sich eine signifikante Verbesserung der Hauptzielkriterien gegenüber der Placebogruppe (Tab.13).

Gruppe	Dolormeter		Anlaufschmerz		Aktivitätsschmerz		Schmerzmittel
randomisiert, Verum	7,68→3,13	62,2 %	8,02→3,48	59,7 %	3,49→1,72	50,7 %	69,74 %
randomisiert, Placebo	7,87→4,37	43,0 %	8,14→4,2	48,2 %	3,53→1,88	46,7 %	34,65 %
nichtrandomisiert, Verum	8,05→2,01	80,0 %	6,86→2,1	70,7 %	2,63→0,85	67,7 %	80,50 %

**Tabelle 13 Verlauf VAS (Ogden 2001)**

In der globalen Gesamtbewertung erfüllten 47,06% Patienten in der Verum-Gruppe die Hauptkriterien im Gegensatz zur Placebo-Gruppe (30,17%). Der Unterschied war mit  $p=0,008$  statistisch signifikant. 58,54% der nichtrandomisierten Patienten erfüllten alle vier Zielkriterien (48). Vergleichen wir die Ergebnisse der VAS unserer Studie mit den Ergebnissen von Ogden, fällt auf,

dass die Resultate für den Anlaufschmerz mit einer Verbesserung nach einem Follow-up von 12 Wochen mit 76,2% ähnlich bzw. etwas besser sind. Jedoch zeigt sich bei Gegenüberstellung der Werte des Aktivitätsschmerzes deutlich bessere Ergebnisse mit der radialen Stosswelle mit einer Besserung von 76,9%. Daraus könnte man schließen, dass die rESWT einen besseren Behandlungserfolg bezüglich der Schmerzen bei täglicher Aktivität hat. In unserer Untersuchung zeigte sich sowohl beim Anlauf- als auch Aktivitätsschmerz im Verlauf von einem Jahr nach der letzten Behandlung eine diskrete Verbesserung (Abb. 15).



**Abbildung 15 VAS für Anlauf- und Aktivitätsschmerz**

Auch Buch et al. konnten 2002 in einer doppelverblindeten (blinded observer) placebokontrollierten multizentrischen Studie einen signifikanten Wirksamkeitsnachweis bringen. 150 Patienten wurden nach Randomisierung und Infiltration mit 5ml 1% Scandicainlösung mit einem ultraschallnavigiertem EPOS ULTRA®-Gerät der Firma Dornier behandelt. In der Placebogruppe wurde durch Auflegen einer dünnen Luftkammer-Folie zwischen Ferse und Therapiekopf eine Stoßwellenapplikation verhindert. Alle Patienten erhielten nach einschleichender Steigerung von Energie und Frequenz eine einmalige Gabe von 3500 Impulsen mit einer Energiedichte von 0,36 mJ/mm<sup>2</sup> und einer Frequenz von 4 Hz. Hauptzielkriterium war der morgendliche Anlaufschmerz vor und 3 Monate nach Behandlung, Nebenzielkriterium war u.a. der Roles- and Maudsley-Score. In beiden Untersuchungen zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen Verum und Placebo (12).

In der Verumgruppe (n=73) reduzierte sich der Anlaufschmerz auf der VAS von 7,7 auf 3,4 im Vergleich zur Placebogruppe von 7,7 auf 3,9 nach 3 Monaten (Abb. 16).

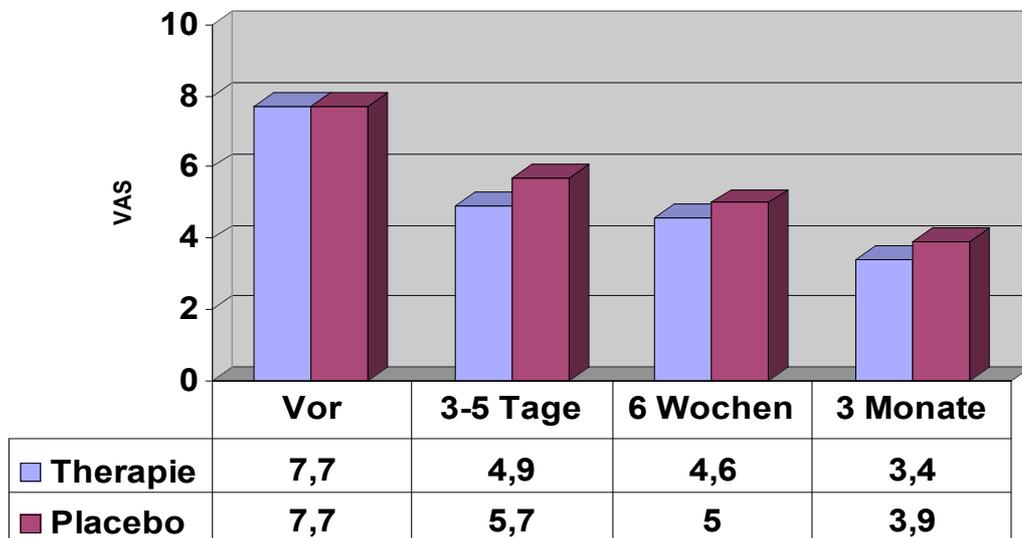


Abbildung 16 Visuelle Analogskala (Buch 2002)

Ähnlich der visuellen Analogskala verbesserte sich im Roles- and Maudsley-Score die Verum-Gruppe von 98,7% befriedigenden oder schlechten Werten in der Baseline auf 61,7% sehr gute und gute Ergebnisse nach 3 Monaten (Abb. 17).

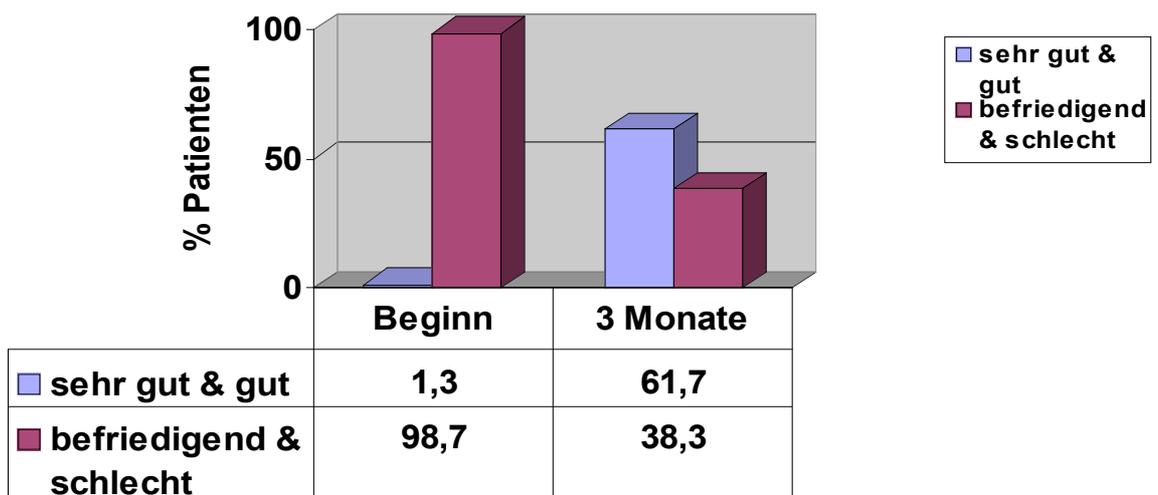


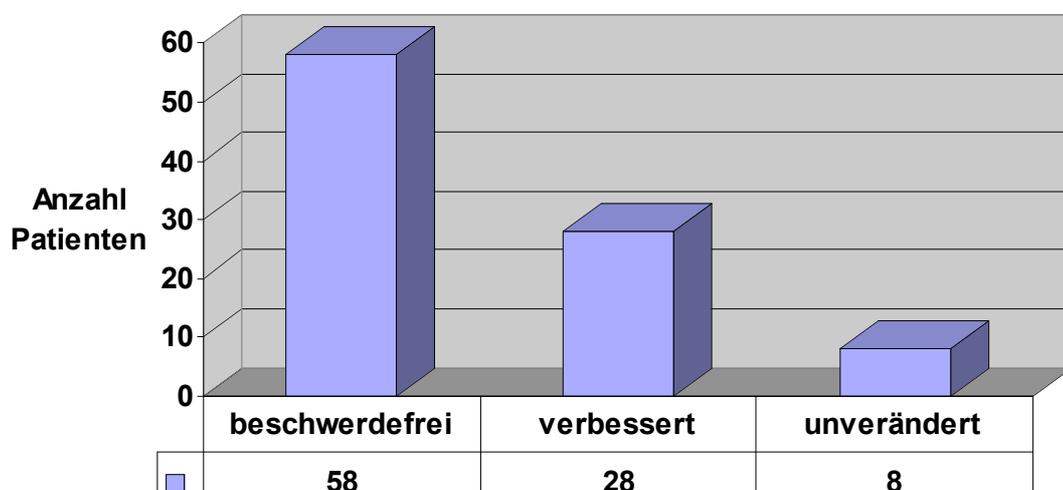
Abbildung 17 Roles- and Maudsley-Score (Buch 2002)

Die Ergebnisse im Roles- and Maudsley-Score entsprechen den Resultaten unserer Studie mit der radialen Stosswelle. Hier konnten wir nach 3 Monaten 77,6% sehr gute und gute Ergebnisse im Aktivitätsscore nachweisen. Im weiteren Verlauf bis zu einem Jahr kam es zu einer weiteren leichten Verbesserung (79,8%).

Bei Patienten, deren Schmerzanamnese bereits über ein Jahr andauerte, zeigte sich sogar noch ein größerer Erfolg. Daraus folgerten die Autoren, dass die ESWT bei längeren Verläufen möglicherweise effektiver ist (12). Dies bestätigte sich in unserer Studie mit der rESWT nicht. Patienten mit einer Beschwerdepersistenz länger als ein Jahr schnitten im Verlauf schlechter ab, als jene mit einer Beschwerdedauer zwischen 6 und 12 Monaten.

Buchbinder et al stellten jedoch in ihrer placebokontrollierten Studie 2002 die Wirksamkeit der extrakorporalen Stosswelle in Frage. 166 randomisierte Patienten wurden ebenfalls mit einem ultraschallgesteuerten Dornier MedTech EPOS®-Gerät dreimal in wöchentlichen Abständen behandelt. Patienten in der Verum-Gruppe erhielten 2000-2500 Impulse mit einer Frequenz von 3 Hertz und einer Energieflussdichte zwischen 0,02 und 0,33 mJ/mm<sup>2</sup>, abhängig von der Schmerztoleranz. Die Placebo-Gruppe wurde mit 100 Impulsen bei 1 Hertz und 0,02 mJ/mm<sup>2</sup> behandelt. Hauptkriterien waren allgemeiner, Anlauf- und Aktivitätsschmerz, die Gehzeit, der Maryland Foot Score, die Problem Elicitation Technique, der SF-36 Health Survey, Nebenwirkungen und Selbsteinschätzung bei einem Follow-up von 6 und 12 Wochen. Eine Verbesserung zeigte sich in beiden Gruppen mit 20% nach 6 Wochen und 25% nach 12 Wochen. Ähnlich verhielt es sich mit den restlichen Zielkriterien. Die Studie ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied im Grad der Verbesserung beider Gruppen. Aus diesen Ergebnissen folgerten die Autoren, dass sich keine Wirksamkeit für die ESWT unter den genannten Testbedingungen darstellen ließ (13). Jedoch zeigte die Arbeit methodische Schwächen. Die kalkulierte Gesamtdosis war bei jedem Patienten unterschiedlich, da bis zur individuellen Schmerzgrenze erhöht wurde. Ebenfalls erhielten Patienten der Placebogruppe wesentlich weniger Stossimpulse, weswegen eine Maskierung fraglich erscheint. Außerdem könnten die in der Placebogruppe verabreichten 6 mJ/mm<sup>2</sup> bereits eine therapeutische Wirkung mit sich gebracht haben. Des weiteren wurde eine relativ kurze Beschwerdeanamnese von mindestens 6 Wochen gewählt, so dass von einer

hohen Spontanheilungsrate ausgegangen werden muss (59). Aus diesem Grund wählten wir für unsere Studie nur Patienten mit einer Beschwerdedauer von mindestens 6 Monaten mit einer erfolglosen konservativen Therapie aus. 12 Monate nach der letzten Behandlung der Ferse waren 61,7% der Patienten beschwerdefrei, 29,8% gaben eine Verbesserung der Schmerzen mit größerer Aktivität an. Lediglich 8,5% der Patienten waren unverändert und hatten keinen Benefit von der Therapie. Eine Verschlechterung war nur bei einer Probandin mit Therapieabbruch nach der zweiten Behandlung bei vermehrten Schmerzen mit Schwellung festzustellen (Abb. 18)



**Abbildung 18 Subjektive Einschätzung des Patienten**

Auch Haake et al. stellten 2003 eine randomisierte placebokontrollierte Multicenter-Studie vor, in der ein Wirksamkeitsnachweis ebenso nicht gelang. 272 Patienten mit chronischer, therapieresistenter Plantarfasciitis wurden nach Randomisierung mit einem Dornier Epos Ultra Lithotripter behandelt. Nach lokaler Betäubung mit 2 ml Mepivacain erhielten alle Patienten 3 x 4000 Impulse in Zwei-Wochen-Abständen mit einer Energieflussdichte von 0,22 mJ/m<sup>2</sup>. Eine Polyethylen-Folie verhinderte die Stosswellenpenetration in der Placebo-Gruppe. Primäre Zielkriterien waren die Erfolgsrate nach 12 Wochen und der Roles- and Maudsley-Score 6, 12 Wochen und 1 Jahr nach letzter Therapie. Sekundäre Zielkriterien waren Ruhe-, Nacht-, Druck- und Anlaufschmerz sowie die Verbesserung der Gehstrecke. Auch hier zeigte sich trotz guter klinischer Ergebnisse kein signifikanter Unterschied zwischen Verum- und Placebo-Gruppe. Nach 12 Wochen betrug die Erfolgsrate 34% in der Verum- gegenüber 30% in der

Placebogruppe. Auch der Roles- and Maudsley-Score verbesserte sich zu exzellent / gut nach 6 Wochen auf 22%, nach 12 Wochen auf 46% und einem Jahr auf 81% in der Stosswellengruppe. Dies zeigte jedoch keinen signifikanten Unterschied zur Placebogruppe, die sich nach 6 Wochen auf 25%, nach 12 Wochen auf 40% und nach 1 Jahr auf 76% verbesserte. Ähnlich verhielt es sich mit den sekundären Zielkriterien (26). Die Verblindung der Patienten wurde durch Injektion von 2 ml Lokalanästhetikum gewährleistet. Klinische Studien zeigten aber auf, dass die Ergebnisse der Stosswellentherapie im mittel- und niederenergetischen Bereich mit Infiltration eines Lokalanästhetikums deutlich schlechter sind als ohne (40,56). Ursache dafür könnte eine falsche Focussierung des zu behandelnden Areals sein. Ob das infiltrierte Lokalanästhetikum den Effekt der Stosswelle negativ beeinflusst ist unklar (56). Aus diesem Grund führten wir in unserer Studie keine lokale Anästhesie durch, da eine optimale Ortung des schmerzhaftesten Punktes der Ferse mittels „biofeedback“-Methode notwendig war. Die Behandlung mit einer maximalen EFD von 0,16 mJ/mm<sup>2</sup> war für alle Probanden akzeptabel.

Seit ca. 5 Jahren ist nun der Swiss Dolor Clast® der Firma EMS medical mit der sogenannten radialen extrakorporalen Stosswelle (rESWT) auf dem Markt. Im Vergleich zu anderen Stosswellensystemen (elektromechanisch, elektrohydraulisch, piezoelektrisch) basiert die radiale Stosswelle auf dem Prinzip einer Kollisionsbeschleunigung ruhender Massen wie man es bei einem Kugelpendel beobachtet. Nach Beschleunigung des Projektils und dessen Auftreffen auf den Applikator am Ende des Handstückes, kommt es zum Fortleiten des Energieimpulses in das Gewebe. Dabei ist, im Vergleich zu den anderen Systemen, die Spitze des Applikators der Fokus, von dem sich die Druckwelle radiär in das Gewebe ausbreitet. Bei dieser Art von Stosswellenerzeugung erfolgt keine Fokussierung des Stosswellenfeldes im Gewebe. Wegen der radiären Ausbreitungsart nehmen Druck und Energiedichte, der nach dem ballistischen Prinzip erzeugten Stosswellen, mit der dritten Potenz der Eindringtiefe in das Gewebe ab (23).

Während der maximale Schalldruck am Applikator 11,9 MPa beträgt, ist nach einer Eindringtiefe von 5 mm in die z-Achse eine Abschwächung auf 7,4 MPa zu vermerken. Aus diesem Grund ist die rESWT eher bei oberflächlichen Enthesiopathien indiziert, da der Focus im Vergleich zu den focussierten Geräten

größer ist und die Stosswelle sich radial ausbreitet (23). Der Dämpfungseffekt ist auch für die focussierte ESWT gültig (23) und ist bei der Indikationsstellung zu berücksichtigen. Während klassische Erkrankungen wie die aseptische Pseudarthrose oder die Tendinitis calcarea an der Schulter aufgrund der höheren Eindringtiefe weniger geeignet erscheinen, sind oberflächennah gelegene Indikationen wie viele Insertionstendopathien mit der sich radiär ausbreitenden Stosswelle erreichbar (23). Dass die rESWT evtl. trotz der Dämpfung bei der Tendinitis calcarea eingesetzt werden konnte, hat die Arbeitsgruppe um Magosch gezeigt, die in einem unkontrollierten klinischen Versuch den Effekt der rESWT bei der Tendinitis calcarea untersuchten und über gute Ergebnisse berichteten (46).

Die maximale Energieflussdichte (EFD) beträgt bei einem Druck von 4 bar und der Verwendung eines Applikators mit einem Durchmesser von 15 mm (wie er in der vorliegenden Arbeit verwendet wurde)  $0,18 \text{ mJ/mm}^2$ . Der Fokusbereich (-6 dB) wird mit 8 mm angegeben. Während man lange Zeit davon ausgegangen ist, dass mit einer möglichst hohen Energieflussdichte der größte Effekt an Knochen- und Weichteilgewebe bewirkt werden kann (34), scheint es heute so, dass geringere Energien im niedrigen und mittleren Bereich bereits deutliche Effekte bewirken (47,69,71).

Die Nebenwirkungen der radialen extrakorporalen Stosswellentherapie entsprechen denen der fokussierten Stosswellentherapie mit vorübergehendem Schmerz, petechiale Blutungen oder subkutane Hämatome in bis zu 4% (29). Jedoch sind die lokalen Befunde bei der radialen Therapie deutlich geringer, was sowohl durch die niedrigere Energie im Vergleich zur hochenergetischen Stosswelle, als auch durch die geringere Eindringtiefe zu begründen ist.

Klinisch relevante Nebenwirkungen haben wir nach 6 Wochen nicht beobachten können. Lediglich zwei Patienten klagten nach der Behandlung über eine transitorische Schwellung. Eine Ruhigstellung wurde nicht durchgeführt. Alle Patienten waren sofort nach der rESWT wieder gefähig.

## 6. Zusammenfassung

Der symptomatische Fersensporn (Fasciitis plantaris) ist ein häufiges orthopädisches Krankheitsbild und zählt zu den primären Ansatzdysplasien (57). Die Diagnose wird in der Regel klinisch gestellt. Eine bildgebende Diagnostik stellt hier die Ausnahme dar. Konservative therapeutische Verfahren sind die primären Behandlungsoptionen. Die Operationsindikation bleibt Ausnahmefällen vorbehalten. Die rESWT stellt eine sinnvolle Alternative zur Operation dar und ist bei chronischen therapieresistenten Fällen indiziert. Die ESWT ist zur Therapie der Pseudarthrose, der Tendinosis calcarea, der Epicondylitis humeri radialis / ulnaris und des symptomatischen Fersensorns indiziert. Die Therapie der Ansatzdysplasien erfolgt unter der Hypothese eines schmerzmodulierenden Effekts mit dem Ziel einer restitutio ad integrum. Vaskulogenetische und schmerzmediatorbeeinflussende Wirkungen konnten ebenso nachgewiesen werden (47,72,73).

In einer prospektiven Studie an 94 Fersen mit chronischer Fasciitis plantaris wurde der klinische Effekt der rESWT untersucht. Die Therapie erfolgte mit 2000 Stosswellenimpulsen, einem Behandlungsdruck von 4 bar (entspricht  $0,16 \text{ mJ/mm}^2$ ) und einer Frequenz von 8 Hertz mit dem Swiss Dolor Clast® der Firma EMS medical. Dabei zeigte sich eine signifikante Besserung sowohl auf der visuellen Analogskala für den Anlauf- und Aktivitätsschmerz im Tagesverlauf als auch für den Roles- and Maudsley-Score, welcher das subjektive Schmerzempfinden beurteilt. Diese Ergebnisse waren auch im Verlauf eines Jahres stabil, so dass von einem bleibenden Effekt ausgegangen werden kann.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die radiale Stosswelle zur Therapie der chronisch persistierenden Plantarfasciitis der Ferse ein nahezu komplikationsloses und klinisch effektives Verfahren darstellt.

Bedingt durch methodische Defizite dieser Studie kann aus den vorliegenden Ergebnissen kein Wirksamkeitsnachweis für die rESWT hergeleitet werden. Dieser ist im Rahmen einer multizentrisch angelegten, randomisiert placebokontrollierten Studie zu erbringen.

---

## 7. Literaturverzeichnis

1. Anderson R.B., Foster M.D.: Operative treatment of subcalcaneal pain. *Foot Ankle* 9: 317-323, 1989
2. Atkins D., Crawford F., Edwards J., Lambert M.: A systematic review of treatments for the painful heel. *Rheumatology (Oxford)* 38(10): 968-973, 1999
3. Barrett S.L., Day S.V., Pignetti T.T., Egly B.R.: Endoscopic heel Anatomy: Analysis of 200 fresh frozen specimens. *J. Foot Ankle Surg.* 34: 51-56, 1995
4. Basford J.R., Malanga G.A., Krause D.A., Harmsen W.S.: A randomised controlled evaluation of low-intensity laser therapy: Plantar fasciitis. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 79(3): 249-54, 1998
5. Batt M.E., Tanji J.L., Skattum N.: Plantar fasciitis: A prospective randomised clinical trial of the tension night splint. *Clin. J. Sport Med.* 6(3): 158-62, 1996
6. Baxter D.E., Pfeffer G.B., Thigpen C.M.: Chronic heel pain: Treatment rationale, *Orthop. Clin. North. Am.* 20: 563-569, 1989
7. Baxter D.E., Thigpen C.M.: Heel pain-operative results. *Foot Ankle* 5: 16-25, 1984
8. Berkowitz J.F., Kjer R., Rudieel S.: Plantar fasciitis: MR imaging. *Radiology* 179: 665-667, 1991
9. Boyle R.A., Slater G.L.: Endoscopic plantar fascia release: a case series. *Foot Ankle Int.* 24(2): 176-179, 2003
10. Brekke M.K., Green D.R.: Retrospective analysis of minimal-incision, endoscopic and open procedures for heel spur syndrome. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* 88(2): 64-72, 1998
11. Bryde A.M.: Part IV: Plantar fasciitis. *A.A.O.S. Instructional Course Lectures*: 278-282

12. Buch M., Knorr U., Fleming L., Theodore G., Amendola A., Bachmann C., Zingas C., Siebert W.E.: Extrakorporale Stoßwellentherapie beim symptomatischen Fersensporn. *Orthopäde* 31: 637-644, 2002
13. 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. *JAMA* 288: 1364-1372, 2002
14. Campbell P., Lawton J.O.: Heel pain: Diagnosis and management. *Br. J. Hosp. Med.* 52: 380-385, 1994
15. Chaussy C.: Extracorporeal shock wave lithotripsy. Basel: Karger, 1982
16. Chaussy C., Eisenberger F., Wanner K., Forssmann F., Hepp W., Schmiedt E., Brendel W.: The use of shock waves for the destruction of renal calculi without direct contact. *Urol. Res.* 4: 175, 1976
17. Chaussy C., Schmiedt E., Brendel W.: Extracorporeally induced destruction of kidney stones by shock waves. *Lancet* 2:1265, 1980
18. Crawford F., Atkins D., Edwards J.: Interventions for treating plantar heel pain. *Cochrane Database Syst. Rev.* CD000416, 2000
19. Dahmen G.P., Meiss L., Nam V.C., Skruodis B.: Extrakorporale Stoßwellentherapie (ESWT) im knochennahen Weichteilbereich an der Schulter. *Extr Orthopaedica* 11: 25-27, 1992
20. Delius M., Draenert K., Al Diek Y., Draenert Y.: Biological effects of shock waves: In vivo effect of high energy pulses on rabbit bone. *Ultrasound Med. Biol.* 21: 1219-1225, 1995
21. Fries G.: Haglund-Ferse – Fersensporn – Fußhöcker – Talusnase. In Hohmann G., Hackenbroch M., Lindemann K.: *Orthopädie in Praxis und Klinik*. Georg Thieme Verlag Stuttgart: 4.36-4.45, 1985
22. Furey J.G.: Plantar fasciitis: The painful heel syndrome. *J. Bone Joint Surg.* 57-A: 672-673, 1975
23. Gerdesmeyer L., Maier M., Haake M.: Physikalisch-technische Grundlagen der extrakorporalen Stoßwellentherapie. *Orthopäde* 31: 610-17, 2002
24. Greer-Richardson, E.: Painful heel. In *Campbells's Operative Orthopaedics* (Ed. Crenshaw, A.H.). Mosby St. Louis. Vol. 4, 2787-2792, 1992

25. Gudeman S.D., Eisele S.A., Heidt R.S., Colosimo A.J., Stroupe A.L.: Treatment of plantar fasciitis by iontophoresis of 0.4% dexamethasone. A randomised, double-blind, placebo-controlled study. *Am. J. Sports Med.* 25(3): 312-6, 1997
26. Haake M., Buch M., Schoellner C., Goebel F.: Extracorporeal shock wave therapy for plantar fasciitis: Randomised controlled multicentre trial. *British Medical Journal* 327: 1-5, 2003
27. Haupt G., Menne A., Schulz M.: Medizinisches Instrument zum Erzeugen und Weiterleiten von extrakorporalen nicht fokussierten Druckwellen auf biologisches Gewebe. Patentanmeldung, 1997
28. Haupt G.: Use of extracorporeal shock waves in the treatment of pseudarthrosis, tendinopathy and other orthopaedic diseases. *Journal of Urology* 158: 4-11, 1997
29. Haglund, P.: Beitrag zur Klinik der Achillessehne. *Z. Orthop.* 49: 49-52, 1928
30. Heller K.D., Niethard F.U.: Der Einsatz der extrakorporalen Stoßwellentherapie in der Orthopädie – eine Metaanalyse. *Z. Orthop.* 136: 390-401, 1998
31. Hicks J.H.: The mechanics of the foot: The plantar aponeurosis and the arch. *J. Anat.* 88: 25-31, 1954
32. Hill J.J., Cutting P.J.: Heel pain and body weight. *Foot Ankle* 9: 254-256, 1989
33. Hohmann, G.: Fuß und Bein. Bergmann München, 1951
34. Ikeda K., Tomita K., Takayama K.: Application of extracorporeal shock wave on bone: preliminary report. *J. Trauma* 47:946-50, 1999
35. Intenzo C.M., Wapner K.L., Park C.H., Kim S.M.: Evaluation of plantar fasciitis by threephase bone scintigraphy. *Clin. Nucl. Med.* 16: 325-328, 1991
36. Iro H., Nitsche N., Schneider T., Ell C.: Extracorporeal shockwave lithotripsy of salivary gland stones. *Lancet* II: 115, 1989

37. Iro H., Schneider H., Födra C., Waitz G., Nitsche N., Heinritz H.H., Benninger J., Ell C.: Shockwave lithotripsy of salivary duct stones. *Lancet* 339: 1333-1336, 1992
38. Karpman R.R., Magee F.P., Gruen T.W.S., Mobley T.: The lithotripter and its potential use in the revision surgery of total hip arthroplasty. *Clin. Orthop.* 387: 4-7, 2001
39. Krischek O., Rompe J.D., Herbsthofer B., Nafe B.: Symptomatische niedrig-energetische Stoßwellentherapie bei Fersenschmerzen und radiologisch nachweisbarem plantaren Fersensporn. *Z. Orthop.* 136: 169-174, 1998
40. Labek G., Auersperg V., Ziernhold M., Poullos N., Bohler N.: Influence of local anesthesia and energy level on the clinical outcome of extracorporeal shock wave treatment of chronic plantar fasciitis. *Z. Orthop. Ihre Grenzgeb.* 143: 240-6, 2005
41. Lapidus P.W., Guidotti F.P.: Painful heel: Report of 323 patients with 364 painful heels. *Clin. Orthop.* 39: 178, 1965
42. Leach R.E., Salter D.K.: Results of surgery in athletes with plantar fasciitis. *Foot Ankle.* 7: 156-161, 1986
43. Lin W.Y., Wang S.J., Lang J.L.: Bone scintigraphy in evaluation of heel pain in Reiter's disease: compared with radiography and clinical examination. *Scand. J. Rheumatology* 24: 18-21, 1995
44. Loew M., Jurgowski W.: Treatment of calcifying tendinitis of the shoulder. *Z. Orthop. Ihre Grenzgeb.* 131: 470-473, 1993
45. Loew H., Rompe J.D.: Stosswellenbehandlungen bei orthopädischen Erkrankungen. Enke Verlag Stuttgart: 34-35, 1998
46. Magosch P., Lichtenberg S., Hermeyer P.: Radial shock wave therapy in calcifying tendinitis of the rotator cuff-a prospective study. *Z. Orthop. Ihre Grenzgeb.* 141: 629-36
47. Maier M., Averbek B., Milz S., Refior H.J., Schmitz C.: Substance P and prostaglandin E2 release after shock wave application to the rabbit femur. *Clin. Orthop.* 406: 237-45, 2003

48. Ogden, J.A., Alvarez R., Levitt R., Cross G.L., Marlow M.: Shock wave therapy for chronic proximal plantar fasciitis. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 387: 47, 2001
49. Porter M.D., Shadbolt B.: Intralesional corticosteroid injection versus extracorporeal shock wave therapy for plantar fasciopathy. *Clin. J. Sport Med.* 15(3): 119-24, 2005
50. Prichasuk S.: The heel pad in plantar heel pain. *J. Bone Joint Surg.* 76-B: 140-142, 1994
51. Riddle D.L., Pulisic M., Pidcoe P., Johnson R.E.: Risk factors for plantar fasciitis: A matched case-control study. *J. Bone Joint Surg.* 85-A: 872-877, 2003
52. Roles N.C., Maudsley R.H.: Radial tunnel syndrome: Resistant tennis elbow as a nerve entrapment. *J. Bone Joint Surg.* 54-B: 499-508, 1972
53. Rompe J.D.: Extrakorporale Stoßwellentherapie; Grundlagen, Indikation, Anwendung. Chapman & Hall, 1997
54. Rompe J.D., Eysel P., Küllmer K., Vogel J.: Extrakorporale Stoßwellentherapie in der Orthopädie – aktueller Stand. *Orthopädische Praxis* 32(8): 558-561, 1996
55. Rompe J.D., Krischek O., Eysel P., Hopf C.: Chronische Insertionstendopathie am lateralen Epicondylus humeri – Ergebnisse der extrakorporalen Stosswellenapplikation. *Schmerz* 12: 105-111, 1998
56. Rompe J.D., Meurer A., Nafe B., Hofmann A., Gerdsmeyer 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. *Orthop. Res.* 23: 931-941, 2005
57. 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.* 314: 818, 1986
58. 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* 19: 207, 1987

59. Schepsis A.A., Leach R.E., Gorzyca J.: Plantar fasciitis. Etiology, treatment, surgical results and review of the literature. Clin. Orthop. 266: 185-196, 1991
60. Seegenschmidt M.H., Keilholz L., Stecken A., Katalinic A., Sauer R.: Radiotherapie beim plantaren Fersensporn. Strahlenther. und Onkol. 172: 376-383, 1996
61. Shmokler R.L., Bravo A.A., Lynch F.R.: A new use of instrumentation in fluoroscopy controlled heel spur surgery. J. Am. Podiatr. Med. Assoc. 78: 194-197, 1988
62. Snook G.A., Chrisman O.D.: The management of subcalcaneal pain. Clin. Orthop. 82:163-168, 1972
63. Stiell W.F.: Painful heel. Practitioner 108:169, 1922
64. Stierle T.: Methode Swiss Dolor Clast® Systemkomponenten. aus Gerdesmeyer: Extrakorporale Stoßwellentherapie. Books on demand GmbH: 100-109, 2004
65. Tanz S.S.: Heel pain. Clin. Orthop. 28: 169-178, 1963
66. Tillmann B., Töndury G.: Anatomie des Menschen, Band 1: Bewegungsapparat. Georg Thieme Verlag Stuttgart. 482-483, 1987
67. Tillmann B., Töndury G.: Anatomie des Menschen, Band 1: Bewegungsapparat. Georg Thieme Verlag Stuttgart: 643-644, 1987
68. Valchanou V.D., Michailov P.: High energy shock waves in the treatment of delayed and nonunion of fractures. Int. Orthop. 15: 181-184, 1991
69. Wang C.J., Chen H.S., Chen C.E., Yang K.D.: Treatment of nonunions of long bone fractures with shock waves. Clin. Orthop 387: 95-101, 2001
70. Wang C.J., Huang H.Y., Pai C.H.: Shock wave-enhanced neovascularisation at the tendon-bone junction: An experiment in dogs. J. Foot & Ankle Surg. 41: 16-22, 2002
71. Wang C.J., Ko J.Y., Chen H.S.: Treatment of calcifying tendonitis of the shoulder with shock wave therapy. Clin. Orthop. 387: 837, 2001

- 
72. Wang C.J., Wang F.S., Yang K.D., Weng L.H., Hsu C.C., Huang C.S., Yang L.C.: Shock wave therapy induces neovascularisation at the tendon-bone junction. A study in rabbits. *J. Orthop. Res.* 21: 984-9, 2003
  73. Wang F.S., Yang K.D., Chen R.F., Wang C.J., Sheen-Chen S.M.: Extracorporeal shock wave promotes growth and differentiation of bone-marrow stromal cells towards osteoprogenitors associated with induction of TGF-beta 1. *J. Bone Joint Surg.* 84-B: 457-61, 2002
  74. WHO: Body mass index: Nutrition and food security. [http://www.euro.who.int/nutrition/20030507\\_1](http://www.euro.who.int/nutrition/20030507_1)
  75. Woolnough J.: Tennis heel. *Med. J. Aus.* 2: 857-861, 1954
  76. Wyngarden T.M.: The Painful foot, part II: Common rearfoot deformities. *American Family Physician* 55(6): 2207-2212, 1997

## 8. Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1** Fersenbein, Calcaneus; von medial (Sobotta, Atlas der Anatomie des Menschen, Band 2, Abb. 1214, Urban & Schwarzenberg, 1993)
- Abb. 2** Fuß sagital (Sobotta, Atlas der Anatomie des Menschen, Band 2, Abb. 1214, Urban & Schwarzenberg, 1993)
- Abb. 3** Plantare Bandstrukturen (Sobotta, Atlas der Anatomie des Menschen, Band 2, Abb. 1214, Urban & Schwarzenberg, 1993)
- Abb. 4** Röntgen Fuß seitlich: Plantarer Fersensporn (Röntgenarchiv Klinikum rechts der Isar)
- Abb. 5** Zeit-Druck-Profil einer Stosswelle (Quelle unbekannt)
- Abb. 6** Energieflussdichte (EFD) und Wirkung (nach Rompe)
- Abb. 7** Schematische Darstellung einer ballistischen Stosswellenquelle (Gerdesmeyer: Extrakorporale Stoßwellentherapie. Books on demand GmbH: 24, 2004)
- Abb. 8** EMS Swiss Dolor Clast® (Abbildung vom Hersteller)
- Abb. 9** Kontrolleinheit EMS Swiss Dolor Clast® (Abbildung vom Hersteller)
- Abb. 10** Handstück EMS Swiss Dolor Clast® (Abbildung vom Hersteller)
- Abb. 11 a-d** Applikation rESWT
- Abb. 12** Ergebnis VAS Anlaufschmerz
- Abb. 13** Ergebnis VAS Schmerz bei Aktivität
- Abb. 14** Ergebnis Roles-and Maudsley-Score
- Abb. 15** Ergebnis VAS für Anlauf- und Aktivitätsschmerz
- Abb. 16** Ergebnis VAS (Buch 2002)
- Abb. 17** Ergebnis Roles- and Maudsley-Score (Buch 2002)
- Abb. 18** Subjektive Einschätzung des Patienten

## 9. Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 1</b>	Physikalische Eigenschaften menschlicher Gewebe (nach Krause 1997)
<b>Tab. 2</b>	Ein- und Ausschlusskriterien für rESWT-Studie
<b>Tab. 3</b>	Visuelle Analogskala (VAS)
<b>Tab. 4</b>	Roles- and Maudsley-Score
<b>Tab. 5</b>	Demographische Daten
<b>Tab. 6</b>	Patiententätigkeit
<b>Tab. 7</b>	Schmerzcharakter (Mehrfachnennung)
<b>Tab. 8</b>	Vorbehandlungen (Mehrfachnennung)
<b>Tab. 9</b>	Ergebnis VAS Anlaufschmerz
<b>Tab. 10</b>	Ergebnis VAS Schmerz bei Aktivität
<b>Tab. 11</b>	Ergebnis Roles- and Maudsley-Score
<b>Tab. 12</b>	Ergebnis VAS (Ogden 2001)

## 10. Lebenslauf

### Angaben zur Person

Name: Mark Henne

Anschrift: Boosstr. 4,  
81541 München  
Tel. 089-12010741

Email: [mark\\_henne@arcor.de](mailto:mark_henne@arcor.de)

Geburtstag und –ort: 23. September 1972

Familienstand: ledig

Nationalität: deutsch

### Schul- und Berufsausbildung

Juli 1993 Abitur am Erasmus-Grasser-Gymnasiums München

05/94 – 03/97 medizinische Vorklinik an der Ludwig-Maximilian-Universität München

05/97 – 03/02 medizinische Klinik an der Technischen Universität München

04/00 – 03/01 Praktisches Jahr am Klinikum rechts der Isar München (Orthopädie, Innere Medizin) und an den Unikliniken Edinburgh und Cardiff (Chirurgie)

Mai 2001 ärztliche Prüfung

07/01 – 01/03 Arzt im Praktikum an der Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Sportorthopädie der TU München, Klinikum rechts der Isar München

01/03 – 10/04	Assistenzarzt an der Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Sportorthopädie der TU München, Klinikum rechts der Isar München
seit 11/04	Assistenzarzt in der Unfallchirurgie Krankenhaus München Schwabing GmbH

## 11. Danksagung

Danken möchte ich Herrn Prof. Dr. R. Gradinger (Direktor der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie der Technischen Universität München, Klinikum rechts der Isar), der es mir ermöglichte, an der Klinik für Orthopädie und Sportorthopädie die vorliegende Dissertation durchzuführen.

Ebenso möchte ich mich bei PD Dr. L. Gerdesmeyer bedanken, der mich mit seinem Fachwissen über die Stosswelle, aber auch in der Klinik sehr unterstützte. Weiterhin gilt mein Dank der Firma EMS medical (v.a. Dipl.-Betriebswirt T. Stierle), die mit Drittmittelfinanzierung meiner AiP-Stelle die Studie erst möglich gemacht hat. Die Zusammenarbeit mit ihnen war eine wichtige Voraussetzung für das Entstehen und das Gelingen der Arbeit.

Ganz besonders herzlicher Dank gilt jedoch meinen Eltern, ohne deren Erziehung und Unterstützung ich nie dort hingekommen wäre, wo ich jetzt stehe und dass sie mir die Möglichkeit gegeben haben, Medizin zu studieren und mich so zu entfalten, wie ich es mir vorgestellt habe.

Mark Henne