

Aus dem Institut für Anatomie I der Heinrich-Heine-Universität  
Düsseldorf

Leiterin: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. rer. pol. Svenja Caspers

**Variationen des ersten Astes des N. plantaris lateralis  
(N. Baxter)**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Alexandra Elisabeth Waltermann

(2022)

Als Inauguraldissertation gedruckt mit der Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Prof. Dr. med. Timm J. Filler

Zweitgutachter: PD Dr. med. David Lat

# Zusammenfassung

## Einleitung

Chronischer Fersenschmerz ist ein häufiges Problem in der orthopädischen Praxis. Die genaue Diagnose und die entsprechenden Behandlungen sind auf Grund der unterschiedlichen Ursachen, die ähnliche Beschwerden machen, häufig schwierig zu unterscheiden (Alshami, Souvlis et al. 2008) . Hierbei scheint auch die Einengung des N. Baxters eine entscheidende Rolle zu spielen (Baxter and Pfeffer 1992). Dies ist der erste Ast der N. plantaris lateralis (NPL), der von medial kommend, unter dem Calcaneus her nach lateral zum M. abductor digiti minimi zieht. In der Literatur gibt es unterschiedliche Aussagen über den Verlauf und die Funktion dieses regelhaft auftretenden Nervs. Es scheint eine Vielzahl von Normvarianten zu geben. Zum besseren Verständnis der Pathologie und somit der Verbesserung der Behandlung, wurde der N. Baxter hinsichtlich seiner Verlaufsversionen und Innervationsgebiete untersucht.

## Material und Methode

An 16 thielfixierten Füße wurde der N. Baxter unter Schonung der angrenzenden Strukturen präpariert. Hierbei wurde das Augenmerk auf den Verlauf und das Innervationsgebiet gelegt. Der Verlauf wurde in schematischen Zeichnungen festgehalten.

## Ergebnisse

Der N. Baxter ließ sich an allen untersuchten Füßen darstellen. In allen Fällen versorgte der Endast den M. abductor digiti minimi. Bei sechs der untersuchten Füße, zeigten sich zusätzlich ein oder mehrere sensiblen Abgänge zur Plantarfaszie. Bei acht Füßen gab es ein oder mehrere Äste, die zum Periost des Calcaneus verliefen. In acht Fällen wurde auch andere Muskulatur der kurzen Fußmuskulatur durch den N. Baxter versorgt. In drei Fällen schien der N. Baxter ausschließlich den M. abductor digiti minimi zu versorgen.

In den meisten Fällen passierte der N. Baxter den Calcaneus zwischen dem M. quadratus plantae und dem M. flexor digitorum brevis nach lateral. In drei Fällen passierte er den Calcaneus aber auch direkt zwischen dem Calcaneus und dem M. quadratus plantae. Bei fünf Individuen wurden beide Füße untersucht. Bei einem Individuum stellte sich rechts und links der gleiche Versorgungstyp dar. Bei einem weiteren Individuum ließ sich nicht mit Sicherheit bestimmen, ob es sich um den gleichen Versorgungstyp handelt, da sich die versorgte Muskulatur nicht eindeutig differenzieren ließ. Die anderen Individuen zeigten rechts und links eine Versorgung von unterschiedlichen Strukturen.

## Diskussion

Gemeinsam ist, dass der N. Baxter regelhaft angelegt ist und den M. abductor digiti minimi versorgt. In unserer Untersuchung zeigt sich individuell ein unterschiedliches Versorgungsareal. So wurden neben dem M. abductor digiti minimi noch teilweise der M. quadratus plantae und der M. flexor digitorum brevis versorgt. Zudem zeigt sich noch regelmäßig eine Versorgung des Periosts des Calcaneus und teilweise der Plantarfaszie. Die Versorgung ist nicht nur interindividuell, sondern sogar auch intraindividuell im Seitenvergleich unterschiedlich. Dies kann bei einer Einklemmung des N. Baxters zu unterschiedlichen Symptomen führen und sollte sowohl bei der Therapie als auch bei der Diagnostik berücksichtigt werden.

# **Abstract**

## Introduction

Chronic heel pain is a common disorder in orthopaedic clinics. Diagnosis and subsequent management are complex due to many different causes leading to similar symptoms (Alshami, Souvlis et al. 2008). An entrapment of the Baxter's nerve has been discussed as playing a crucial role (Baxter and Pfeffer 1992). Arising from medial this is the first branch of the lateral plantar nerve, which then crosses caudally of the calcaneus to the lateral site to the abductor digiti minimi muscle.

There is no consensus in the literature on the exact anatomy and function, but many anatomic variations are discussed. To improve knowledge of the overall pathology of the Baxter's nerve and therefore facilitating precise treatment, the aim was to investigate anatomical variations and its motor and sensory innervation.

## Methods

Baxter's nerve was carefully dissected using Thiel-embalmed cadavers of the foot (n=16). The focus was on the anatomical variants as well as sensory and motor innervation. Drawings were created to illustrate the course of Baxter's nerve.

## Results

Baxter's nerve was found in all specimens and its terminal branch supplied the abductor digiti minimi muscle. Six specimens showed one or more sensory branches leading to the plantar fascia. In eight cases one or more branches supplied the periosteum of the calcaneus.

Furthermore, innervation of intrinsic foot muscles was evident in eight cases. Of those, in three specimens Baxter's nerve supplied exclusively the abductor digiti minimi muscle.

In most cases, Baxter's nerve passed laterally between quadratus plantae and flexor digitorum brevis muscles. However, in three specimen it was directly between the calcaneus and the quadratus plantae muscle.

Additionally, for five specimen both left and right foot were dissected. One specimen showed a uniform anatomical variation on both sides. In one case, motor innervation could not be clearly identified. The other specimen showed a non-uniform distribution.

## Discussion

A common finding was the presence of Baxter's nerve and innervation of abductor digiti minimi muscle. However, the results show individual innervation territories including supply of the quadratus plantae and flexor digitorum brevis muscles. Additionally, innervation of the periosteum of the calcaneus and of the plantae fascia were commonly observed. Variants differed not only inter-individually, but intra- individual differences were also found between body sides. Therefore, entrapment of Baxter's nerve can lead to different symptoms which should be considered for both diagnosis and management.

## Abkürzungsverzeichnis

Art.	Artikulatio
ESWT	Extracorporale Stoßwellentherapie
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
MRT	Magnetresonanztherapie
N.	Nervus
Nn.	Nervi
NPL	Nervus plantaris lateralis
NPM	Nervus plantaris medialis
NSARs	nichtsteroidale Antirheumatika
Proc.	Processus
Procc.	Processus (pl.)
R.	Ramus
Rr.	Rami

# Inhalt

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>I</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>II</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>- 1 -</b>
<b>1.1 Problembeschreibung</b> .....	<b>- 1 -</b>
<b>1.2 Anatomische Grundlagen</b> .....	<b>- 2 -</b>
1.2.1 Anatomie des Rückfußes .....	- 2 -
1.2.2 Form des Os calcaneus.....	- 2 -
1.2.3 Tarsalkanal .....	- 3 -
1.2.4 Muskeln des Rückfußes .....	- 5 -
1.2.5 Plantarfaszie .....	- 6 -
1.2.6 N. tibialis .....	- 7 -
1.2.7 Beschriebene Anatomie des N. Baxter .....	- 7 -
<b>1.3 Pathologien</b> .....	<b>- 11 -</b>
1.3.1 Plantarfasziitis .....	- 11 -
1.3.2 Plantarer Fersensporn.....	- 13 -
1.3.3 Klassisches Tarsaltunnelsyndrom.....	- 14 -
1.3.4 Hohes Tarsaltunnelsyndrom / proximales N. tibialis Kompressionssyndrom .....	- 15 -
1.3.5 Calcaneus Stressfraktur .....	- 15 -
1.3.6 Fad pad Syndrom.....	- 16 -
1.3.7 Kompression des N. Baxter („distales Tarsaltunnel Syndrom“, „Baxter Neuropathie“) .....	- 16 -
1.3.8 Kompression des R. calcaneus.....	- 17 -
1.3.9 Seltene Ursachen .....	- 18 -
<b>1.4 Diagnostik Fersenschmerz</b> .....	<b>- 19 -</b>
1.4.1 Plantarfasziitis .....	- 19 -
1.4.2 Tarsaltunnelsyndrom .....	- 20 -
1.4.3 Diagnostik einer Einengung des ersten Astes des NPL.....	- 20 -
<b>1.5 Behandlungsmethoden</b> .....	<b>- 23 -</b>
1.5.1 Therapieansätze.....	- 23 -
1.5.2 Konservative Therapie.....	- 23 -
1.5.3 Operative Therapie.....	- 25 -
1.5.4 Therapie Baxter Neuropathie .....	- 28 -
<b>2 Ziel dieser Arbeit</b> .....	<b>- 29 -</b>

<b>3</b>	<b><i>Material und Methoden</i></b> .....	<b>- 30 -</b>
3.1	Fixierung nach Thiel.....	- 30 -
3.2	Präparation.....	- 30 -
3.3	Auswertung.....	- 31 -
<b>4</b>	<b><i>Ergebnis</i></b> .....	<b>- 32 -</b>
4.1	Spezieller Verlauf.....	- 32 -
4.2	Auswertung.....	- 49 -
<b>5</b>	<b><i>Diskussion</i></b> .....	<b>- 52 -</b>
5.1	Namen des N. Baxter.....	- 52 -
5.2	Ursprung und Verlauf.....	- 52 -
5.3	Innervation .....	- 53 -
5.4	Klinischer Bezug.....	- 56 -
5.4.1	Ursprung des Fersenschmerzes .....	- 56 -
5.4.2	Diagnostische Ansätze .....	- 59 -
5.4.3	Therapeutische Ansätze.....	- 61 -
<b>6</b>	<b><i>Schlussfolgerung</i></b> .....	<b>- 64 -</b>
<b>7</b>	<b><i>Quellenverzeichnis</i></b> .....	<b>- 65 -</b>
<b>8</b>	<b><i>Anhang</i></b> .....	<b>- 69 -</b>
8.1	Anlage 1 Fixierung nach Thiel .....	- 69 -
	<b><i>Danksagung</i></b> .....	

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Calcaneus links von plantar .....	- 3 -
Abb. 2 Fußmuskulatur rechts von plantar.....	- 5 -
Abb. 3 Plantarfaszie.....	- 7 -
Abb. 4 Schematische Beispiel der Beschriftung.....	- 32 -
Abb. 5 F107/13 links .....	- 33 -
Abb. 6 F21/14 links .....	- 34 -
Abb. 7 F21/14 rechts.....	- 35 -
Abb. 8 F22/14 links .....	- 36 -
Abb. 9 F22/14 rechts.....	- 37 -
Abb. 10 F 25/12 rechts.....	- 38 -
Abb. 11 F 25/12 links .....	- 39 -
Abb. 12 F 33/14 links .....	- 40 -
Abb. 13: F 47/11 rechts.....	- 41 -
Abb. 14 63/14 rechts.....	- 42 -
Abb. 15 F 66/12 links .....	- 43 -
Abb. 16 F66/12 rechts.....	- 44 -
Abb. 17 F70/12 links .....	- 45 -
Abb. 18 F72/12 links .....	- 46 -
Abb. 19 F72/12 rechts.....	- 47 -
Abb. 20 F 83/12 links .....	- 48 -

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 zusätzliche Abgänge erster Ast NPL .....	- 49 -
--	--------



# 1 Einleitung

## 1.1 Problembeschreibung

Chronischer Fersenschmerz ist ein häufiges Problem in der orthopädischen Praxis. In den USA liegt die Prävalenz für Fersenschmerz bei 10%. (Rompe, Furia et al. 2007). Damit ist Fersenschmerz der häufigste Grund, mit denen Patienten einen Fußspezialisten aufsuchen (Lapidus and Guidotti 1965, Kier 1994). Die häufigste Ursache für Fersenschmerzen scheint eine Plantarfasziitis zu sein (Sadek, Fouly et al. 2015). So werden in den USA jährlich 2 Millionen Menschen mit der Verdachtsdiagnose einer Plantarfasziitis behandelt (Rompe, Furia et al. 2007).

Die genaue Ursache und die entsprechenden Behandlungen sind auf Grund der unterschiedlichen Ursachen, die zu ähnliche Beschwerden führen, häufig schwierig zu finden (Baxter and Pfeffer 1992). Betroffen sind vor allem Sportler (Baxter and Thigpen 1984) und Patienten mittleren Alters (Puttaswamaiah and Chandran 2007). Hierbei spielen unterschiedlichste Ursachen eine Rolle. In den letzten Jahrzehnten nahm man immer mehr Abstand von der Annahme, dass eine Plantarfasziitis die Hauptursache für chronischen Fersenschmerz zu sein scheint und die Einengung von Nerven als Pathologie rückte immer mehr in den Vordergrund. Insbesondere die Einengung des N. Baxters scheint eine entscheidende Rolle zu spielen (Alshami, Souvlis et al. 2008).

Die Ursachen für eine Einengung werden, genauso wie die Funktion und der genaue Verlauf, in der Literatur unterschiedlich beschrieben. Dieses erschwert zum einen die Diagnostik, und zum anderen die Therapie. Auf Grund seiner Lage und innervierenden Strukturen ist davon auszugehen, dass der N. Baxter für die Schmerzperzeption in der Ferse entweder durch Irritation des Nervens selbst oder durch Entzündungen des umliegenden Gewebes eine Rolle spielt (Barker, Rosson et al. 2007).

Wenn die Aussagen über den Verlauf und die Funktion dieses regelhaft auftretenden Nervens heterogen sind, scheint eine Vielzahl von Normvarianten zu bestehen. Zum besseren Verständnis der Pathologie und somit auch zu einer verbesserten Behandlungsmöglichkeit, soll der N. Baxter gezielt betrachtet werden. Der Fokus liegt auf der Untersuchung der von dem N. Baxter versorgten Strukturen.

Es folgt zunächst eine kurze Rekapitulation über die bekannte relevante Anatomie im Bereich des Rückfußes. Dann werden die verschiedenen relevanten Pathologien, die zu einem Fersenschmerz führen können, näher erläutert und auf ihre Diagnostik und Behandlung eingegangen.

Zum Ende erfolgt eine kritische Auseinandersetzung mit dem momentanen Stand der Literatur in Zusammenschau mit den Ergebnissen dieser anatomischen Studie.

## **1.2 Anatomische Grundlagen**

### **1.2.1 Anatomie des Rückfußes**

Im Bereich des Rückfußes liegen viele Strukturen auf engstem Raum zusammen. Das knöcherner Gerüst bilden Tibia und Fibula, die zusammen mit dem Talus das obere Sprunggelenk (Art. talocruralis) bilden. Der Talus artikuliert mit seiner dorsocaudal gelegenen Facies articularis calcanea posterior mit der Facies articularis talaris posterior mit dem Calcaneus und bildet hier die hintere Gelenkkammer des unteren Sprunggelenkes (Art. subtalaris). Die vordere Gelenkkammer hingegen bildet der Talus auf der einen Seite und die osteofibröse Verbindung des Calcaneus mit dem Pfannenband (Lig. calcaneonavicularare plantare) und dem Os naviculare auf der anderen Seite.

Im Art. talonavicularare artikuliert das Caput tali mit der proximalen konkaven Gelenkfläche des Os naviculare. Die Art. calcaneocuboidea verbindet die vordere Gelenkfläche des Calcaneus mit dem Cuboid. Dieses Gelenk bildet zusammen mit der Art. talonavicularare das Chopart'sche Gelenk, welches den Rückfuß mit dem Mittelfuß verbindet (Lawrence, Rolan et al. 2014).

Die Ferse ist von einem durchschnittlich 18 mm dicken Fettpolster umgeben (Standring and Davies 2005), welches Fett und elastische Fasern enthält. Bei Jugendlichen ist das plantare Fettpolster dick, gelb und elastisch. Im Alter wird es weiß und unelastischer (McCarthy and Gorecki 1979).

### **1.2.2 Form des Os calcaneus**

Der komplex geformte Calcaneus spielt beim Aufbau des Fußes eine zentrale Rolle. Er ist ein irregulär geformter, cuboider Knochen, dessen Längsachse nach cranial lateral zeigt. Mit seiner Steilstellung bildet er maßgeblich knöchern die Längswölbung vor. Zudem ist er Ursprung und Ansatz vieler Muskeln und Bänder und nicht zuletzt auch der Plantarfaszie.

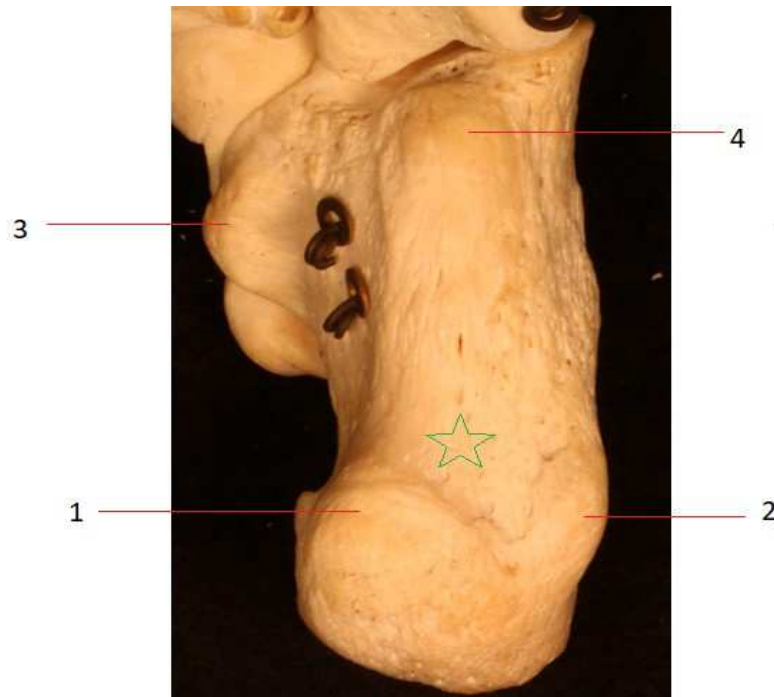
Die superiore Oberfläche trägt drei Gelenkflächen: Facies articularis talaris anterior, Facies articularis talaris posterior und Facies articularis talaris media, die auf dem Sustentaculum tali liegt. Zwischen der posterioren und der mittleren Gelenkfläche liegt der Sulcus calcanei, der zusammen mit dem Sulcus tali den Sinus und Canalis tarsi bildet. Nach superior artikuliert der Calcaneus mit dem Os tali.

Das distale Ende des Calcaneus bildet die Facies articularis cuboidea. Hiermit artikuliert der Calcaneus mit dem Cuboid als Art. calcaneocuboidea. Die Art. calcaneocuboidea bildet zusammen mit der Art. talonavicularis das Chopart'sche Gelenk.

Die hintere Seite des Calcaneus unterteilt sich in drei Regionen. Eine glatte proximale Region, die von der Achillessehne durch Fettgewebe und eine Bursa getrennt ist. Die mittlere Region,

welche eine scharfe Kante als Ansatz für die Achillessehne besitzt und eine nach unten geneigte untere Region.

Die Unterseite des Calcaneus ist uneben (siehe Abb. 1 Calcaneus links von plantar). Hier liegen für den Verlaufe des N. Baxter entscheidende Landmarken. Posterior befindet sich die Tuberositas calcaneae mit einem lateralen und einem medialen Processus. Diese werden durch eine Noche voneinander getrennt (McCarthy and Gorecki 1979). Der Processus medialis ist länger und breiter als der laterale Processus. Weiter distal liegt das Tuberculum anterior, das den Ansatz des Lig. plantare longum bildet (Standring and Davies 2005).



**Abb. 1 Calcaneus links von plantar**

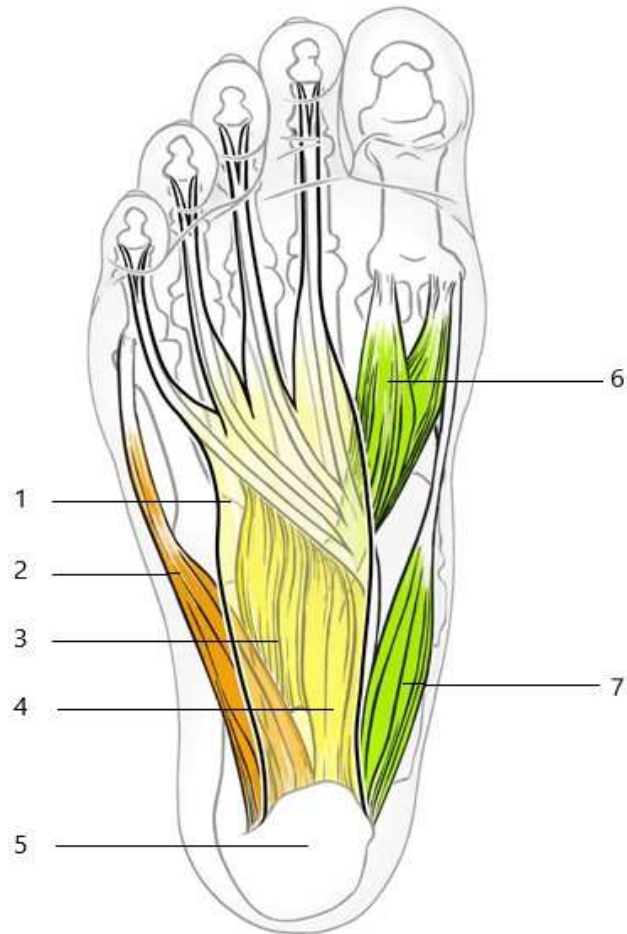
1. Proc. medialis; 2. Proc. lateralis, 3. Sustentaculum tali, 4. Tuberculum anterior; Stern Bereich in dem der N. Baxter nach lateral verläuft

### 1.2.3 Tarsalkanal

Der Tarsalkanal ist ein osteofibröser Kanal, welcher durch den unteren Teil des Retinaculum flexorum (Ligamentum laciniatum), der medialen Seite des Calcaneus, dem hinteren Teil des Talus, der distalen Tibia und dem medialen Malleolus gebildet wird. Durch diesen Kanal gelangen der N. tibialis, die Sehnen des M. tibialis posterior, des M. flexor digitorum longus, des M. flexor hallucis longus, sowie die Vena und Arteria tibialis posterior zum Fuß (Heimkes, Posel et al. 1987, Baxter 1993, Lareau, Sawyer et al. 2014). Der Tarsalkanal ist durch Septen unterteilt, die vom Retinaculum zum Periost ziehen (Erickson, Quinn et al. 1990). Innerhalb des Kanals teilt sich in der Regel der N. tibialis posterior in den N. plantaris lateralis (NPL) und den N. plantaris medialis (NPM) (Kopell and Thompson 1960, Dellon and Mackinnon 1984, Havel, Ebraheim et al. 1988, Torres and Ferreira 2012, Lareau, Sawyer et al. 2014). Dies geschieht auf unterschiedlicher Höhe. Als Bezug wird die Malleolar-Calcaneal-Linie

verwendet. Die Aufzweigung erfolgt von 78mm proximal der Malleolar-Calcaneal-Linie bis 10mm distal der Linie, im Durchschnitt jedoch 16.4mm proximal der Linie (Moroni, Zwierzina et al. 2018). Nach der Teilung verlaufen die beiden Äste meist in zwei von Bindegewebssepten getrennten Logen. Diese Septen stammen von der tiefen Faszie des M. abductor hallucis. Der NPL liegt hierbei in der distalen Loge (Rondhuis and Huson 1986, Heimkes, Posel et al. 1987, Erickson, Quinn et al. 1990, Schon 1994, Torres and Ferreira 2012). Sie werden eng von vaskulären Strukturen begleitet (Rondhuis and Huson 1986, Heimkes, Posel et al. 1987, Didia and Horsefall 1990).

## 1.2.4 Muskeln des Rückfußes



**Abb. 2 Fußmuskulatur rechts von plantar**

1. Plantarfaszie 2. M. abductor digiti minimi 3. M. quadratus plantae 4. M. flexor digitorum brevis 5. Calcaneus 6. M. flexor hallucis brevis 7. M. abductor hallucis

### 1.2.4.1 M. abductor digiti minimi:

Der M. abductor digiti minimi entspringt flach und breit mit einem tiefen und einem oberflächlichen Kopf von zwei Processus der Tuberositas calcaneae, von der Plantaraponeurose und dem Septum intermusculare, welches ihn vom M. flexor digitorum brevis trennt. Der Muskelbauch formt den lateralen Rand des Fußes (del Sol, Olave et al. 2002). Die Innervation erfolgt meist aus einem Ast des NPL (Arakawa, Sekiya et al. 2005).

### 1.2.4.2 M. abductor hallucis

Der M. abductor hallucis gehört zu der ersten Schicht der kurzen Fußmuskulatur. Er entspringt teils von dem Retinaculum flexorum, teils vom Processus medialis tuberositas calcaneae, der Plantaraponeurose und dem Septum intermusculare, welches ihn vom M. flexor digitorum brevis trennt. Der Muskel zieht zur Sehne des M. flexor hallucis brevis. In diese strahlt er ein und inseriert somit auf der medialen Seite der Basis der proximalen Phalanx des Hallux. Der M. abductor hallucis bildet mit seinem Muskelbauch die mediale Fußkante und bedeckt die

plantaren Blutgefäße und Nerven. Er besitzt eine kräftige, derbe Faszie (Standring and Davies 2005). Die Innervation erfolgt aus den Segmenten S1-S2 über den NPM (Standring and Davies 2005).

#### **1.2.4.3 M. flexor digitorum brevis**

Auch der M. flexor digitorum gehört zur ersten Schicht der kurzen Fußmuskulatur. Er schließt sich lateral an den M. abductor hallucis an. Sein Ursprung liegt am Processus medialis tuberositas calcaneae, dem zentralen Anteil der Plantarfaszie und dem ihn umgebenden Septum intermusculare. Er teilt sich in vier Sehnen auf, welche je mit zwei Zipfeln an den Mittelphalangen der Zehen zwei bis vier inserieren.

#### **1.2.4.4 M. quadratus plantae („M. flexor accessorius“)**

Der M. quadratus plantae liegt eine Schicht unter den oben genannten Muskeln. Er hat seinen Ursprung mit zwei Köpfen, welche durch das Lig. longitudinale plantae getrennt sind. Der mediale Kopf ist stärker ausgeprägt und entspringt an der medialen, konkaven Fläche des Calcaneus hinter der Grube für den M. flexor hallucis longus. Der laterale Kopf entspringt an dem Processus lateralis der Tuberositas calcaneae und dem Lig. longitudinale plantae. Der Muskelbauch legt sich in die Sehnen des M. flexor digitorum longus an der Stelle, in der sich dieser in vier Teile teilt und inseriert hier (Standring and Davies 2005).

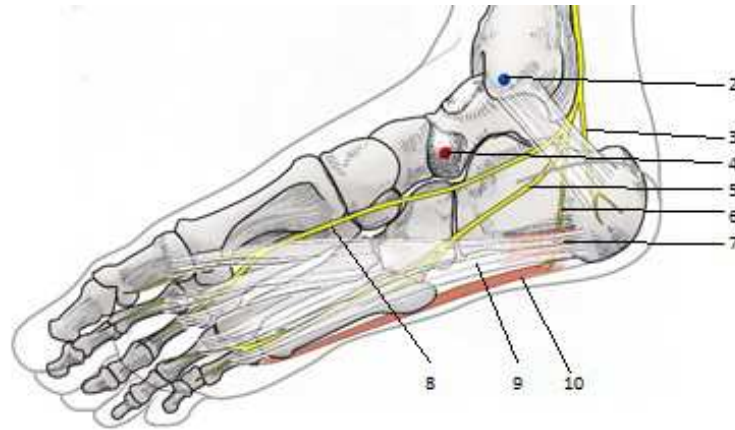
#### **1.2.5 Plantarfaszie**

Die Plantarfaszie oder auch Plantaraponeurose ist eine mehrschichtige, fasrige Aponeurose (Ahmad, Tsang et al. 2012). Sie bildet die Sohle des Fußes und verbindet den Calcaneus mechanisch mit den Zehen (Wearing, Smeathers et al. 2006).

Der zentrale Anteil der Plantarfaszie ist der dickste und stärkste. Er verjüngt sich nach proximal zu dem Ursprung an dem Processus medialis der Tuberositas calcaneae. Auch nach distal verjüngt sich die Plantarfaszie wieder etwas und teilt sich proximal der Metatarsalköpfchen in fünf Zipfel (siehe Abb. 3 Plantarfaszie) (Singh, Angel et al. 1997, Lareau, Sawyer et al. 2014). Die Fasern verflechten sich in der umgebenden Dermis und dem Lig. metatarsium transversum (Hicks 1954).

Durch eine Dorsalextension der Zehen wird die Spannung der Plantarfaszie, wie durch eine Drehwinde, gespannt und insbesondere die mediale Längswölbung wird unterstützt (Hicks 1954). Somit spielt die Plantarfaszie eine entscheidende Rolle in der Aufrechterhaltung des medialen Längsbogens (Singh, Angel et al. 1997).

Hinsichtlich der Innervation der Plantarfaszie gibt es in der Literatur nur wenige Angaben.



**Abb. 3 Plantarfaszie**

1. N. tibialis 2. Malleolus medialis, 3. R. calcanei 4. Art. talonavicular; 5. NPL 6. N. Baxter 7. M. digitorum brevis 8. NPM 9. Plantarfaszie 10. M. abductor digiti minimi

### 1.2.6 N. tibialis

Der N. tibialis verläuft in der tiefen Flexorenloge nach distal. Er gelangt zusammen mit den Sehnen der tiefen Flexoren, dorsal des Malleolus medialis, im osteofibrösen Tarsalkanal, zur Plantarseite des Fußes (Schünke, Schulte et al. 2005). Im Bereich des Tarsalkanals teilt sich der N. tibialis meist in drei Äste: den Ramus (R.) calcaneus (N. calcaneus medialis), den NPL und NPM (siehe Abb. 3 Plantarfaszie) (Louisia and Masquelet 1999, Arakawa, Sekiya et al. 2005, De Prado, Cuervas-Mons et al. 2015). Im Bereich des Kanals liegen die Blutgefäße relativ konstant über den Nerven (Heimkes, Posel et al. 1987, Didia and Horsefall 1990).

Der Verlauf des R. calcaneus ist dabei sehr variabel (Dellon and Mackinnon 1984, Davis and Schon 1995, Iborra, Villanueva et al. 2018). In den meisten Fällen geht der R. calcaneus vor der Bifurkation des N. tibialis direkt ab (Havel, Ebraheim et al. 1988, Kim, Choung et al. 2015). In seltenen Fällen aber auch auf Höhe der Bifurkation (Kim, Choung et al. 2015, Moroni, Zwierzina et al. 2018). Auch Abgänge eines R. calcaneus vom NPL sind in seltenen Fällen in der Literatur beschrieben (Dellon and Mackinnon 1984, Havel, Ebraheim et al. 1988, Didia and Horsefall 1990, Kim, Choung et al. 2015)

### 1.2.7 Beschriebene Anatomie des N. Baxter

Als N. Baxter wird in der Literatur der erste Ast des NPL bezeichnet (Presley, Maida et al. 2013, Chimutengwende-Gordon, O'Donnell et al. 2014). Teilweise wird dieser auch als inferior calcaneal Nerv (Arenson, Cosentino et al. 1980, Louisia and Masquelet 1999, Govsa, Bilge et al. 2006, Kim, Choung et al. 2015), *deep calcaneal nerve* (Kenzora 1987), *the lower calcaneal branch* (Torres and Ferreira 2012) *nerve to the abductor digiti quinti muscle* (Przylucki H 1981, Baxter, Pfeffer et al. 1989) oder auch R. calcanearis lateralis (Elsner, Filler et al. 2015) bezeichnet.

Er spaltet sich in der Regel nahe der Bifurkation des N. tibialis, in den NPM und NPL, von dem NPL ab. Selten teilt er sich auch auf der Höhe der Bifurkation oder leicht proximal der Bifurkation auf (del Sol, Olave et al. 2002, Mizuno, Naito et al. 2015, Moroni, Zwierzina et al. 2018). Hierbei gibt es keine geschlechtsspezifischen Unterschiede (Mizuno, Naito et al. 2015).

Er verläuft zunächst vertikal, um nach plantar zu gelangen, macht dann einen Richtungswechsel und verläuft horizontal nach lateral.

Auf diesem Weg verläuft der erste Ast des NPL plantarwärts zwischen dem M. abductor hallucis und dem M. quadratus plantae (Przylucki H 1981, Rondhuis and Huson 1986). Del Sol beschreibt, dass der erste Ast des NPL in einem osteofibrösen Kanal zwischen der medialen Seite des Calcaneus und der tiefen Faszie des M. abductor hallucis nach plantar zieht und nur teilweise, bei einem hohen Ursprung des M. quadratus plantae, vom Calcaneus separiert wird (del Sol, Olave et al. 2002).

Plantar verläuft der erste Ast des NPL in einem osteofibrösen Kanal zwischen dem Calcaneus auf der einen Seite und dem M. flexor digitorum brevis und dem M. abductor digiti minimi auf der anderen Seite (Arenson, Cosentino et al. 1980).

Baxter beschreibt den Verlauf des ersten Astes des NPL weiter proximal als in Gray's Anatomy oder den meisten anderen Anatomieatlanten eingezeichnet. Er bestätigte seine intraoperative Feststellung anhand von Studien bei Körperspendern. Hier zeigte sich, dass der erste Ast des NPL kontinuierlich proximaler an einer vulnerableren Stelle den Calcaneus passiert (Baxter, Pfeffer et al. 1989).

Auch in der Arbeit von Rondhuis und Huson ließ sich der erste Ast des NPL bei allen untersuchten Füßen darstellen. Auch hier wird der Verlauf direkt vorbei an dem medialen Fortsatz der Tuberositas calcanea beschrieben. Er verläuft nach lateral zum proximalen Anteil des M. abductor digiti minimi (Rondhuis and Huson 1986). Hier wird allerdings auch beschrieben, dass der erste Ast des NPL zwei Äste abgibt. Einer penetriert teilweise den M. quadratus plantae, und innerviert immer das Periost des Calcaneus und das Lig. longitudinale plantae. Der andere Ast innerviert den M. flexor digitorum brevis (Rondhuis and Huson 1986).

Elsner et al. beschreiben hingegen, dass regelhaft drei Äste vom ersten Ast des NPL abgehen: Einer innerviert das Periost des medialen Processus calcanei, der Nächste versorgt den M. flexor digitorum brevis, der letzte Ast innerviert den M. abductor digiti minimi (Elsner, Filler et al. 2015). Zudem werden hier Äste zum Periost der Tuberositas calcaneae, oftmals Endäste, die zum Lig. plantare longum ziehen und zum Teil auch eine Innervation des M. quadratus plantae beschrieben (Elsner, Filler et al. 2015).

In der Arbeit von del Sol et al. wurden 145 formaldehydfixierte Füße untersucht. Hier wird beschrieben, dass der erste Ast des NPL einen Ast in das Lig. plantare longum und seine



Umgebung abgibt. Später teilt sich, nach der Beschreibung, der erste Ast des NPL in 86,9% der Fälle in einen posterioren und einen anterioren Ast, die die beiden Köpfe des M. abductor digiti minimi penetrieren. In 2,1% der Fälle teilt er sich in drei Äste und in 11% penetriert er den Muskel, ohne sich zu teilen. Die Innervation anderer kurzer Fußmuskeln wird nicht beschrieben (del Sol, Olave et al. 2002).

Louisia untersuchte 15 Verläufe, 13 von fixierten Körperspendern, zwei von gekühlten Körperspendern. In den Untersuchungen verlief der erste Ast des NPL am Rand des M. abductor hallucis nach distal. Bei seinem Verlauf in die Tiefe läuft er am oberen Rand des M. abductor hallucis und dem medialen Rand des M. quadratus plantae vorbei. Dann zieht er zwischen der tiefen Faszia des M. abductor hallucis und dem Tuberculum anterius des calcaneus. Auf dem weiteren Weg nach lateral verläuft er unter dem M. quadratus plantae und über dem M. flexor digitorum brevis. So gelangt er zum proximalen Anteil des M. abductor digiti minimi. Auf seinem Weg gibt er konstant Äste an das Periost des Calcaneus ab. Auch Äste, die den M. flexor digitorum brevis und den M. quadratus plantae innervieren, wurden regelmäßig beschrieben (Louisia and Masquelet 1999).

Gosva et al. untersuchten 25 männliche, Formaldehyd fixierte Füße. Er beschreibt den ersten Ast des NPL unter dem Namen N. calcaneus inferior. Dieser entspringt meist direkt aus dem N. tibialis. Nur in 4% der Fälle entspringt er aus dem NPL. Er beschreibt dennoch den Verlauf, wie sonst der Verlauf des N. Baxter's beschrieben wird. Er verläuft nach lateral zwischen dem M. quadratus plantae und dem M. flexor digitorum brevis und endet im M. abductor digiti minimi. Er hat eine enge Beziehung zum Proccesus medialis tuberositas calcaneae. Der Abstand liegt zwischen 2 und 16mm. In seinem Verlauf gibt er konstant Fasern zum Periost des Calcaneus ab. Andere Äste ziehen regelmäßig zum M. flexor digitorum brevis und M. quadratus plantae (Govsa, Bilge et al. 2006).

Einige Autoren beschreiben den N. Baxter als einen sensomotorischen Nerv (Arenson, Cosentino et al. 1980, Baxter and Thigpen 1984, Rondhuis and Huson 1986, Davis and Schon 1995, Louisia and Masquelet 1999, Elsner, Filler et al. 2015), andere als einen motorischen Nerv (Przylucki H 1981, Arakawa, Sekiya et al. 2005).

Arenson beschreibt eine Innervierung des M. abductor digiti minimi, sowie teilweise eine Innervation des M. flexor digitorum brevis, des M. abductor brevis und des Periosts des Calcaneus. Eine Innervation der Plantarfaszie beschreibt er nicht. Den Ursprung des ersten Astes des NPL sieht er regelhaft vom NPL (Arenson, Cosentino et al. 1980).

Davis & Schon haben in ihrer Studie 20 formaldehydfixierte Füße untersucht. Sie beschreiben in drei von 20 Füßen eine motorische Innervierung des M. abductor hallucis, hierbei waren zwei von einem Individuum. Auch sie beschreiben dünne Äste, die zum Periost des medialen

Calcaneus ziehen. In zwei von 20 Fällen sahen sie eine Innervation des M. flexor digitorum brevis (Davis and Schon 1995).

Arakawa et al. haben sieben formaldehydfixierte Füße von fünf Individuen untersucht. Auch hier innervierte der erste Ast des NPL immer den M. abductor digiti minimi. Allerdings wird hier von dem ersten Ast des NPL keine weitere Innervation anderer Strukturen angegeben, weder von Muskeln noch von sensiblen Strukturen (Arakawa, Sekiya et al. 2005).

Torres et al. untersuchten 50 *fresh frozen* Füße von 26 Körperspendern. Ihr Fokus lag vor allem auf dem Ursprung des N. Baxter. In 70% ihrer Untersuchungen spaltete sich der Nerv vom NPL ab. In 18% stellte sich der Nerv schon auf Höhe des N. tibialis dar. Bei 8% sahen sie den Ursprung auf der Höhe der Bifurkation. In 4% bildet der NPL und der N. medialis calcaneae einen gemeinsamen Ast, der den N. Baxter bildet (Torres and Ferreira 2012).

In der Studie von Rondhuis und Husan verliefen bei zwei Füßen der erste Ast des NPL zwischen einem Fersensporn und dem Calcaneus (Rondhuis and Huson 1986). Über den Abstand wurden hierbei keine Informationen angegeben.

In den *high resolution* Magnetresonanztomographie (MRT) Untersuchungen von Farooki et al. wird beschrieben, dass der erste Ast des NPL plantar zwischen dem M. flexor digitorum brevis und dem M. quadratus plantae verläuft (Farooki, Theodorou et al. 2001).

Der N. Baxter wird gerade in seinem proximalen Bereich eng von Blutgefäßen begleitet (Louisia and Masquelet 1999, Presley, Maida et al. 2013).

So ist die Anatomie in diesem Bereich ist aus verschiedensten Gesichtspunkten schon untersucht worden. Hierbei kam es zu unterschiedlichsten Ergebnissen, sodass eine strukturierte Darstellung des ersten Astes des N. plantaris lateralis sinnvoll ist.

## **1.3 Pathologien**

Plantarer Fersenschmerz wird häufig synonym mit der Plantarfasziitis oder Fersensporn Syndrom verwendet (Thomas, Christensen et al. 2010). Es handelt sich um einen atraumatischen Schmerz unterhalb der Ferse. Plantarer Fersenschmerz kann jedoch unterschiedlichste Ursachen haben.

### **1.3.1 Plantarfasziitis**

Proximale Plantarfasziitis

Eine Plantarfasziitis scheint der häufigste Grund für plantaren Fersenschmerz zu sein (Pfeffer 2001). Es gibt unterschiedliche Definitionen der Plantarfasziitis. Im allgemeinen versteht man hierunter aber eine schmerzhafte Veränderung im Bereich der Plantarfaszie, meist in der Nähe des Ursprungs am Calcaneus (Kier 1994).

Grund für den Schmerz bei einer Plantarfasziitis scheint eine akute oder chronische Entzündung am Ursprung der Plantarfaszie durch eine Überlastung zu sein (Cole, Seto et al. 2005). Der grundlegende Pathomechanismus ist nicht eindeutig geklärt. In unterschiedlichen Studien gibt es sehr unterschiedliche Aussagen zur Pathophysiologie und Epidemiologie der Plantarfasziitis. So wird teilweise beschrieben, dass sowohl junge männliche Läufer als auch adipöse Frauen mittleren Alters häufiger betroffen zu sein könnten (Davis, Severud et al. 1994, Davies, Weiss et al. 1999). Teilweise wird aber auch beschrieben, dass Männer und Frauen mittleren Alters gleich häufig betroffen sind (Furey 1975, Ahmad, Tsang et al. 2012). Als prädisponierende Faktoren werden eine eingeschränkte Dorsalextension, überwiegend stehende Tätigkeit und Übergewicht ( $>30 \text{ kg/m}^2$ ) angenommen (Riddle, Pulisic et al. 2003). Hierbei scheint der grundlegende Pathomechanismus aller drei prädisponierenden Faktoren zu sein, dass sie zu einer höheren Zugbelastung der Plantarfaszie führen (Riddle, Pulisic et al. 2003). Das Studiendesign bezieht sich nicht auf Läufer. Diese sollten gesondert betrachtet werden (Riddle, Pulisic et al. 2003). Nicht auszuschließen ist, dass die Schmerzen zu einem Verlust der Beweglichkeit geführt haben (Riddle, Pulisic et al. 2003).

Histologisch zeigen sich bei einer Plantarfasziitis eine kollagene Degeneration (Tountas and Fornasier 1996) mit Faserdisorganisation, vermehrte Anteile mucoider Interzellularsubstanz, angiofibroplastische Hyperplasie und Kalzifikation (Wearing, Smeathers et al. 2006). Selten (Wearing, Smeathers et al. 2006) oder gar nicht (Tountas and Fornasier 1996) finden sich Zeichen einer aktiven Entzündung wie Leukozyten oder Makrophagen. Es scheint sich somit mehr um eine Degeneration (Tendinosis), als um eine Tendinitis oder Insemitis zu handeln. Das Fehlen entzündlicher Infiltrate könnte eine Spätfolge der chronischen Entzündung darstellen. In Frage kommt auch eine degenerative Veränderung durch eine Serie von akuten und chronischen Entzündungen, als Folge von wiederholten Mikrotraumata und Mikrorissen (Puttaswamaiah and Chandran 2007). Jedoch ließen sich auch degenerative Veränderungen

bei Untersuchungen von amputierten Beinen ohne Fersenschmerzen in der Vorgeschichte zeigen (Wearing, Smeathers et al. 2006).

Klinisch klagen die Patienten über Schmerzen medial unter der Ferse bei Belastung. Der Schmerz besteht häufig über Monate oder sogar Jahre (Cole, Seto et al. 2005). Typischerweise tritt der Schmerz vor allem bei den ersten morgendlichen Schritten, längerem Stehen oder sportlichen Aktivitäten auf (Singh, Angel et al. 1997, Pfeffer 2001, Cole, Seto et al. 2005, Lareau, Sawyer et al. 2014). Auch Barfußlaufen, Laufen auf den Zehenspitzen oder Treppensteigen kann den Schmerz verstärken (Cole, Seto et al. 2005). Eine Ausstrahlung des Schmerzes ist selten (Pfeffer 2001, Lareau, Sawyer et al. 2014).

Eine isolierte Plantarfasziitis zeigt sich in der Regel mit einer Beteiligung der darüberliegenden Faszie des Mittelfußes (Baxter and Pfeffer 1992, Lareau, Sawyer et al. 2014). Die Diagnose einer proximalen Plantarfasziitis ist eine klinische Diagnose, die auf Grundlage der Symptome des Patienten, sowie eines manuell auslösbaren Druckschmerzes und eine Reproduzierbarkeit des Schmerzes getroffen wird (Pfeffer 2001). Typischerweise klagen die Patienten über Schmerzen im Bereich des Ansatzes an der Tuberositas medialis calcaneae. Der größte Druckschmerz jedoch ist im Bereich des Mittelfußes. Dorsalextension der Großzehe verstärkt die Schmerzen (Baxter and Pfeffer 1992, Lareau, Sawyer et al. 2014).

An anderer Stelle wird beschrieben, dass klinisch bei einer proximalen Plantarfasziitis der maximale Druckschmerz im Bereich der medialen Tuberositas ist (Lareau, Sawyer et al. 2014) und keine Verstärkung des Schmerzes durch eine passive Dorsalextension besteht (Pfeffer 2001).

Die Bildgebung ist in der Regel bei der Diagnose einer Plantarfasziitis nicht hilfreich. Beim Verdacht auf das Vorliegen einer anderen Pathologie sollte jedoch eine Bildgebung erfolgen (Cole, Seto et al. 2005). Ultraschalluntersuchungen und MRTs zeigen eine Verdickung der proximalen Plantarfaszie (Kier 1994, Groshar, Alperson et al. 2000), die vereinbar mit einer Veränderung einer chronischen Entzündung sind. Diese Untersuchungen sollten für Patienten, die eine diagnostische Herausforderung sind, aufgespart werden. Selbst eine konventionelle Röntgenaufnahme ist bei einem klassischen Bild einer proximalen Plantarfasziitis nicht zwingend notwendig (Pfeffer 2001).

#### Distale Plantarfasziitis

Eine seltene aber mögliche Ursache für einen Fersenschmerz ist die distale Plantarfasziitis (Pfeffer 2001). Hierbei verspürt der Patient einen Druckschmerz im Bereich der Mitte der Plantarfaszie. Der Schmerz verstärkt sich durch eine Dehnung der Plantarfaszie (Pfeffer 2001). Betroffen sind vor allem Sprinter und Mitteldistanzläufer, die auf den Zehen laufen. Auch ein signifikanter Pes planus oder Pes cavus scheinen prädisponierend zu sein (Pfeffer 2001).

Eine passive Dorsalextension der Großzehe kann bei beiden Formen der Plantarfasziitis schmerzhaft sein. Vorsichtige Palpation unter Bewegung bestätigt die Diagnose (Pfeffer 2001).

### **1.3.2 Plantarer Fersensporn**

Plantare Fersensporne zeigen sich an der hinteren plantaren Fläche des Calcaneus (Kirkpatrick, Yassaie et al. 2017). Meist entsteht dieser an dem größeren lateralen Tuberculum des Calcaneus (Kenzora 1987). In einer kryomikrotomischen Untersuchung wurde dargestellt, dass der plantare Fersensporn häufig Kontakt mit dem M. flexor digitorum brevis hat. Teilweise waren auch der M. quadratus plantae oder das Lig. longitudinale plantae in die Fersenspornformation mit einbezogen (McCarthy and Gorecki 1979).

Zhou et al. beschreiben zwei verschiedene Arten von plantaren Fersenspornen: Typ A liegt oberhalb der Plantarfaszie und ist häufiger. Typ B geht von der Insertion der Plantarfaszie aus und zieht in die Plantarfaszie hinein. In der Studie mit 30 Probanden ist der Fersensporn Typ A im Durchschnitt signifikant länger als der Typ B (9.74 +/- 1.94 mm versus 5.43 +/- 1.78 mm). Dieses zeigt sich im präoperativen Röntgen und bestätigt sich intraoperativ. Patienten mit dem Fersensporn Typ B hatten präoperativ mehr Schmerzen und zeigen intraoperative eine schwerere Plantarfasziitis. Alle zeigen präoperativ im MRT Zeichen einer Plantarfasziitis im Sinne eines Ödems. Zwölf Monate postoperative lässt sich im MRT eine signifikante Verbesserung der Plantarfasziitis darstellen (Zhou, Zhou et al. 2015).

Kuyucu unterscheidet die plantaren Fersensporne nicht weiter. In seiner Studie mit 75 Probanden korrelieren die Länge des Fersenspornes positiv mit der Schmerzintensität. Auf den Winkel oder die genaue Lokalisation geht er nicht weiter ein (Kuyucu, Kocyigit et al. 2015). Die meisten anderen Autoren sehen keine Korrelation zwischen der Länge des Fersenspornes und der Klinik (McCarthy and Gorecki 1979, Mucke, Schonekaes et al. 2003).

Die Ätiologie des plantaren Fersenspornes ist nicht vollständig geklärt. Es bestehen hierzu mehrere Theorien (Kirkpatrick, Yassaie et al. 2017). Klassischerweise wird beschrieben, dass repetitiver Stress beziehungsweise Dehnung der Plantarfaszie, der intrinsischen Muskulatur oder des Lig. plantare longum an ihrem Ursprung zur Entstehung eines plantaren Fersenspornes führen können. Wearing et al. sagen, dass ein Fersensporn nicht als Resultat exzessiver Traktion zu entstehen scheint, sondern als Antwort auf Biegungskräfte am Ansatz (Wearing, Smeathers et al. 2006). Die Signifikanz eines Fersenspornes bei der Entstehung einer Plantarfasziitis ist unklar, da es auch asymptotische Fersensporne gibt (Wearing, Smeathers et al. 2006). Es scheint als sei der Fersensporn eher ein Resultat von Entzündungen, als eine Ursache von Entzündungen (McCarthy and Gorecki 1979). Einige Gründe die Fersenschmerz verursachen können, scheinen in der Ätiologie von plantaren Fersenspornen hervorzutreten. Dies sind Risse in der Plantarfaszie, Plantarfasziitis, Frakturen des Calcaneus und Fettpolsteratrophien (Kirkpatrick, Yassaie et al. 2017).

Größe des Fersensporns, Komprimierung des N. Baxter, umgebende Entzündungen, Fettpolsterentzündungen oder -degenerationen könnten Faktoren sein, die Einfluss haben ob ein Fersensporn Fersenschmerzen verursacht oder nicht (Kirkpatrick, Yassaie et al. 2017).

Ca. 15% der Erwachsenen ohne Fersenschmerz scheinen einen Fersensporn zu haben, wohin gegen bei 50% der Erwachsenen mit Fersenschmerzen ein Fersensporn nachzuweisen ist (Tanz 1963, Sammarco and Helfrey 1996). Bei einer diagnostizierten Plantarfasziitis jedoch haben 80% der Patienten einen Fersensporn (Kuyucu, Kocyigit et al. 2015).

Diagnostisch korreliert bei Zhou et al. der präoperative Befund des Röntgen und des MRTs mit dem intraoperativen Befund. Für die korrekte Diagnose und Klassifikation der Plantarfasziitis und des Fersensporn, könnte somit diese Diagnostik eine wichtige Rolle spielen (Zhou, Zhou et al. 2015).

Davies et al zeigten, dass bei der konservativen Behandlung eines Fersenschmerzes, das Vorhandensein eines Fersenspornes keinen Einfluss auf das Outcome hat (Davis, Severud et al. 1994)

### **1.3.3 Klassisches Tarsaltunnelsyndrom**

Bei dem klassischen Tarsaltunnelsyndrom besteht die Kompression des N. tibialis oder seinen Ästen im Tarsalkanal hinter dem Malleolus medialis (Heimkes, Posel et al. 1987). Klassischerweise ist nur eine Seite betroffen (Erickson, Quinn et al. 1990).

Alle Veränderungen, die zu einer Raumforderung oder einem Druckanstieg innerhalb des Tarsalkanals führen, können ein Tarsaltunnelsyndrom verursachen. Hier sind posttraumatische Verwachsungen, Schwellung, Knochensporne vom Talus oder der medialen Fläche des Calcaneus ausgehend, chronische Entzündungen, gutartige Tumore und Varikosis zu nennen (Chari and McNally 2018). Aber auch Überlastungen, im Sinne von rezidivierenden Microtraumata durch repetitive Dehnung oder Kompression, können zu einer Schädigung des Nervens im Tarsaltunnel führen. Dies ist insbesondere bei Sportlern mit Prädisposition der Fall (Schon 1994). Prädisponierend scheinen eine Veränderung in der Biomechanik, wie z.B. ein Pes planus, mit einer Überpronation zu sein (Kopell and Thompson 1960, Chari and McNally 2018). Durch eine hypermobile Art. subtalare kann es bei Überpronation zu einer Dehnung des N. tibialis über die Prominenz des hinteren medialen Talus kommen (Baxter 1993). Dies wurde aber bisher noch nicht ausreichend belegt (Pfeffer 2001). Bei dem Pes planus, als Ursache für das klassische Tarsaltunnelsyndrom, scheinen durch die Valgusstellung des Rückfußes und die Abduktionsstellung des Vorfußes die Nerven unter Zug zu kommen (Daniels, Lau et al. 1998). Daniels et al. zeigten mit Untersuchungen an neun Körperspendern, dass der N. tibialis innerhalb des Tarsalkanals bei Eversion und Plantarflexion unter Zug gerät. Bei der Kombination der beiden Bewegung entsteht sogar noch mehr Zug auf den Nerven. Im Anschluss an diese Messung wurde eine Instabilität

herbeigeführt. Hierdurch entstand ein noch größerer Zug bei den entsprechenden Bewegungen auf den N. tibialis (Daniels, Lau et al. 1998). Systemisch entzündliche Gelenkerkrankungen, Diabetes und rheumatoide Arthritis scheinen ebenfalls eine Rolle zu spielen (Ahmad, Tsang et al. 2012).

Der Schmerz ist in der Regel diffuser als bei einer selektiven Einklemmung des ersten Astes des NPL oder einer Plantarfasziitis. In der Literatur wird sowohl ein posteriomedialer Knöchelschmerz (Schon 1994, Lareau, Sawyer et al. 2014), als auch ein brennender Schmerz mit Parästhesien in der Fußsohle und den Zehen (Havel, Ebraheim et al. 1988, Schon 1994) beschrieben. Die neurologischen Symptome sind davon abhängig, welches Areal genau betroffen ist (Chari and McNally 2018). Typisch ist ein Druckschmerz im Bereich des Retinaculum flexorum. Zudem sollte ein Beklopfen des Nervens im Bereich des Tarsaltunnels die Symptome auslösen (Schon 1994, Pfeffer 2001). Auch Provokationstests, wie forcierte Dorsalextension mit Eversion, können durch eine Dehnung des N. tibialis den Schmerz reproduzieren (Lareau, Sawyer et al. 2014). Stehen und Aktivitäten verstärken den Schmerz. Dysästhesien können auch im Schlaf auftreten (Lareau, Sawyer et al. 2014).

Einige Autoren unterteilen das klassische Tarsaltunnelsyndrom in ein proximales und ein distales Tarsaltunnelsyndrom. Beide liegen in dem beschriebenen Tarsaltunnel. Bei dem Proximale ist die Kompression vor der Teilung in den NPL und NPM, bei dem Distalen nach der Teilung, sodass selektiv nur der NPL oder der NPM komprimiert werden (Heimkes, Posel et al. 1987, Schon 1994). Dies kann zur Verwirrung mit anderer Terminologie führen.

#### **1.3.4 Hohes Tarsaltunnelsyndrom / proximales N. tibialis Kompressionssyndrom**

Das proximale Tibialiskompressionssyndrom entspricht einem hohen posterioren Kompartmentsyndrom. Die Einengung des N. tibialis liegt oberhalb des Tarsaltunnels am unteren Rand des M. gastrocnemius im Bereich der mittleren Tibia (Baxter 1993). Die Symptome können bis in den Vorfuß reichen.

EMG Untersuchungen oder eine Messung der Nervenleitgeschwindigkeit sind hilfreich bei der Diagnostik. Diese sind zwar nicht immer pathologisch, insbesondere dann nicht, wenn die Kompression nur bei Belastung auftritt. Wenn die EMG Untersuchung aber pathologisch ist, ist die Diagnose gesichert (Baxter 1993).

#### **1.3.5 Calcaneus Stressfraktur**

Calcaneus Stressfrakturen sind sehr selten und nur bei Patienten zu beobachten, die signifikanten Fersenstress haben, wie z.B. Rekruten (Pfeffer 2001).

Symptom ist ein diffuser, über der gesamten Ferse bestehender Schmerz. Dieser tritt zunächst bei Belastung, später auch in Ruhe auf (Anderson 1990, Tu and Bytowski 2011). Zudem

berichten die Patienten über eine prolongierte, intensive Belastung in der Vorgeschichte (Pfeffer 2001). Es lässt sich ein Druckschmerz bei simultaner medialer und lateraler Kompression auslösen (Fredericson, Jennings et al. 2006). Die Fraktur lässt sich häufig zunächst nicht auf einem konventionellen Röntgenbild abgrenzen, sodass zur sicheren Diagnose eine MRT notwendig ist (Tu and Bytowski 2011).

Eine Entlastung an Unterarmgehstützen ist empfohlen. Meisten verschwinden die Symptome nach sechs bis acht Wochen. Zudem sollte eine Modifizierung der Aktivität angeschlossen werden (Pfeffer 2001).

### **1.3.6 Fad pad Syndrom**

Das Fersenfett wird bei älteren Menschen und Patienten mit Diabetes mellitus unelastischer und nimmt an Dicke ab (McCarthy and Gorecki 1979, Lareau, Sawyer et al. 2014). Eine Abnahme kann zu Beschwerden führen (Lareau, Sawyer et al. 2014).

Patienten mit einem Fad pad Syndrom klagen häufig über einen tiefen Schmerz, meist in der Mitte der Ferse, der durch Palpation reproduziert werden kann (Tu and Bytowski 2011, Lareau, Sawyer et al. 2014). Der Schmerz verstärkt sich häufig durch Gehen mit harten Sohlen bzw. auf hartem Untergrund (Alshami, Souvlis et al. 2008, Lareau, Sawyer et al. 2014). Maximaler Druckschmerz besteht an der gewichtstragenden Stelle der Ferse. Der Schmerz ist nicht ausstrahlend (Pfeffer 2001). Eine Bildgebung ist zur Diagnosestellung zwar nicht nötig, sollte aber, um andere Pathologien auszuschließen, in Erwägung gezogen werden (Lareau, Sawyer et al. 2014). Eine MRT ist in der Regel nicht notwendig, zeigt aber ein Ödem und Atrophie des Fersenfettes (Lareau, Sawyer et al. 2014).

Eine Behandlung ist am effektivsten mit weichen Sohlen und Fersenpolstern. Pause, Kryotherapie und antiinflammatorische oder analgetische Medikamente lindern den Schmerz (Tu and Bytowski 2011).

### **1.3.7 Kompression des N. Baxter („distales Tarsaltunnel Syndrom“, „Baxter Neuropathie“)**

Eine Kompression des N. Baxter ist an unterschiedlichen Stellen beschrieben:

- Zwischen der tiefen Faszie des M. abductor hallucis und dem medialen, caudalen Rand des medialen Kopfes des M. quadratus plantae (Przylucki H 1981, Baxter and Thigpen 1984, Baxter, Pfeffer et al. 1989, Baxter and Pfeffer 1992, Pfeffer 2001).
- An der Stelle, an der der erste Ast des NPL distal an der medialen Tuberositas calcaneae vorbei zieht (Baxter and Thigpen 1984, Baxter, Pfeffer et al. 1989).
- Ein Fersensporn oder eine Entzündung könnte am Ursprung des M. flexor digitorum brevis oder der Plantarfaszie durch eine Schwellung zur Kompression führen



(Rondhuis and Huson 1986, Baxter, Pfeffer et al. 1989, Schon 1994, Sammarco and Helfrey 1996, Pfeffer 2001, Elsner, Filler et al. 2015).

- An der Stelle, an welcher der N. Baxter unter die tiefe Faszie des M. abductor hallucis verläuft (Sammarco and Helfrey 1996).
- Eine Hypertrophie, ein zusätzlicher Bauch eines Muskels der kurzen Fußmuskulatur oder Fibrotisierungen nach Mikrotraumata könnten zu einer Kompression führen (Rondhuis and Huson 1986)

Zudem scheint eine Plantarfazitiis die Entstehung einer Einengung des ersten Astes des NPL begünstigen zu können (Baxter and Pfeffer 1992, Pfeffer 2001).

Die Patienten beklagen klassisch einen brennenden, scharfen, einschießenden, elektrischen Schmerz, lokalisiert oder ausstrahlend. Punktum maximum geben die Patienten mediocalcaneal an. Teilweise kann der Schmerz auch über plantar nach lateral ausstrahlen (Elsner, Filler et al. 2015).

Typischerweise ist der Schmerz während oder nach belastenden Aktivitäten verstärkt (Pfeffer 2001) und verbessert sich bei Schonung. Teilweise jedoch kann der Schmerz auch bei Schonung und Entlastung beobachtet werden. Zusätzlich kann nächtlicher Schmerz durch Kompression, welche durch venöse Stase bedingt ist, entstehen. (Alshami, Souvlis et al. 2008). An anderer Stelle in der Literatur wird morgendlicher Schmerz als untypisch beschrieben (Pfeffer 2001), teilweise aber auch als möglich wenn ein übersättigter Venenplexus zu einer Kompression führt (Baxter 1993). Gegensätzlich hierzu wird beschrieben, dass der Schmerz oftmals morgendlich mehr ist (Elsner, Filler et al. 2015).

Sportler, die viel Zeit auf ihren Zehen verbringen, wie z.B. Sprinter und Balletttänzer, sind prädispositioniert für eine Einengung des ersten Astes des NPL, da bei diesen der M. abductor hallucis stark ausgeprägt ist (Pfeffer 2001). Sportler mit hypermobilen Fußgelenken, die während des Laufens überpronieren, könnten durch eine chronische Dehnung des Nervens prädispositioniert sein. Auch eine Hypertrophie des M. quadratus plantae könnte prädispositionierend sein (Baxter 1993). Eine Verstärkung des Schmerzes ist durch eine Eversion und Abduktion zu erzielen (Chari and McNally 2018).

### **1.3.8 Kompression des R. calcaneus**

Der R. calcaneus ist ein sensorischer Nerv, der in der Regel als hinterster Ast, proximal der Aufteilung in den NPM und NPL, vom N. tibialis posterior abgeht. Der R. calcaneus kann das Retinaculum flexorum durchbrechen oder zwischen dem Retinaculum flexorum und der Faszie des M. abductor hallucis aus dem Tarsalkanal austreten (Baxter 1993) Bei der

Abspaltungshöhe und den Verläufen gibt es eine große Variabilität (Chari and McNally 2018, Moroni, Zwierzina et al. 2018).

### **1.3.9 Seltene Ursachen**

Selten können auch Tumore, vaskuläre-, infektiöse- und systemische Erkrankungen zu plantaren Fersenschmerz führen. Diese sollten differentialdiagnostisch bedacht werden (Lareau, Sawyer et al. 2014). Insbesondere bei beidseitigen Beschwerden sollte eine systemische Ursache der Beschwerden in Betracht gezogen werden (Furey 1975).

## **1.4 Diagnostik Fersenschmerz**

Eine sorgfältige Anamnese und körperliche Untersuchung, sowie ein gutes Röntgenbild sind notwendig um die verschiedenen Ursachen eines Fersenschmerzes zu differenzieren (Kenzora 1987). Wenn sich ein Fersenschmerz atypisch präsentiert oder der Patient nicht auf eine konservative Therapie anspricht, ist eine MRT Untersuchung hilfreich. Sie kann in vielen Fällen verifizieren, ob es sich um eine Veränderung des Calcaneus, der Plantarfaszie, der Sehnen oder der Nerven handelt (Kier 1994).

Vor einer operativen Versorgung eines Fersenschmerzes sollte bei geringstem Verdacht eine Doppler Untersuchung durchführen, da ein Fersenschmerz auch durch eine arterielle Minderversorgung entstehen kann (Kenzora 1987).

Zudem sollten Einklemmungen von proximal gelegenen Strukturen ausgeschlossen werden, die auch zu einem Fersenschmerz führen können. Hierzu zählen eine Radikulopathie der Nervenwurzeln L5 und S1 (Baxter, Pfeffer et al. 1989), eine Einklemmung des Nervens tibialis oder seiner Äste (NPL, NPM), z.B. im Sinne eines Tarsaltunnelsyndroms (Pfeffer 2001, Elsner, Filler et al. 2015).

Ein Problem bei der Diagnostik ist, dass gerade Kompressionen nicht dauerhaft, sondern nur bei Belastungen oder bestimmten Bewegungen auftreten können. Hier ist eine genaue Anamnese, sowie eine funktionelle Untersuchung notwendig (Baxter 1993). Ein weiteres Problem ist, dass Pathologien auch kombiniert auftreten können, beispielsweise eine Plantarfasziitis mit einer Kompression des ersten Astes des NPL oder einer Einengung eines Nervens auf zwei unterschiedlichen Höhen. Dies stellte eine diagnostische Herausforderung dar.

Insbesondere bei beidseitigem Fersenschmerz muss auch an systemische Ursachen wie z.B. rheumatoide Arthritis, rheumatoides Spondylitis, systemischer Lupus erythematosus oder auch Gicht gedacht werden (Furey 1975).

Natürlich müssen auch traumatische Ursachen anamnestisch ausgeschlossen werden.

### **1.4.1 Plantarfasziitis**

In der Regel ist die Plantarfasziitis eine klinische Diagnose.

Bei persistenten Schmerzen, gerade wenn es um die Entscheidung oder Planung einer Operation geht, ist die MRT ein hilfreiches und sinnvolles diagnostisches Mittel. Hier lässt sich bei einer Plantarfasziitis eine Dickenzunahme der Plantarfaszie darstellen. Meist ist diese auf 6-10mm verdickt. Normalerweise beträgt die Dicke 2-4mm (Kier 1994). Zudem lassen sich auch andere Ursachen, die zu einem Fersenschmerz führen, verifizieren.

Sonographisch lässt sich eine Verdickung und eine verminderte Echogenität der Plantarfaszie darstellen. Der Cutoff scheint bei ca. 3,9mm zu liegen. Hierbei ist die Sensitivität 74.1% und die Spezifität 71,4% (Groshar, Alperson et al. 2000).

### **1.4.2 Tarsaltunnelsyndrom**

Die Diagnose eines Tarsaltunnelsyndroms setzt sich aus der Anamnese, einem positiven Tinelzeichen und elektrophysiologischen Tests zusammen (Erickson, Quinn et al. 1990). Ein unauffälliger elektrophysiologischer Test schließt jedoch ein Tarsaltunnelsyndrom nicht aus (Fantino 2014).

Sowohl eine MRT als auch ein Ultraschalluntersuchung kann die Ursachen eines klassischen Tarsaltunnelsyndroms aufdecken. Die Ultraschalluntersuchung ist zwar kosteneffizienter, aber auch Untersucher abhängig (Chari and McNally 2018). Bei erfahrenen Untersuchern ist die Darstellung der Abgänge des N. tibialis mit seinen vielen Normvarianten mit Hilfe eines *High-resolution* Ultraschallgerätes bis zu einer Dicke von 1mm sicher möglich (Iborra, Villanueva et al. 2018). In vielen Fällen kann *High-resolution* Ultraschall komprimierte Strukturen aufzeigen. Zudem besteht die Möglichkeit auch eine Untersuchung unter Belastung im Stand durchzuführen. Ein weiterer Vorteil ist, dass ein Ultraschall Tineltest durchgeführt werden kann. Der Ultraschall Tineltest kann auch wenn keine direkte Kompression nachgewiesen werden kann, die klinische Diagnose eines Tarsaltunnelsyndroms bestärken (Fantino 2014).

Durch eine MRT sind neurovaskulären und muskulären Strukturen exzellent darzustellen. Hierdurch kann es möglich sein, die Struktur, die Kompression oder Traktion im Bereich des Tarsalkanals auslösen könnte, gut darzustellen. Somit kann die MRT ein hilfreiches Mittel für die genaue Diagnose und eventuelle Operationsplanung darstellen (Erickson, Quinn et al. 1990, Kerr and Frey 1991).

Einer MRT oder einer Ultraschalldiagnostik sollte ein klassisches Röntgenbild vorangehen (Fantino 2014).

### **1.4.3 Diagnostik einer Einengung des ersten Astes des NPL**

Auch die Diagnose einer Kompression des ersten Astes des NPL ist eine klinische Diagnose. Die klinische Expertise des Untersuchers, der die Indikation zur Operation stellt, ist entscheidend, ob ein Patient mit einem chronischen Fersenschmerz von einer Dekompression profitiert. Dieser muss zwischen einer Kompression der ersten Astes der NPL oder einer häufigeren Ursache eines chronischen Fersenschmerzes, wie z.B. Plantarfasziitis oder Fat Pad Syndrom, unterscheiden (Baxter and Pfeffer 1992). Pathognomisches Zeichen einer Kompression des ersten Astes des NPL ist der maximale Druckschmerz in dem Bereich, in dem der Nerv zwischen der straffen Faszie des M. abductor hallucis und dem medialen Rand des M. quadratus plantae eingengt ist (Baxter and Pfeffer 1992, Baxter 1993, Pfeffer 2001).

Wenn zeitgleich eine Plantarfasziitis besteht, wird der Patient auch einen Druckschmerz im Bereich der proximalen Plantarfaszie haben. Der Druckschmerz sollte ohne Dehnung des Nervens überprüft werden (Pfeffer 2001).

Zudem könnte eine Schwäche des M. abductor digiti minimi auffallen. Es sollte allerdings kein sensorisches Defizit bestehen (Pfeffer 2001).

Elektromyographien scheinen für die Diagnostik einer Einengung des ersten Astes des NPL nicht sinnvoll zu sein (Baxter and Pfeffer 1992). Die Messung der Nervenleitgeschwindigkeit erscheint ebenfalls nicht hilfreich (Chari and McNally 2018) und stellt eine große Herausforderung dar, da der Nerv vor allem in der Dynamik komprimiert wird (Pfeffer 2001). In einem *Casereport* hingegen wird beschrieben, dass über ein Nadel EMG Auffälligkeiten isoliert in dem M. abductor digiti minimi festgestellt werden konnten. Das daraufhin durchgeführte Release des N. Baxter führte in beiden beschriebenen Fällen zu einem sehr guten Ergebnis (Ngo and Del Toro 2010).

*High-resolution* Ultraschall könnte eine gute Technik sein, um eine Einklemmung des Nervens aufzuzeigen. Chari et al. beschreiben, dass man mit Hilfe eines *High-resolution* Ultraschalls, den Nerven visualisieren kann und ggf. die Zeichen einer Muskelatrophie oder raumfordernde Strukturen erkennen kann (Chari and McNally 2018). Presley untersuchte ebenfalls die Darstellbarkeit des ersten Astes des NPL mit einem Ultraschallgerät. Eine Darstellung weiter distal im Bereich des M. flexor digitorum brevis und M. quadratus plantae war auf Grund des geringen Kalibers des Nervens, der komplexen Anatomie und der Dicke des Fersenfettes nicht möglich (Presley, Maida et al. 2013). Es wurde die Bifurkation des N. tibialis per Ultraschall bei nicht fixierten Körperspendern aufgesucht. In diesem Bereich wurde nach dem Abgang des ersten Astes des NPL gesucht und nach weiter distal verfolgt, bis er zwischen dem M. flexor digitorum brevis und dem M. quadratus plantae verschwindet (Presley, Maida et al. 2013). Bei höheren Abgängen des ersten Astes des NPL ist dieses Vorgehen nicht möglich. Es wurden dann Ultraschall gesteuert, bevor der Nerv zwischen dem M. flexor digitorum und M. quadratus plantae verschwindet, perineural mit Latex von anterior nach posterior infiltriert. In der anschließenden Dissektion zeigte sich, dass mit dieser Technik in elf von zwölf Fällen der erste Ast des NPL rundherum infiltriert werden konnte. Es gab nur leichten Kontakt mit dem Latex zu dem R. calcaneus in zwei von zwölf Fällen und bei einer Infiltration mit dem MPN. Eine Infiltration oder Verletzungen wurde weder von Blutgefäßen noch von der Plantarfaszie entdeckt (Presley, Maida et al. 2013), sodass man davon ausgehen kann, dass mit dieser Technik der erste Ast des NPL gut und sicher aufgefunden und infiltriert werden kann. Allerdings wurde die Infiltration durch einen sehr erfahrenden Untersucher durchgeführt und die Visualisierbarkeit war in vielen Fällen nicht gut. Eine Einklemmung im distalen Bereich scheint mit dieser Technik aber nicht sichtbar gemacht werden zu können. Weitere Studien

sind für die Aussagekraft und eine Übertragung auf den Lebenden nötig (Presley, Maida et al. 2013).

In der MRT ist die Einklemmung des N. Baxters nicht sichtbar (Schmid, Hodler et al. 2009). Als indirektes Zeichen einer Denervation kann eine fettige Atrophie des M. abductor digiti minimi (Schmid, Hodler et al. 2009, Chimutengwende-Gordon, O'Donnell et al. 2014, Chari and McNally 2018) oder auch ein Ödem (De Maeseneer, Madani et al. 2015) zu sehen sein. Abgesehen davon tritt eine fettige Atrophie jedoch auch als Zufallsbefund bei asymptomatischen Patienten auf (Schmid, Hodler et al. 2009, Chari and McNally 2018). In einer Studie von Recht et al. zeigten auch 15% der Patienten ohne Fersenschmerzen eine Atrophie des M. abductor digiti minimi. Allerdings zeigten diese Patienten auch Zeichen einer chronischen Druckläsion, nicht aber die einer akuten Druckläsion. Die Autoren vermuten, dass die Beschwerden verschwinden, sobald es zu einer fettigen Atrophie der Muskulatur kommt. Sie nehmen weiterhin an, dass eine chronische Einengung des Nervens zu einem Fehlen von Symptomen führen kann (Recht, Grooff et al. 2007).

Bei der Studie von Rodrigues et al. wurden MRTs, die eine fettige Atrophie des M. abductor digiti minimi aufwiesen, nochmals gezielt auf eine Einklemmung des N. Baxter untersucht. Hier zeigte sich eine große Korrelation zwischen dem Vorhandensein einer Plantarfasziitis und einer fettigen Muskelatrophie (Rodrigues, Lopes et al. 2015).

Farooki et al. beschreiben, dass mit *High-resolution* MRT der erste Ast des NPL evaluiert werden kann. Er ließ sich in einer Studie an Körperspendern ausnahmslos darstellen. Zudem besteht die Möglichkeit in der *High-resolution* MRT auch die umgebenen Knochen und Weichteile zu beurteilen (Farooki, Theodorou et al. 2001). Allerdings zeigt nur die Darstellbarkeit des Nervens bei Körperspendern noch nicht, dass sich auch entsprechende Pathologien zuverlässig differenzieren lassen.

## **1.5 Behandlungsmethoden**

### **1.5.1 Therapieansätze**

Bei der Therapie des chronischen Fersenschmerzes gibt es verschiedene Ansätze. Für die Differentialdiagnosen Calcaneus Stressfraktur, klassisches Tarsaltunnelsyndroms, hohes Tarsaltunnelsyndrom, Fad Pad Syndrome und Kompression des R. calcaneus, sowie den seltenen Ursachen wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen. Diese sind gut abzugrenzen und gezielt zu behandeln.

Die Behandlung der Plantarfasziitis, einem Fersenspornsyndrom und einer Einengung des N. Baxters ist zunächst gleich (Pfeffer 2001). Hierzu gibt es unterschiedliche Behandlungsansätze. Einen eindeutigen Beweis, dass eine der Therapien zu einer Heilung des Fersenschmerzes führt, gibt es nicht. Häufig scheint die Erkrankung selbstlimitierend zu sein. Ein optimaler Zeitpunkt für eine Intervention steht nicht fest (Cole, Seto et al. 2005). Es sollte sich zunächst zu einem konservativen Therapieversuch entschieden werden. Davis et al zeigten bei einer konservativen Behandlung bei 89,5% der Patienten ein erfolgreiches Outcome nach durchschnittlich 5,1 Monaten konservativer Behandlung (Davis, Severud et al. 1994). Wenn der Fersenschmerz nicht auf die konservative Therapie anspricht, gibt es eine Vielzahl von Operationsmethoden mit angemessenen Erfolgsraten (Mook, Gay et al. 2013).

Zum Zeitpunkt der operativen Versorgung gibt es unterschiedliche Empfehlungen. Guidelines des *American College of Foot and Ankle Surgeons* empfehlen eine Operation in Erwägung zu ziehen, wenn nach drei Monaten konservativer Therapie der Schmerz noch besteht (Cole, Seto et al. 2005). Andere Autoren beschreiben, dass erst nach sechs (Kenzora 1987, Sammarco and Helfrey 1996) oder auch zwölf Monaten eine operative Intervention in Betracht gezogen werden sollte (Davies, Weiss et al. 1999).

### **1.5.2 Konservative Therapie**

Erste Wahl der Therapie ist Pause von der Belastung, Dehnung vor der Belastung, Kräftigungsübungen, antiinflammatorische oder analgetische Medikation und Kryotherapie. Tapen der Fußwölbung, Schuheinlagen, Orthesen oder unterstützendes Schuhwerk können hilfreich sein. Nachtschienen, Physiotherapie und Injektionen von Kortikosteroiden werden für therapieresistenten Fersenschmerzen aufgehoben. Extrakorporale Stoßwellentherapie scheint auch einen Benefit zu haben (Tu and Bytomski 2011).

### **Nichtsteroidale Antirheumatika (NSAR)**

Fast alle Therapien beinhalten eine Behandlung mit einer Kryotherapie und NSARs, aber niemand hat bisher den alleinigen Effekt untersucht (Cole, Seto et al. 2005).

## **Sohlen/Einlagen/Unterstützung der Fußwölbung**

Tapen, zur Unterstützung der Fußwölbung ist bisher noch nicht ausreichend untersucht worden (Cole, Seto et al. 2005). Verschiedene Einlegesohlen hingegen sind untersucht worden. Ein *Randomized controlled trial* zeigt, dass Sohlen mit eingebauten Magneten nicht signifikant besser waren, als Placeboeinlagen (Winemiller, Billow et al. 2003). Pfeffer et al. zeigten in einer Untersuchung, in der sie ein Dehnprogramm mit verschiedenen Einlagen kombinierten, dass den besten Effekt die Kombination aus Stretching und einer Silikon- oder Gummieinlagen hatten. Das schlechteste Ergebnis hatten die in Neutralstellung im unteren Sprunggelenk angepassten polypropylen Einlagen. Der Unterschied war am größten bei Patienten die mehr als acht Stunden am Tag stehen. Pfeffer et al. sehen als Ursache hierfür, dass die Sohlen mit der größten Stoßdämpfung den besten Effekt haben (Pfeffer, Bacchetti et al. 1999). Hier sind Patienten mit einer Einklemmung des N. Baxters zuvor ausgeschlossen worden. Auf welche Weise diese Diagnostik durchgeführt worden ist, ist nicht ersichtlich. (Pfeffer, Bacchetti et al. 1999).

Nachtschienen führen eine milde Dorsalextension mit einer Streckung der Zehen aus. Hierbei wird die Plantarfaszie langsam gedehnt und soll für eine Heilung in einer physiologischen Länge sorgen. Möglich ist dies sowohl mit vorgefertigte, als auch mit angepasst Nachtschienen (Cole, Seto et al. 2005). Es gibt einen schwachen Beweis dafür, dass Patienten, die seit sechs Monaten unter einer Plantarfasziitis leiden von einer angepassten Schiene profitieren. So zeigen Powell et al., dass die Mehrzahl der Patienten mit einer Plantarfasziitis von einer Nachtschiene profitierten (Powell, Post et al. 1998). Probe et al. hingegen konnten keinen zusätzlich Effekt von Nachtschienen nachweisen (Probe, Baca et al. 1999).

## **Dehnung**

Dehnung fokussiert sich häufig auf die Wadenmuskulatur und die Achillessehne oder die Plantarfaszie. Patienten, die länger als 10 Monate unter Fersenschmerzen litten, scheinen von beiden Dehnungen zu profitieren (DiGiovanni, Nawoczenski et al. 2003). Etwas größer scheint der Erfolg bei der Dehnung der Plantarfaszie zu sein (DiGiovanni, Nawoczenski et al. 2003, Schwartz and Su 2014). Auch langfristig scheinen die Patienten von der Dehnung zu profitieren. Der Effekt der Dehnung des Trizeps surae und der speziellen Dehnung der Plantarfaszie glich sich an (Digiovanni, Nawoczenski et al. 2006). Welchen Effekt man erzielt, wenn man beide Dehnungen in Kombination durchführt, ist unbekannt (Cole, Seto et al. 2005). Davis et al leiteten dazu an, sowohl den Gastrocnemius Anteil als auch den Soleus Anteil des M. trizeps surae getrennt voneinander zu dehnen. Dazu hielten die Patienten eine relative Pause ein, legten eine viscoelastisches polymer Fersenkissen ein und nahmen NSARs ein. Hierunter zeigten 89,5% der Patienten ein erfolgreiches Outcome nach durchschnittlich 5,1 Monaten Behandlung (Davis, Severud et al. 1994).



## **Kortikosteroide**

Eine Injektion mit Kortikosteroiden scheint sowohl die Schmerzen zu lindern als auch für eine Abnahme der Dicke der Plantarfaszie zu sorgen. Bei Patienten, die zuvor zwei Monate konservativ behandelt worden sind, hält der Effekt bis zu drei Monate an. Die Gefahr einer Ruptur der Plantarfaszie ist zwar selten, trotzdem muss das Risiko-Nutzen-Verhältnis sorgsam abgewogen werden (Ang 2015).

## **Extracorporale Schockwellentherapie**

Es gibt einige *Systematic reviews* zur Anwendung extracorporaler Stoßwellentherapie (ESWT). Diese zeigen, dass die meisten Studiendesigns nicht gut waren und es keine klaren Beweise für die Wirksamkeit der Stoßwellentherapie gab (Cole, Seto et al. 2005). Speed et al zeigten beispielsweise, dass eine moderate Dosis ESWT keinen signifikanten Behandlungseffekt verglichen mit einer Placebobehandlung bei Patienten mit einer Plantarfasziitis hat (Speed, Nichols et al. 2003). Nur eine Studie zeigte, dass eine dreimal wöchentliche Anwendung der ESWT zu einer Reduzierung des morgendlichen Schmerzes führte (Cole, Seto et al. 2005).

## **Autotransfusion von thrombozytenreichem Plasma**

Ein neuerer Therapieansatz ist, nach vergeblicher konservativer Therapie, eine Autotransfusion mit thrombozytenreichen Plasma durchzuführen. Hierdurch soll die Geweberegeneration verbessert werden (Wilson, Lee et al. 2014). In ersten Studien zeigte sich eine signifikante Verbesserung der Schmerzen und der Funktion bei Patienten mit einer Plantarfasziitis nach drei Monaten vergeblicher konservativer Therapie (Wilson, Lee et al. 2014). Hierfür gibt es bisher aber nur einen Evidenzgrad 4. Weitere Studien hierzu müssen noch folgen.

### **1.5.3 Operative Therapie**

Bei der operativen Behandlung des therapieresistenten Fersenschmerzes gibt es unterschiedliche Operationsmethoden. In der Regel bestehen sie aus einer oder mehrerer der drei folgenden Komponenten: partielle Plantarfasziektomie, Release des N. Baxters, Abtragung eines eventuell vorhandenen Fersensporns.

Es besteht sowohl die Möglichkeit einer offenen Operation als auch einer endoskopischen Operation.

#### **Offene Operationen**

Hierbei wird beispielsweise ein Teil der tiefen Faszie des M. abductor hallucis entfernt. Die tiefe Faszie wird von unten nach oben geteilt. Wenn ein Fersensporn vorhanden ist, wird dieser abgetragen. Zum Schluss wird mit einer kleinen Arterienklemme der Nerv verfolgt, um sicher

zu gehen, dass dieser frei ist (Baxter and Pfeffer 1992). Diese Operation führte bei 89% zu guten bis sehr guten Ergebnissen bei Patienten mit vorheriger erfolgloser konservativen Therapie. Bei der Erfolgsaussicht der Operation gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen dem Vorhandensein eines Fersenspornes oder nicht (Baxter and Pfeffer 1992).

Durchschnittlich benötigen die Patienten, um ihre alltäglichen Aktivitäten wieder durchzuführen, drei Monate (Pfeffer 2001).

Sammarco & Helfrey führten bei 35 Patienten, die zuvor im Durchschnitt 21,5 Monate (7-62 Monate) erfolglos konservativ behandelt wurden, eine operative Behandlung durch. Hierbei wurde zunächst eine 3cm lange Schräginzision über der medialen Ferse durchgeführt, dann wurde mit einer Lupe die medialen calcaneal Äste dargestellt. Diese wurden zur Seite gehalten, um den M. abductor hallucis darzustellen. Hiernach wurde ein Release der oberflächlichen und tiefen Faszie unter Sicht durchgeführt und der N. Baxter visualisiert. Als nächster Schritt wurde die Plantarfaszie am unteren Rand freigelegt, um durch einen circa 1cm breite und 1cm tiefe Exzision der Plantarfaszie im medialem Bereich Nahe des Ursprungs einen Zugang zu schaffen. Durch diesen Zugang kann der Fersensporn entfernt werden, falls dies notwendig ist, um Druck vom N. Baxter zu nehmen. Es wurde eine Entlastung für ein bis zwei Wochen bis zum Abschluss der Wundheilung angestrebt. Danach wurde ein Fersenentlastungsschuh für drei Wochen verordnet. 92 % der Patienten hatten nach dieser Operation ein zufriedenstellendes Ergebnis. Die Patienten konnten im Durchschnitt nach 5,6 Wochen wieder Arbeit gehen und nach 8,7 Monaten ihre Arbeit bzw. Aktivitäten wieder ohne Einschränkungen durchführen (Sammarco and Helfrey 1996).

Conflitti et al. zeigten, dass 96% der Patienten mit einer Plantarfasziitis, die nicht auf eine konservative Therapie ansprachen, durch eine partielle plantare Fasziektomie und eine Neurolyse des N. Baxters effektiv (87% mit komplett zufriedenstellend und 9% mit zufriedenstellenden Operationsergebnissen) behandelt werden konnten (Conflitti and Tarquinio 2004). Die Patienten zeigten in der körperlichen Untersuchung alle einen plantaren medialen Fersenschmerz mit einem Druckschmerz am Ursprung der Plantarfaszie und an der medialen Ferse über dem Ursprung des M. abductor hallucis. Bei der operativen Versorgung wurde ein 8x8 mm großer Teil der medialen Plantarfaszie nahe dem Ursprung entfernt. Das laterale Viertel bis Drittel wurden intakt gelassen. Der N. Baxter wurde unterhalb des M. flexor digitorum brevis *released*. Eine Lösung der Faszie des M. flexor digitorum brevis wurde, wenn es nötig war, durchgeführt. Vorhandene Fersensporne wurden vor Ort belassen. Es wurde eine Entlastung für zehn bis 14 Tage eingehalten. Eine Vollbelastung wurde, soweit toleriert, nach drei bis vier Wochen postoperative erlaubt (Conflitti and Tarquinio 2004). Leider gab es keine Kontrollgruppe. Weder eine konservative noch eine, bei der nur eine partielle Fasziektomie oder nur eine Neurolyse durchgeführt wurde.

Bei der Studie von Tountas & Fornasier wurden 20 Patienten mit einem therapieresistenten Fersenschmerz operativ versorgt. Hierbei wurde bei 16 Patienten ein Fersensporen abgetragen. Nach einer Fersensporenabtragung zeigten acht von 16 Patienten eine erneute Fersensporenkonfiguration, auch wenn in der direkten postoperativen Kontrolle der Fersensporen bei 15 vollständig abgetragen worden war. In der Operation war ebenfalls eine partielle Fasziotomie durchgeführt worden. Die Reformation des Fersensporns hatte keine Korrelation mit dem Outcome oder der Abflachung der Längswölbung (Tountas and Fornasier 1996). Postoperative zeigten 90% ein gutes Ergebnis. Es wurde keine gezielte Neurolyse durchgeführt. Bei dem Zugang zu dem Fersensporen, wird aber vermutlich auch teilweise dekomprimiert.

Eine Calcaneusanbohrung bei der Dekompression des N. Baxter hat ein besseres Outcome als ein alleiniges Release bei Patienten mit therapieresistenten Fersenschmerzen (Sadek, Fouly et al. 2015).

### **Endoskopische Operation**

Es besteht sowohl die Möglichkeit der oben beschriebenen offenen Operationen als auch einer endoskopischen Operation. Die endoskopische Operation, ist für den Operateur sehr viel anspruchsvoller. Zudem ist ein Release des N. Baxters bei der endoskopischen Operation nicht möglich (Sadek, Fouly et al. 2015).

Eine Möglichkeit der endoskopischen Versorgung ist die Entfernung des medialen Drittels der Plantarfaszie (ca. 7-10 mm). Mehr sollte nicht entfernt werden um die Stabilität der Längswölbung nicht zu gefährden (Bader, Park et al. 2012). 80% der Patienten gaben nach der Operation an, von Schmerzen befreit zu sein. Die Rückkehr in den Beruf war im Durchschnitt nach 6,3 Wochen wieder möglich.

Am dritten postoperativen Tag wird der erste Verbandswechsel durchgeführt. Hiernach darf der Patient, sobald er es toleriert, wieder normales Schuhwerk tragen. Schmerzadaptierte Belastung ist sofort wieder erlaubt (Barrett, Day et al. 1995). Die minimalinvasive Technik erlaubt eine präzise und sichere Operation mit einer hohen Erfolgsrate und wenigen Komplikationen. Die Regenerationszeit kann hierdurch kurzgehalten werden. Der Schmerz sollte innerhalb der ersten 25 postoperativen Tagen verschwinden. Dennoch sollten zuerst die konservativen Behandlungsmöglichkeiten ausgeschöpft werden. Die Lernkurve des Operateurs ist problematisch, deshalb sollten vorher Operationskurse besucht werden (Barrett, Day et al. 1995).

Nach einer Plantarfasziotomie nimmt die Höhe der Längswölbung signifikant ab. Die Länge nimmt nicht signifikant zu. Hier besteht also kein linearer Zusammenhang, da bei der Entstehung eines Pes planus eine rotatorische Komponente mit hinzukommt. Der talometatarsal Winkel verändert sich (Daly, Kitaoka et al. 1992).

#### **1.5.4 Therapie Baxter Neuropathie**

Wie oben erwähnt ist die initiale Therapie einer Baxterneuropathie gleich der Behandlung der Plantarfasziitis. Auch hier ist somit zunächst die konservative Therapie indiziert. Es gibt keinen Hinweis, dass eine konservative Therapie besser ist als die andere (Lareau, Sawyer et al. 2014). Es besteht zusätzlich die Möglichkeit den N. Baxter ultraschallgesteuert gezielt zu infiltrieren. Untersuchungen an Körperspendern zeigten, dass dies sehr genau möglich ist (Presley, Maida et al. 2013). Lareau et al empfehlen nach drei Monaten konservativen Therapieversuchs eine operative Entlastung des Nervens (Lareau, Sawyer et al. 2014). Aber auch hier variieren die Angaben. Die Operationsmethoden sind die oben genannten offenen Operationsmethoden, die eine Neurolyse des N. Baxters enthalten.

## **2 Ziel dieser Arbeit**

Die Anatomie und Funktion des ersten Astes des NPL ist in der Literatur sehr unterschiedlich beschrieben (siehe 1.2.7). Somit ist eine strukturierte Untersuchung des Verlaufes sinnvoll. Das Ziel dieser Arbeit ist herauszufinden, welche Normvarianten des Verlaufes und Funktion der erste Ast des NPL hat.

Mit genauerem Wissen des Verlaufes und der Funktion soll eine kritische Auseinandersetzung mit komplexen Pathologien in diesem Bereich stattfinden. Ziel ist es durch ein besseres anatomisches Verständnis die Ursachen besser zu verstehen und somit Diagnostik und Behandlungsmöglichkeit zu verbessern.

### **3 Material und Methoden**

Der N. Baxter wurde an 18 Füßen von Körperspendern freipräpariert und sein Verlauf vor allem unter Berücksichtigung der sensorischen Anteile verfolgt. Die Körperspender hatten zu Lebzeiten schriftlich ihr Einverständnis gegeben, ihren Körper der Lehre und Wissenschaft der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf zur Verfügung zu stellen. Ein entsprechendes Votum der Ethikkommission lag vor (Studiennummer 2015-5116).

Die Füße waren nach Thiel fixiert und durch Fußoperationskurse teilweise vorpräpariert. Zwei Füße waren so weit vorpräpariert, dass der N. Baxter in seinem Verlauf durchtrennt war (F63/14 links, F83/12 rechts). Dadurch war der Verlauf nicht mehr nachvollziehbar. Somit war der Verlauf von 16 Nerven nachvollziehbar. Hierunter waren sieben rechte und neun linke Füße von elf verschiedenen Körperspendern.

Der Verlauf des N. Baxter wurde unter Schonung der angrenzenden Strukturen präpariert (genauer Beschreibung siehe 3.2). Danach wurden die präparierten Füße standardisiert fotografiert. Hierzu wurde eine Ansicht von medial bei maximaler Supinationsstellung des Fußes gewählt. Mit Nadeln wurden das distale Ende des Malleolus medialis, der Gelenkspalt der Art. talonavicularae und die Aufspaltung des N. tibialis in den NPL und NPM markiert. Die Verläufe wurden quantitativ ausgewertet.

Der Verlauf und die Innervation der unterschiedlichen Strukturen des N. Baxter wurde in Zeichnungen visualisiert. Hier wurde grafisch dargestellt, welche Strukturen durch den N. Baxter versorgt werden. Die Zeichnungen wurden in enger Zusammenarbeit mit Frau Opfermann–Rüngeler erstellt.

#### **3.1 Fixierung nach Thiel**

Die Fixierung nach Thiel wurde durch die Präparatoren des Instituts für Anatomie I der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf durchgeführt. Zur Zusammensetzung der Fixierung nach Thiel siehe 8.1.

#### **3.2 Präparation**

Zunächst wurde, falls durch die Vorpräparation noch nicht geschehen, ein Hautschnitt dorsal um den Malleolus medialis gesetzt und die Gefäßnervenstraße aufgesucht. Dann wurde die Haut scharf vom umliegenden Gewebe abgetrennt, ein Schnitt im 45° Winkel auf der medialen Seite zum Tuber calcanei durchgeführt und die Haut zur besseren Übersicht und Mobilisierbarkeit zur Seite geklappt.

Dann wurde stumpf, unter Mobilisation des umliegenden Gewebes, der N. tibialis dargestellt. An seiner Gabelung in den NPL und NPM wurde der NPL weiterverfolgt. Der erste Abgang des NPL ist der N. Baxter. Dieser wurde in seinem Verlauf unter stumpfer Präparation und

Mobilisation unter Schonung des umliegenden Gewebes dargestellt, bis er eindeutig in eine Struktur inseriert. Bei Aufgabelungen bzw. Verästelungen des N. Baxters wurde die Distanz zwischen dieser und dem Abgang von N. Baxter von dem NPL mittels eines Fadens bestimmt.

Die umgebenen Strukturen wurden möglichst in ihrer anatomischen Lage belassen. Hierbei konnten Verästelungen des N. Baxter bis zu der Dicke eines Kopfhaares dargestellt und verfolgt werden. Durch nicht standardisierte Fotografien wurde während der Präparation die Insertion in verschiedene Strukturen dokumentiert.

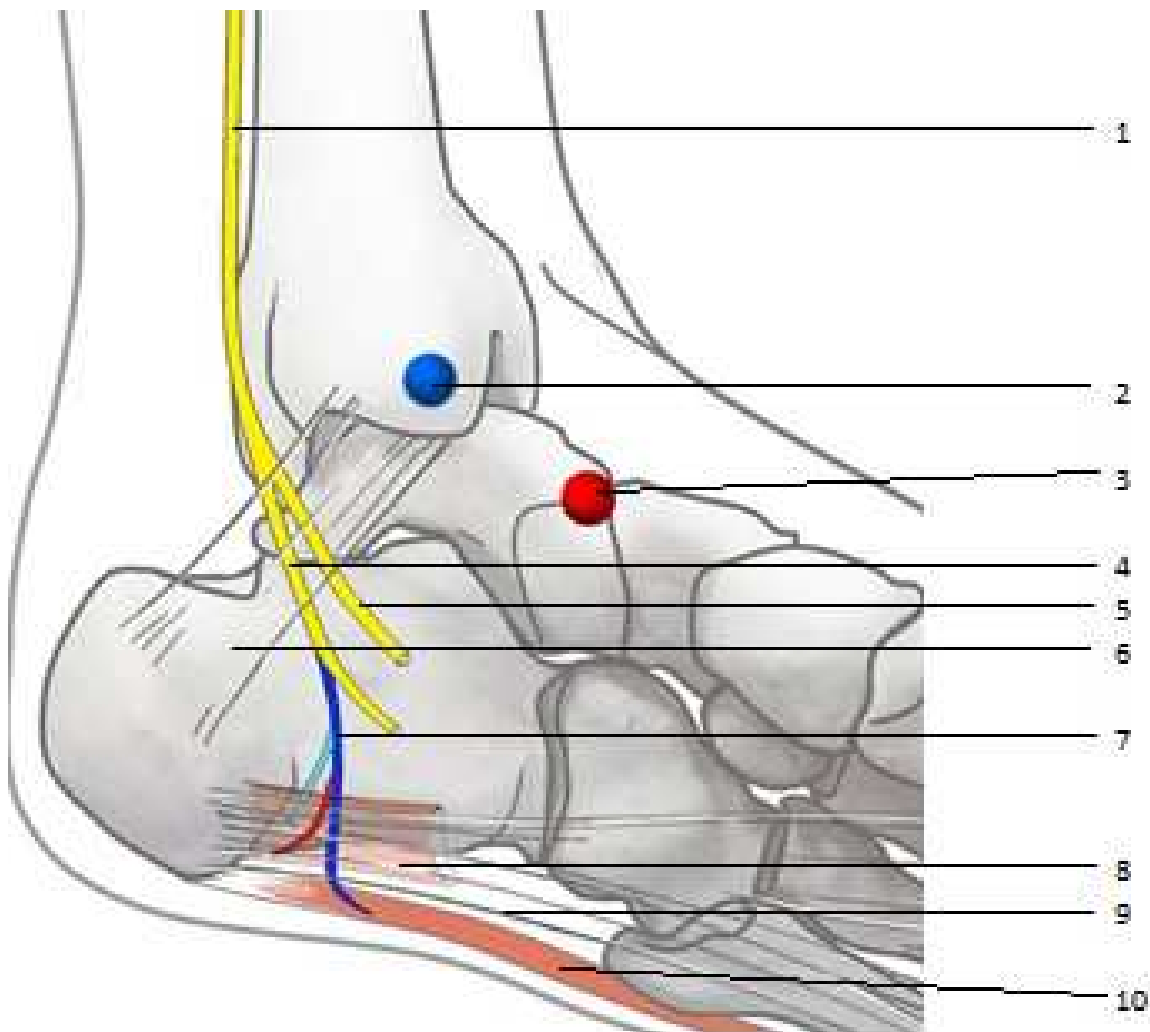
### **3.3 Auswertung**

Die Ergebnisse wurden quantitativ ausgewertet und tabellarisch, sowie durch Zeichnungen und Fotografien dokumentiert.

## 4 Ergebnis

### 4.1 Spezieller Verlauf

Der genaue Verlauf des N. Baxters wird im Folgenden beschrieben und als schematischen Zeichnungen dargestellt. Die Beschriftung wird zur besseren Übersicht lediglich an einer beispielhaften Zeichnung durchgeführt. Die Systematik der dargestellten Strukturen und Farbkodierung ist in den folgenden Zeichnungen dieses Kapitels gleich.



**Abb. 4 Schematische Beispiel der Beschriftung**

1. N. tibialis 2. Malleolus medialis, 3. Art. calcaneonavicularare 4.NPL 5. NPM  
6. Retinaculum flexorum 7. N. Baxter (blau: Hauptast, türkis: sensorischer Ast, rot: Ast zur Plantarfaszie grün: motorische Äste zur kurzen Fußmuskulatur, die nicht M. abductor digiti minimi ist) 8. M. flexor digitorum brevis 9. Plantarfaszie 10 M. abductor digiti minimi



### F107/13 links

Vom N. tibialis geht ein sehr kräftiger R. calcaneus ab. Der NPL stellt sich sehr feinkalibrig dar. Es spaltet sich nach ca. 2,1 cm vom ersten Ast des NPL zunächst ein feiner R. ab, der zum Periost des Calcaneus zieht. Ein weiterer kopfhaarfeiner Ast spaltet sich nach ca. 3,2 cm ab und verläuft in die Plantarfaszie. Der Endast verläuft in den M. abductor digiti minimi.

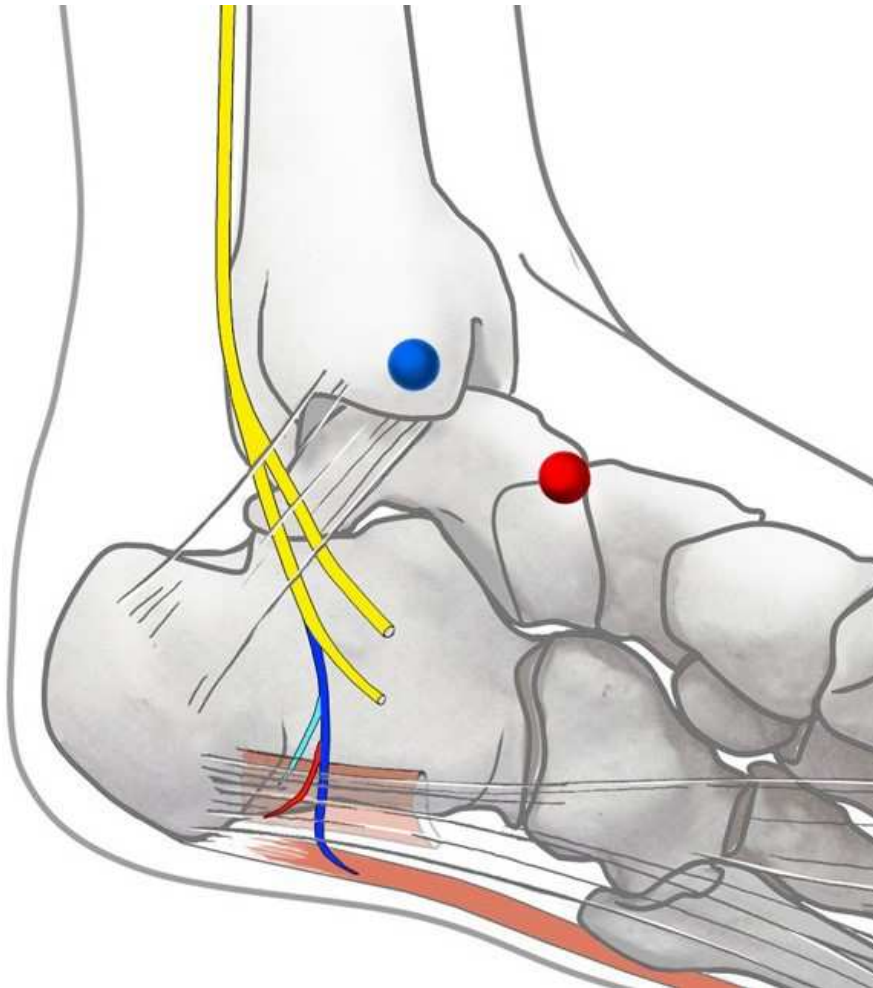


Abb. 5 F107/13 links

## F21/14 links

Sehr früh (ca. 0,8 cm) nach der Abspaltung des ersten Astes des NPL trennt sich ein Ast, der ins Periost des Calcaneus verläuft, ab. Ca. 0,4 cm weiter distal verlaufen Nervenfasern in eine Muskelmasse, die am Calcaneus entspringt. Ob es sich hierbei um den M. quadratus plantae oder andere Muskulatur der kurzen Fußmuskulatur handelt, lässt sich nicht eindeutig differenzieren, da sich die Muskelmasse auf Grund der Fixierung als eine Masse erscheint und sich somit nicht weiter separieren lässt. Der Endast verläuft in den gut abzugrenzenden M. abductor digiti minimi.

Der erste Ast des NPL kreuzt den Calcaneus, in dem er direkt zwischen ihm und der plantar gelegenen Muskelmasse nach lateral verläuft.

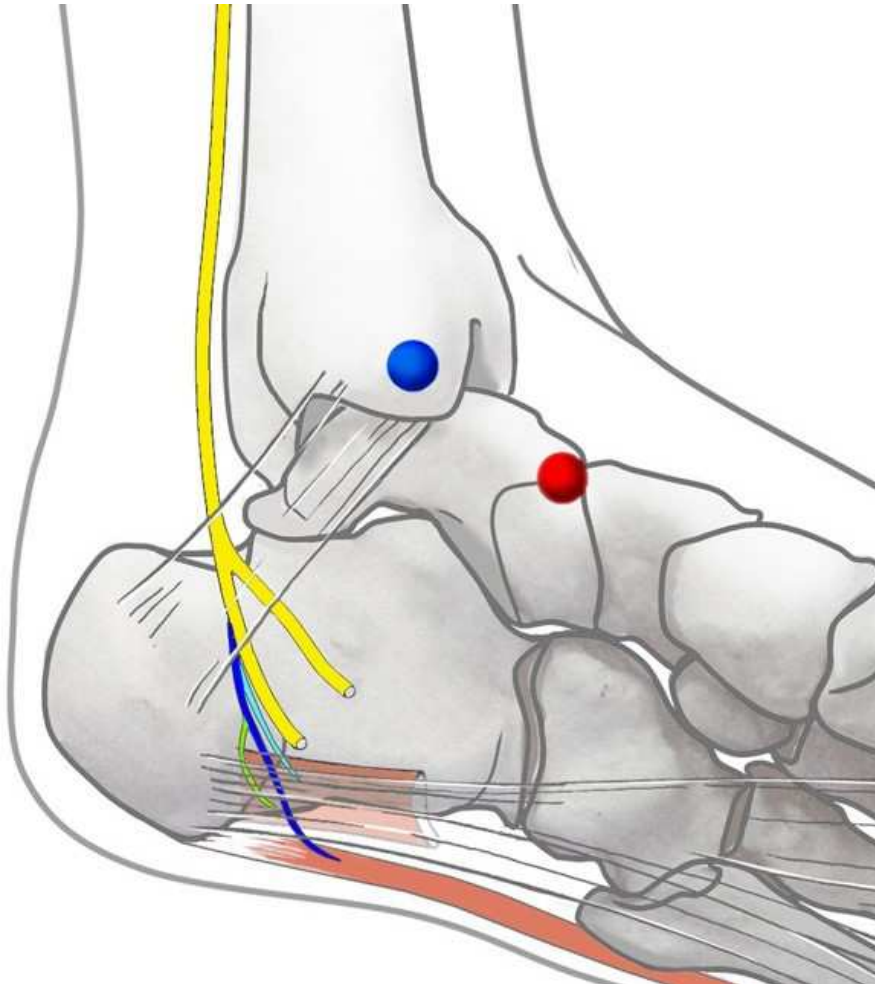


Abb. 6 F21/14 links

## F21/14 rechts

Der erste Ast des NPL gibt drei Abgänge auf unterschiedlicher Höhe ab. Alle ziehen, genauso wie der Endast, in den M. abductor digiti minimi. In seinem Verlauf passiert der Nerv sehr nah am Proc. medialis des Calcaneus den Selbigen. Hierbei verläuft er zwischen den Ursprungssehnen des M. quadratus plantae und des M. flexor digitorum brevis.

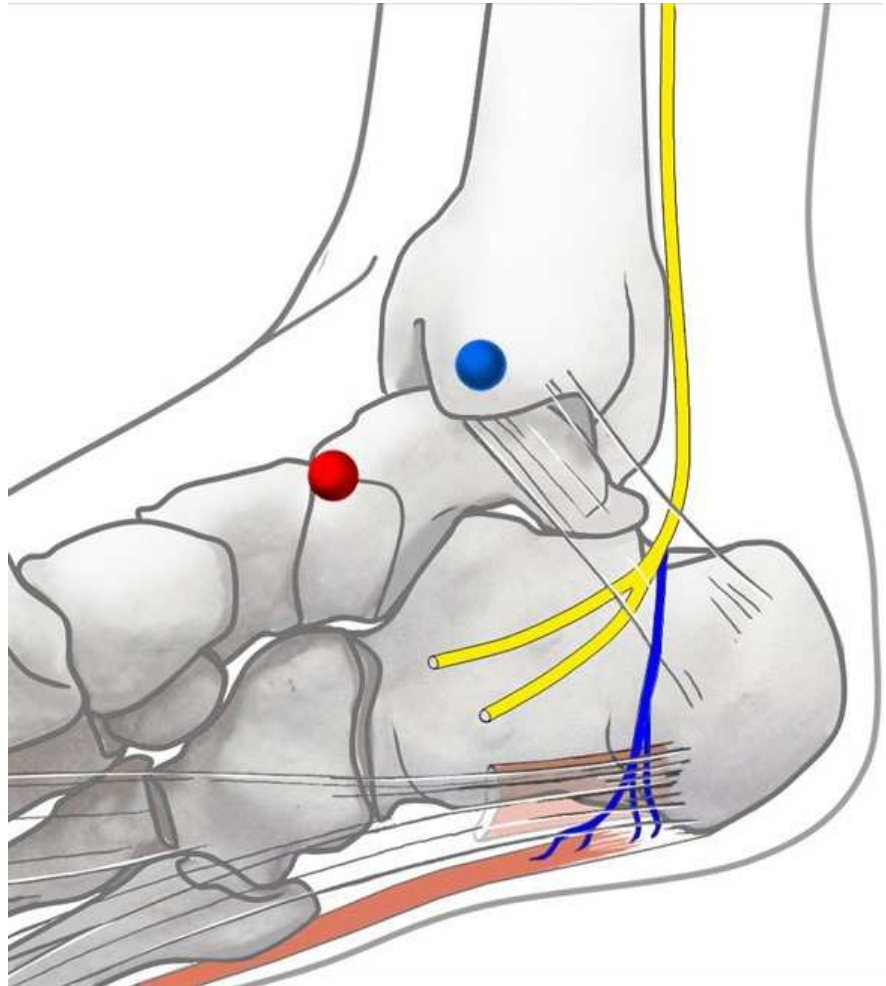


Abb. 7 F21/14 rechts

## F22/14 links

Der erste Abgang des NPL gibt nach ca. 0,8 cm Fasern in die Plantarfaszie ab. Ca. 1 cm weiter distal gibt er Fasern zum M. flexor digitorum brevis ab, bevor der Endast zum M. abductor digiti minimi verläuft. Auch hier passiert der erste Ast des NPL sehr nah am Proc. medialis den Calcaneus, zwischen dem M. quadratus plantae und dem M. flexor digitorum brevis.

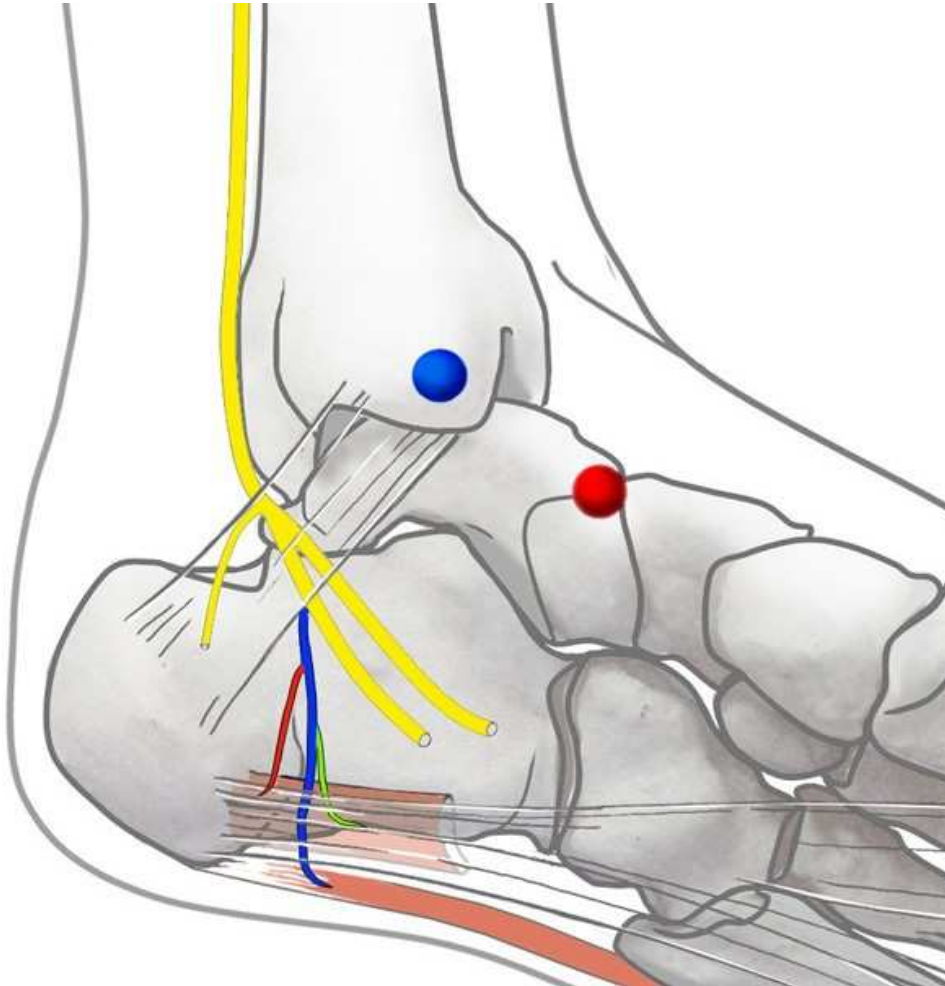


Abb. 8 F22/14 links

## F22/14 rechts

Durch die Vorpräparation war der NPM abgetrennt. Beide Enden waren auffindbar und nachvollziehbar.

Der NPL gibt, genauso wie auf der Gegenseite, Fasern in die Plantarfaszie ab (nach ca. 1,1 cm). Auch hier verlaufen Fasern in den M. flexor digitorum brevis. Der Endast endet im M. abductor digiti minimi.

Der erste Ast des NPL gelangt sehr nah am Processus medialis des Calcaneus zwischen dem M. quadratus plantae und dem M. flexor digitorum brevis nach lateral.

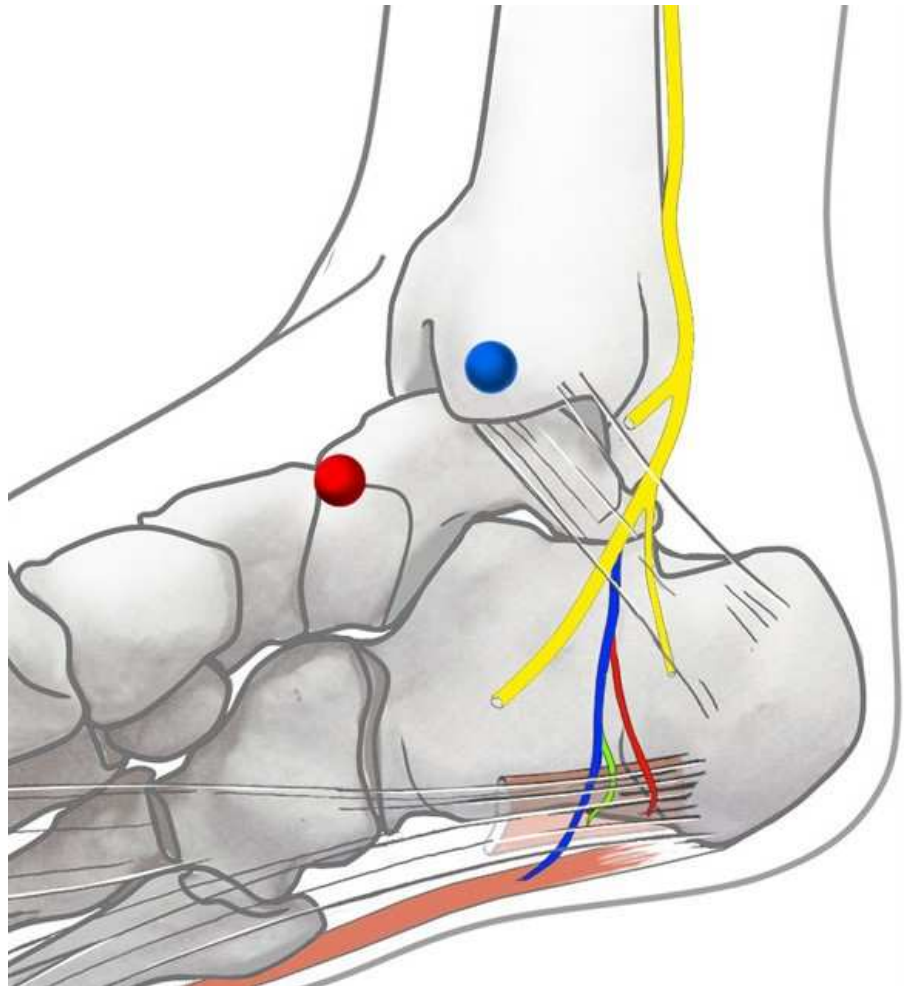


Abb. 9 F22/14 rechts

## F 25/12 rechts

Der erste Abgang des NPL stellt sich sehr schmalkalibrig dar. Es spaltet sich spät, nach ca. 2,1 cm, ein Ast ab, welcher den M. flexor digitorum brevis innerviert. Der Endast zieht in den M. abductor digiti minimi. Sensible Anteile sind nicht zu identifizieren. Hier ist der Abstand zum Proc. medialis des Calcaneus etwas größer. Der Nerv verläuft ebenfalls zwischen dem M. quadratus plantae und dem M. flexor digitorum brevis nach lateral.

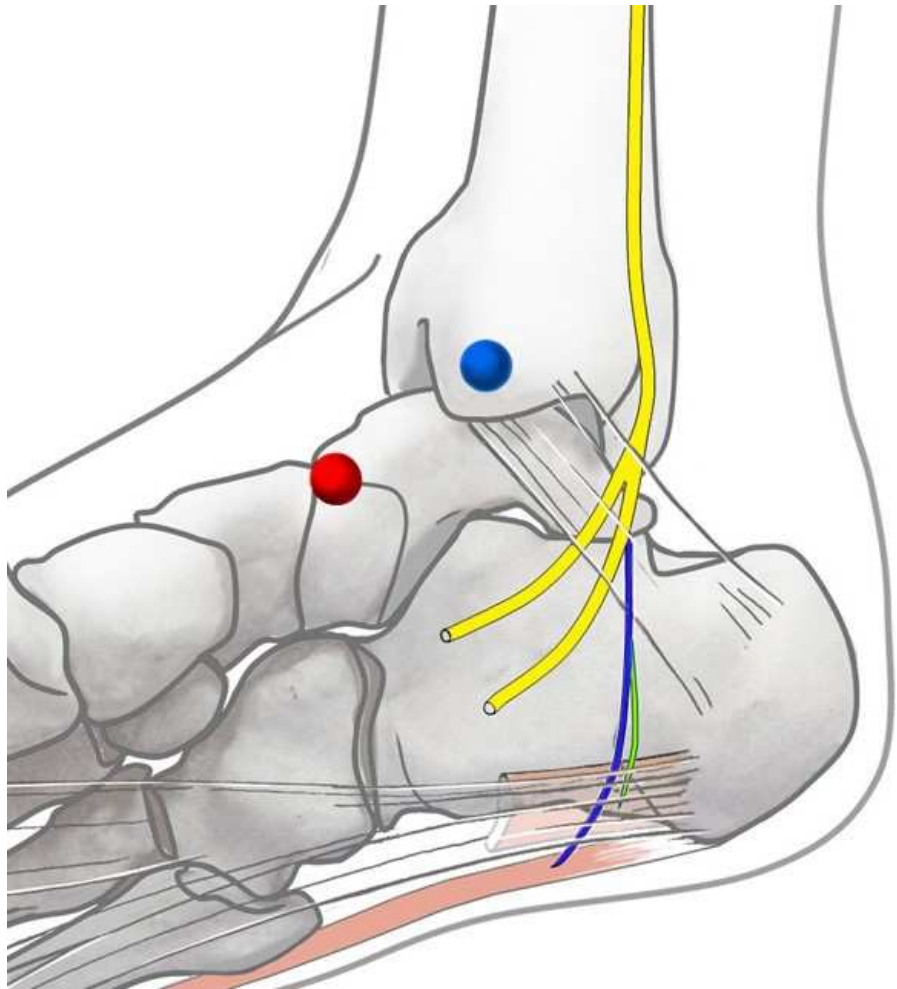


Abb. 10 F 25/12 rechts

## F 25/12 links

Früh (nach ca. 0,6 cm und 1cm) spalten sich vom ersten Ast des NPL zwei Äste ab, die unabhängig voneinander zum Periost des Calcaneus ziehen. Nach ca. 1,9 cm verlaufen vereinzelte Fasern zum M. abductor digiti minimi, bevor auch der Endast in den M. abductor digiti minimi zieht. Der Verlauf an den anatomischen Landmarken entlang stellt sich genauso wie beim rechten Fuß dieses Individuums dar. Auch hier ist der Abstand zum Proc. medialis des Calcaneus etwas größer als bei den anderen Individuen (ca. 0,7cm). Der Nerv verläuft ebenfalls zwischen dem M. quadratus plantae und dem M. flexor digitorum brevis nach lateral.

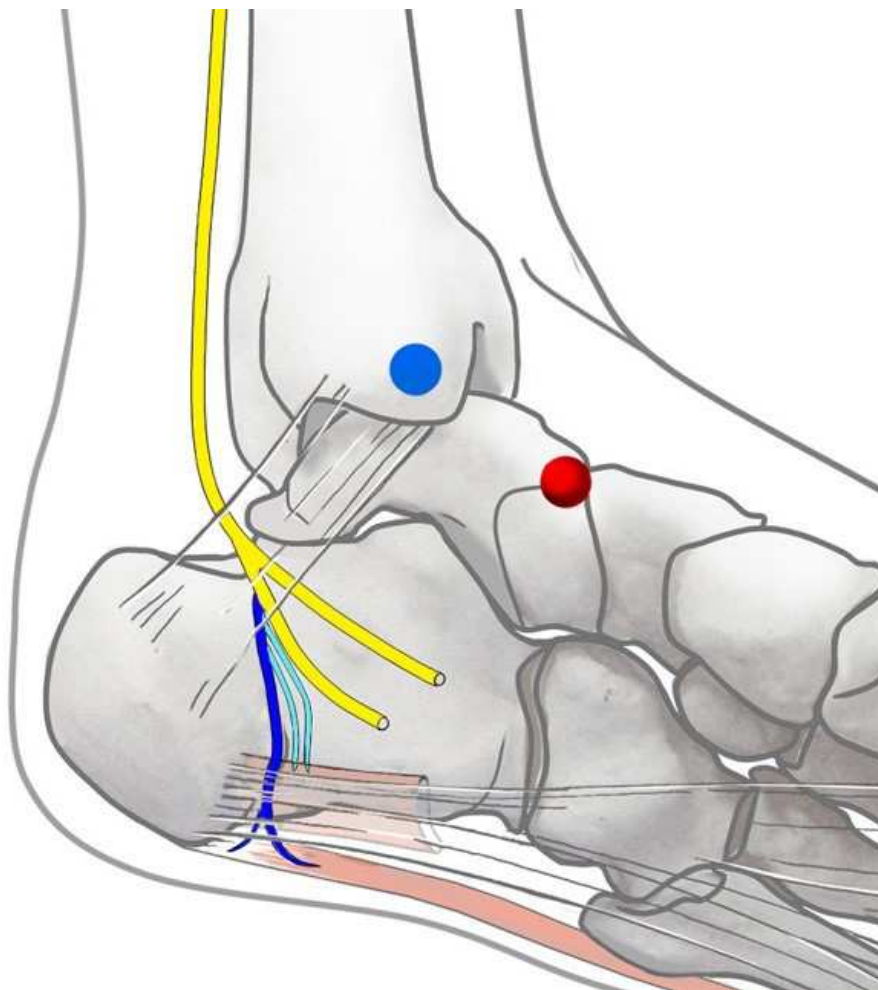


Abb. 11 F 25/12 links

### F 33/14 links

Der erste Ast des NPL versorgt lediglich den M. abductor digiti minimi. Nach ca. 1,2 cm geht ein kleinerer Ast ab, der genauso wie der Endast zum M. abductor digiti minimi zieht. Eine Versorgung anderer Strukturen ist nicht erkennbar.

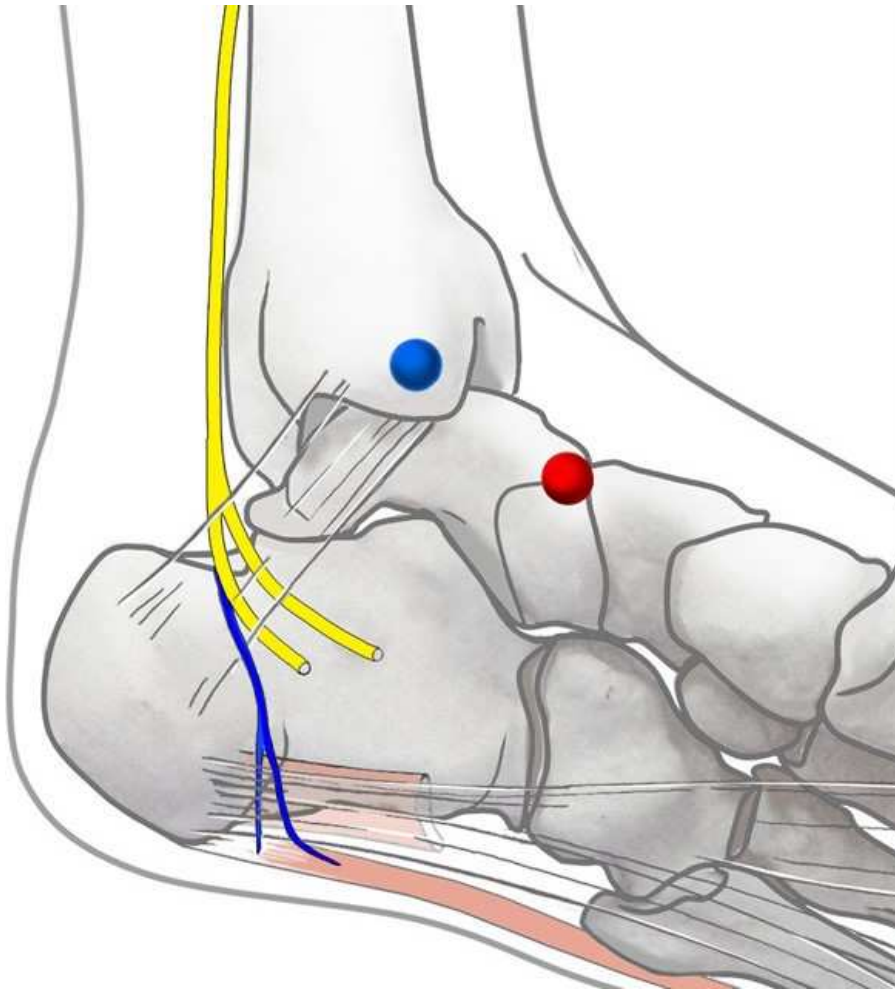


Abb. 12 F 33/14 links



### F 47/11 rechts

Ca. 1,9 cm nach dem ersten Abgang des NPL geht von diesem ein Ast zur Plantarfaszie ab. Kurz dahinter (ca. 0,2cm) zweigen sich Fasern ab, die zum Periost des Calcaneus ziehen. Weiter distal gehen nochmals zwei kleine Verästelungen ab, die separat zum M. abductor digiti minimi ziehen, bevor der Endast auch den M. abductor digiti minimi erreicht.

Der erste Ast des NPL kreuzt den Calcaneus zwischen dem M. quadratus plantae und dem M. flexor digitorum brevis.

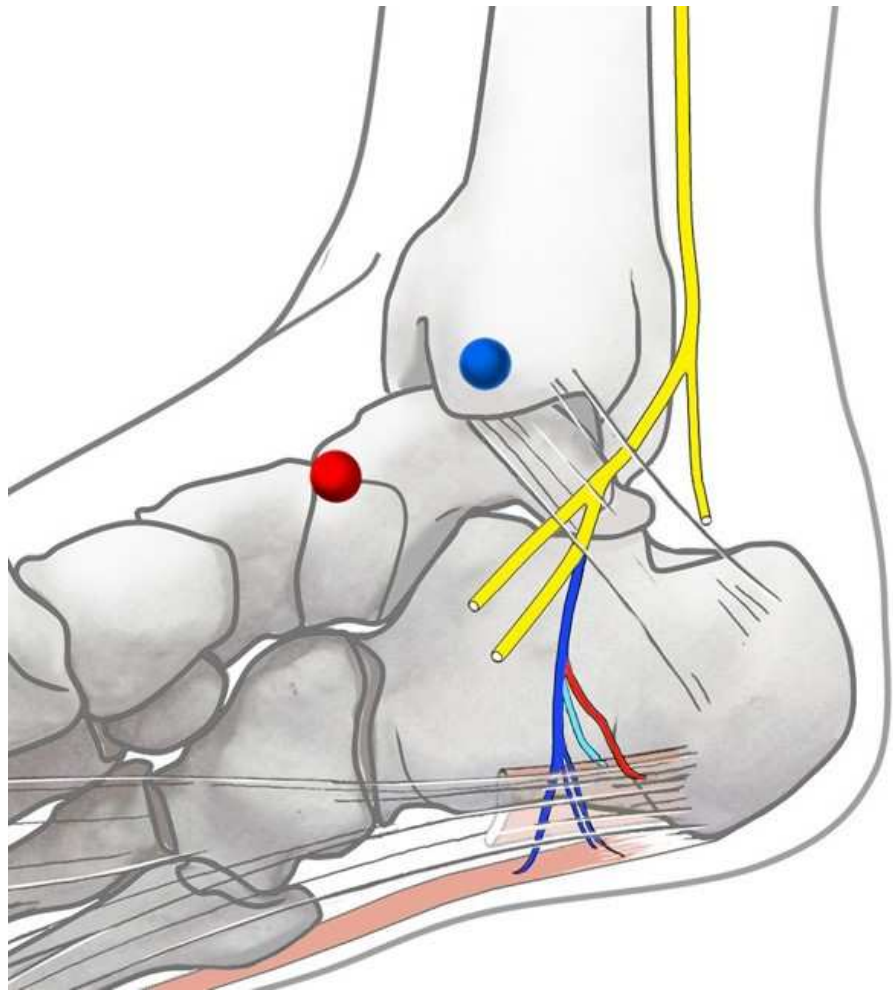


Abb. 13: F 47/11 rechts

## F 63/14 rechts

Hier zeigt sich eine andere Anatomie des N. tibialis. Die Teilung des N. tibialis in den NPL und NPM liegt sehr hoch, ca. 5 cm cranial des Malleolus medialis. Es gehen zuvor keine Rr. calcanei ab. Erst vom NPL ziehen zwei Äste zum Calcaneus. Der dritte Abgang des NPL verläuft wie sonst der erste Abgang (N. Baxter). Daher wird der eigentlich dritte Ast als erster Ast des NPL (N. Baxter) gewertet.

Von hier aus spaltet sich nach ca. 1,1 cm ein sehr feiner Ast und ein etwas kräftigerer Ast in die Plantarfaszie ab. Ca. 0,2 cm weiter distal geht ein weiterer Ast von dem Hauptast ab. Dieser ist aber durch die Vorpräparation durchtrennt, sodass nicht nachvollziehbar ist, welche Struktur dieser versorgt. Auch hier innerviert der Hauptast mit seinem Endgebiet den M. abductor digiti minimi.

Der erste Ast des NPL gelangt zwischen dem M. quadratus plantae und dem M. flexor digitorum brevis nach lateral.

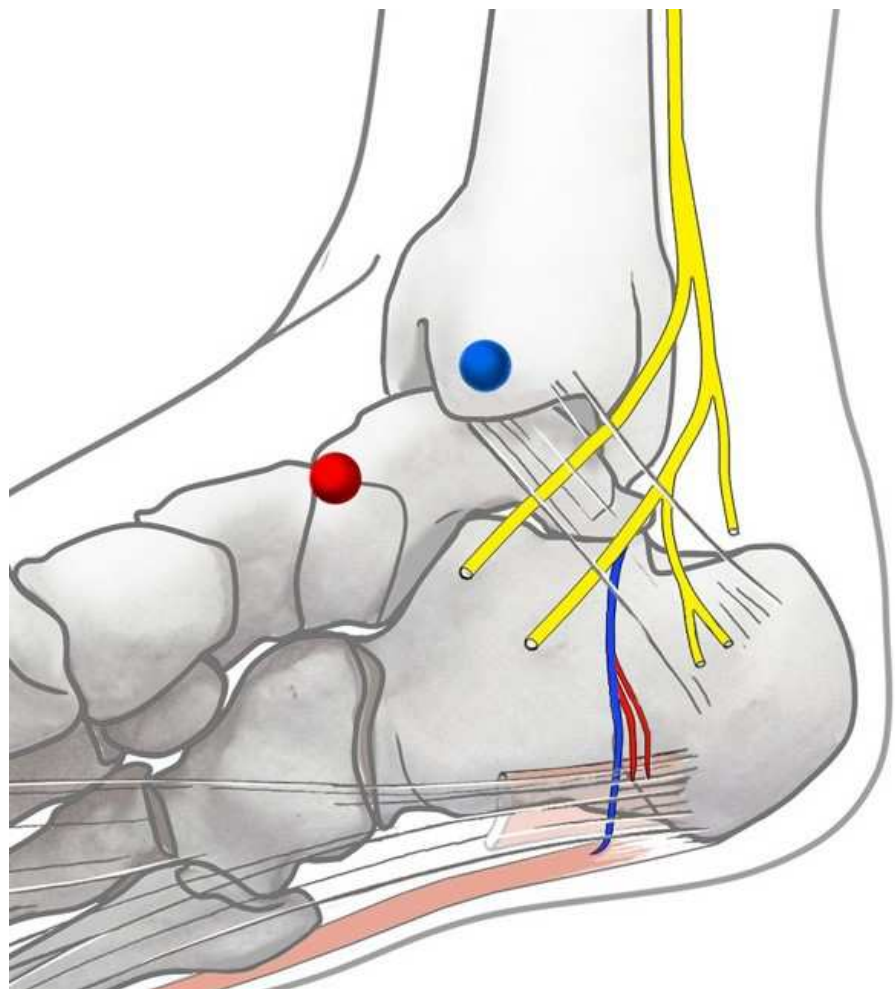


Abb. 14 63/14 rechts

## F 66/12 links

Nach ca. 1,1 cm geht vom ersten Ast des NPL ein sehr feiner Ast ab, der zum Periost des Calcaneus zieht. Ca. 1 mm weiter distal geht ein weiterer Ast ab. Dieser zieht in eine Muskelmasse, die am Calcaneus entspringt. Eine klare Abgrenzung, ob es sich um den M. flexor digitorum brevis, M. quadratus plantae oder M. abductor hallucis handelt, ist nicht möglich, da sich die Muskelmasse auf Grund der Fixierung nicht voneinander trennen ließ. Der Endast zieht zum M. abductor digiti minimi.

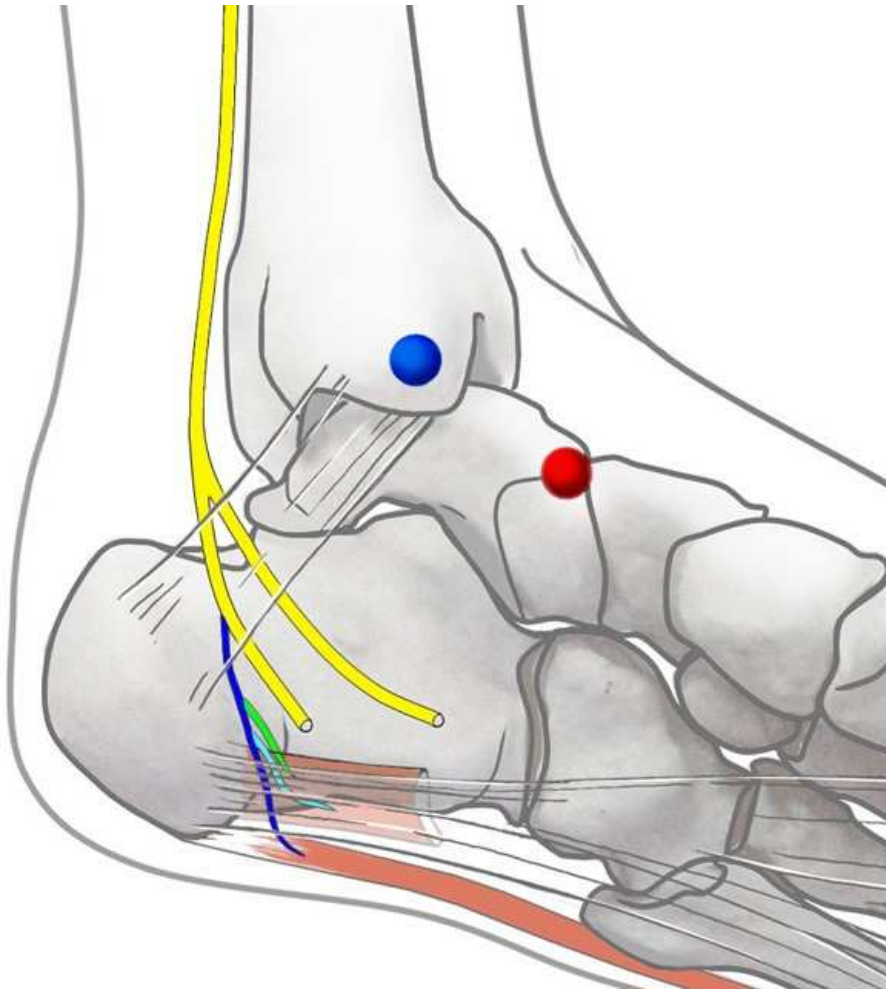


Abb. 15 F 66/12 links

## F66/12 rechts

Nach ca. 1,2 cm geht ein sehr feiner Ast von dem ersten Ast des NPL ab und zieht zum Periost des Calcaneus. Etwas weiter distal zweigt sich ein weiterer Ast ab, der den M. flexor digitorum brevis versorgt. Der Endast zieht zum M. abductor digiti minimi.

Der erste Ast des NPL verläuft auf seinem Weg nach lateral direkt unterhalb des Calcaneus entlang.

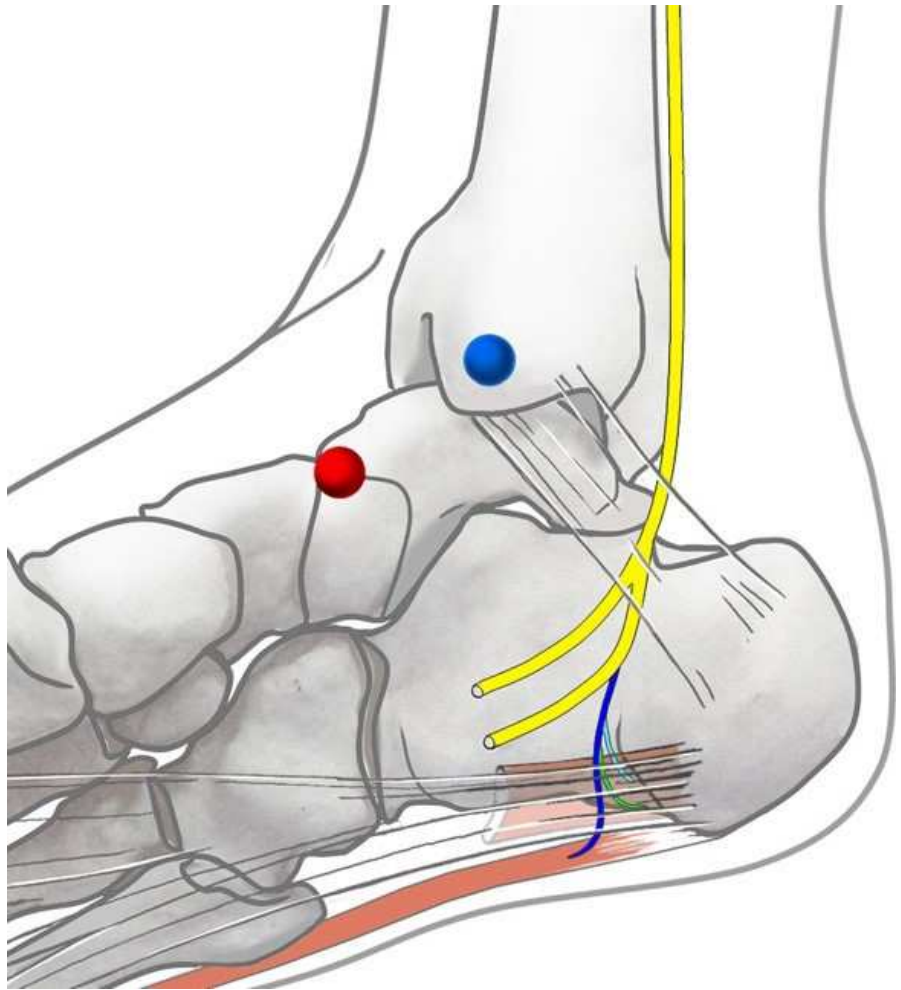


Abb. 16 F66/12 rechts

## F70/12 links

Sehr weit distal (ca. 4,3 cm) spaltet sich vom ersten Ast des NPL ein feiner Ast ab, der direkt zur Plantarfaszie zieht. Danach teilt sich der erste Ast des NPL in zwei etwa gleich dicke Äste, die sich jeweils noch einmal teilen. Der dorsal gelegene Ast gibt nochmals Fasern zur Plantarfaszie ab, bevor er den M. abductor digiti minimi erreicht. Der ventral gelegene Anteil gibt Fasern ab, die zum Periost des Calcaneus ziehen, bevor auch dieser Anteil zum M. abductor digiti minimi zieht.

Hier gelangt der erste Ast der NPL zwischen dem M. quadratus plantae und dem M. flexor digitorum brevis nach lateral.

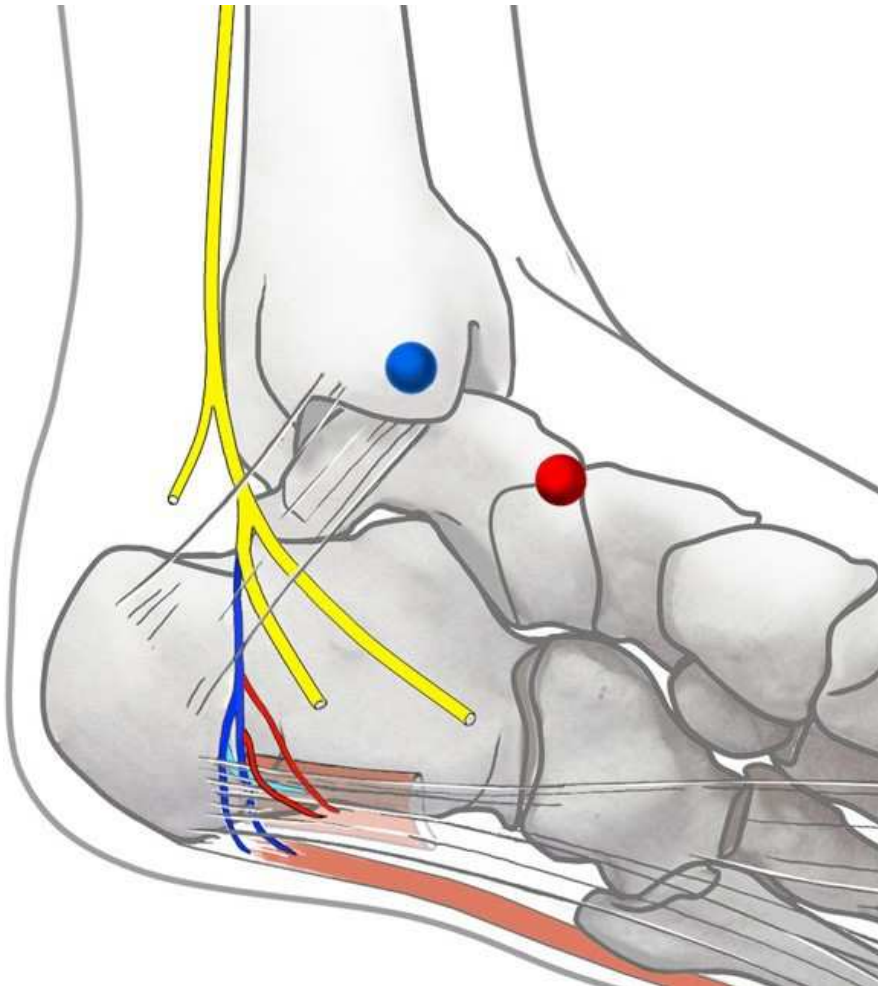


Abb. 17 F70/12 links

## F72/12 links

Der erste Ast des NPL erscheint sehr zart. Die Fußmuskulatur imponiert kräftig ausgeprägt. Es gehen zwei Äste ab, die in die Muskelmasse, welche am Calcaneus entspringt, ziehen. Eine eindeutige Differenzierung der kurzen Fußmuskulatur ist nicht möglich, da sich die Muskelmasse nicht voneinander trennen lässt. Sensorische Fasern lassen sich nicht darstellen.

Auch hier läuft der erste Ast des NPL plantar des Calcaneus zwischen den Ursprüngen zweier Muskeln, die vom Proc. medialis calcanei entspringen, nach lateral.

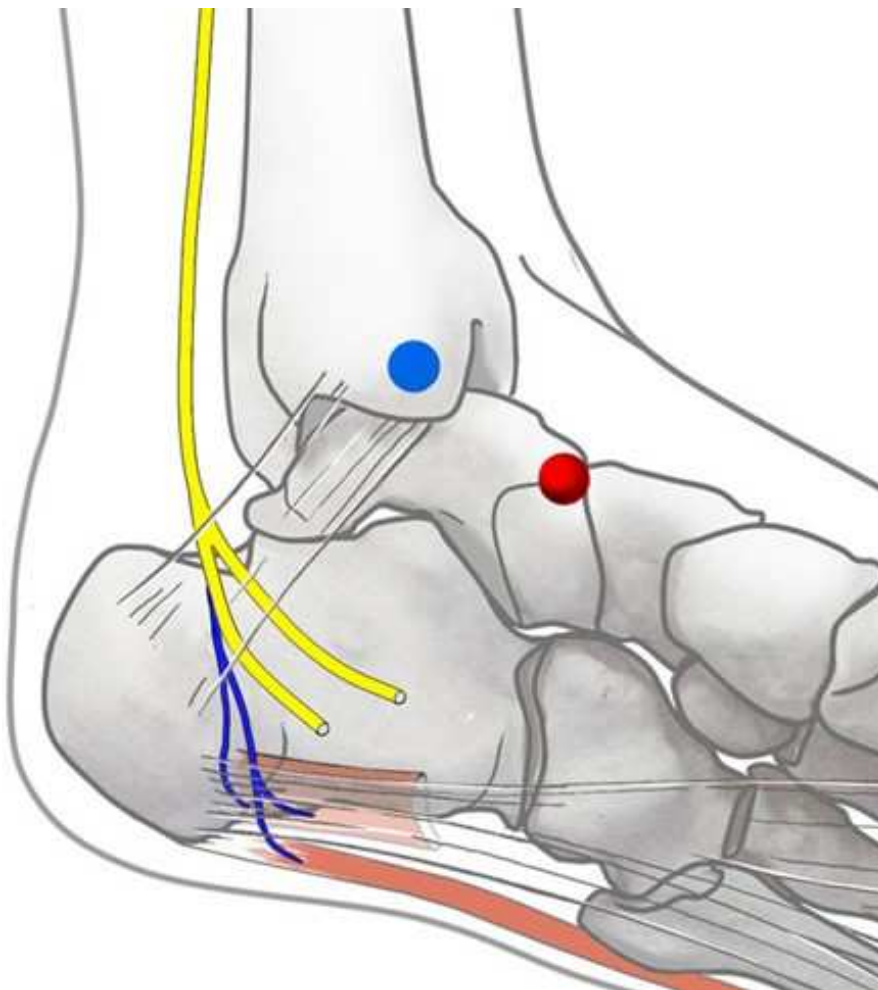


Abb. 18 F72/12 links

## F72/12 rechts

Auch hier erscheint der erste Ast des NPL sehr fein. Nach ca. 1,9 cm spalten sich einige Nervenfasern ab, die zum M. abductor digiti minimi ziehen, bevor auch der Endast zum M. abductor digiti minimi verläuft.

Hier zieht der erste Ast des NPL ausgesprochen nah am Processus medialis des Calcaneus nach lateral. Er verläuft unterhalb des Calcaneus zwischen dem M. quadratus plantae und dem M. flexor digitorum brevis.

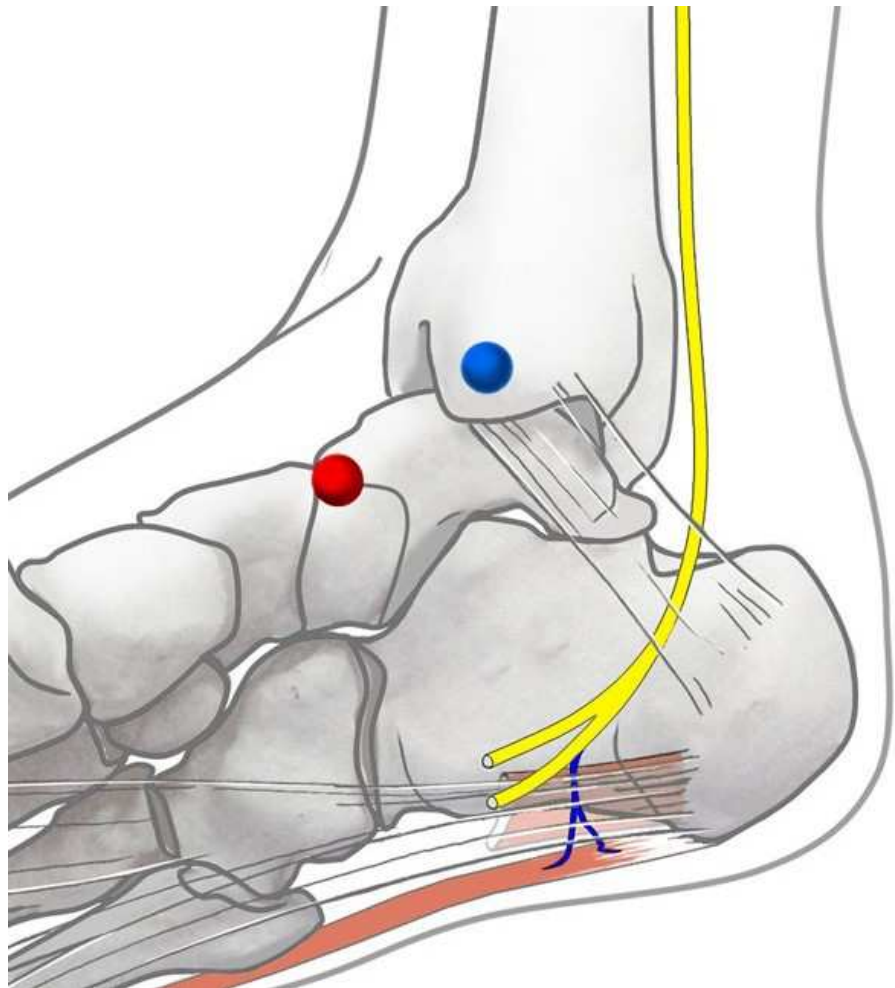


Abb. 19 F72/12 rechts

### F 83/12 links

Nach ca. 1,6 cm ziehen Fasern vom ersten Ast des NPL zum Periost des Calcaneus. Etwas weiter distal ziehen Nervenfasern zur kurzen Fußmuskulatur der Mittelloge. Leider rissen diese Fasern bei der weiteren Präparation ab, sodass sich nicht eindeutig sagen lässt, welche Muskulatur hierdurch versorgt worden ist. Der Endast zieht auch hier zum M. abductor digiti minimi.

Auf seinem Weg nach lateral passierte der erste Ast des NPL den Calcaneus direkt zwischen diesem und dem M. quadratus plantae. Der M. quadratus plantae stellte sich bei diesem Individuum mit einer relativ langen, breiten flachen Ursprungssehne dar.

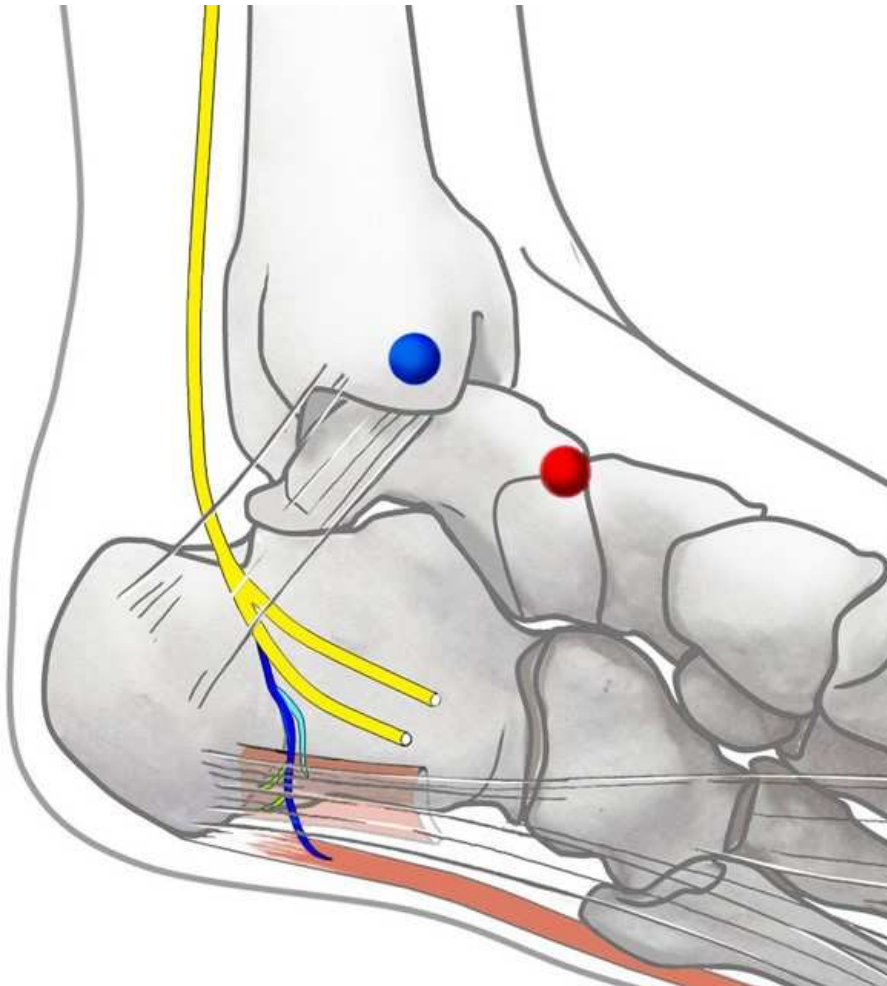


Abb. 20 F 83/12 links



## 4.2 Auswertung

Tabelle 1 zusätzliche Abgänge erster Ast NPL

Nummer	Seite	Plantarfaszie	Periost Calcaneus	M. flexor digitorum brevis	Andere / nicht zu differenzierende Muskulatur
F107/13	Li	X	X		
F21/14	Re				
F21/14	Li		X		X
F22/14	Re	X		X	
F22/14	Li	X		X	
F25/12	Re			X	
F25/12	Li		X		
F33/14	Li				
F47/11	Re	X	X		
F63/14	Re	X			
F63/14	Li				
F66/ 12	Li		X		X
F66/12	Re		X	X	
F70/ 12	Li	X	X		
F72/12	Li				X
F72/12	Re				
F83/12	Li		X		X
F83/12	Re				

gelb: sensible Abgänge, grün: motorische Abgänge, grau: Verlauf durchtrennt

Es wurden an 16 Füßen der Verlauf des N. Baxter untersucht. Der N. Baxter ließ sich an allen untersuchten Füßen darstellen. In allen Fällen versorgte der Endast den M. abductor digiti mini. Bei sechs der untersuchten Füße, die von fünf unterschiedlichen Individuen stammten, zeigten sich zusätzlich ein oder mehrere sensible Abgänge zur Plantarfaszie (107/13 links; F47/11 rechts; F63/14 rechts, F70/12 links, F22/14 rechts, F22/14 links). Bei acht Füßen zeigten sich ein (107/13 links; F21/14 links, F 47/11 rechts, F66/12 links; F66/12 rechts, F70/12 links, F83/12 links) oder mehrere Äste (F 25/12 links), die zum Periost des Calcaneus verliefen.

In acht Fällen (F21/14 links, F 22/14 links und rechts; F 25/12 rechts, F66/12 links und rechts, F72/12 links, F83/12 links) wurde auch andere Muskulatur der kurzen Fußmuskulatur durch den ersten Ast des NPL versorgt. Hierbei ließ sich in vier Fällen die Muskelmasse nicht

genauer differenzieren (F21/14 links; F66/12 links, F72/12 links; F83/12 links). Viermal wurde der M. flexor digitorum brevis versorgt (F22/14 links und rechts; F25/12 rechts; F66/12 rechts).

In drei Fällen (F 33/14 links; F 21/14 rechts, F72/12 rechts) schien der erste Ast des N. plantaris lateralis ausschließlich den M. abductor digiti minimi zu versorgen.

In einem Fall stellte sich der Verlauf der Endäste des N. tibialis anders (F63/14 rechts) dar. Hier zeigte sich die Teilung des N. tibialis in den NPL und den NPM sehr weit proximal, ca. 5 cm proximal des Malleolus medialis. Es gingen zuvor keine Rr. calcanei ab. Vom NPL zogen die ersten zwei Äste zum Calcaneus. Erst der dritte Abgang des NPL verlief, wie sonst der erste Abgang (N. Baxter). Daher wurde hier der eigentlich dritte Ast als erster Ast des NPL (N. Baxter) gewertet.

In einem Fall (F63/18 links) war ein Abgang des ersten Abganges des NPL durch die Vorpräparation durchtrennt, sodass nicht eindeutig war, welche Struktur noch weiter innerviert wurde.

In den meisten Fällen passierte der erste Ast des NPL den Calcaneus zwischen dem M. quadratus plantae und dem M. flexor digitorum brevis nach lateral. In drei Fällen passierte er den Calcaneus aber auch direkt zwischen ihm und dem M. quadratus plantae (F 83/12 links, F 66/12 rechts, F21/14 links). Da zunächst der Fokus der Untersuchung auf den Strukturen lag, die vom N. Baxter innerviert werden, wurde erst im Verlaufe der Studie festgestellt, dass der Verlauf unterhalb des Calcaneus unterschiedlich ist. Im Nachhinein ließ sich der Verlauf in diesem Bereich nicht mehr bei allen Füßen rekonstruieren.

Der Abstand zum Tuberculum medialis calcanei war recht variabel.

Bei fünf Individuen wurden beide Füße untersucht. Bei den Individuen F22/12 stellte sich rechts und links der gleiche Versorgungstyp dar. Sowohl rechts als auch links wurde die Plantarfaszie innerviert und als zusätzliche Muskulatur noch der M. flexor digitorum brevis. Bei beiden Füßen verlief der erste Ast des NPL unterhalb des Calcaneus zwischen dem M. quadratus plantae und dem M. flexor digitorum brevis.

Bei dem Individuum F66/12 könnte es sich bei beiden Füßen ebenso um den gleichen Versorgungstyp handeln. Beide hatten einen Abgang des ersten Astes des NPL der zum Periost des Calcaneus führt. Rechts zeigte sich zudem ein Ast, der zum M. flexor digitorum brevis verlief. Links zeigte sich auch noch ein zusätzlicher Ast, der in die vom Proc. medialis stammende Muskulatur verlief. Hier ließ sich die Muskulatur allerdings nicht weiter differenzieren.

Bei den anderen Individuen stellte sich rechts und links eine unterschiedliche Versorgung durch den ersten Ast des NPL dar:

Bei dem Individuum F21/14 zeigte sich rechts nur eine Versorgung des M. abductor digiti minimi durch den ersten Ast der NPL, wohingegen links sich weitere Abgänge zeigten. So ließ sich ein Abgang zum Periost des Calcaneus darstellen und ein weiterer Abgang, der zu der nicht weiter zu trennenden Muskulatur, die von Proc. medialis des Calcaneus abging, zog. Auch im Verlauf unterschieden sich beide Seiten. Der erste Ast des NPL des linken Fußes verlief auf seinem Weg nach lateral direkt zwischen dem Calcaneus und der Muskulatur, wohingegen der des rechten Fußes zwischen dem M. quadratus plantae und dem M. flexor digitorum brevis verlief.

Bei dem Individuum F25/12 verlief rechts ein Ast des ersten Astes des NPL zum M. flexor digitorum brevis, links hingegen verlief ein Ast zum Periost des Calcaneus.

Bei dem Individuum F72/12 waren weder rechts noch links sensible Äste des ersten Astes der NPL nachvollziehbar. Links zeigte sich aber ein weiterer motorischer Ast, wohin gegen rechts nur ein Verlauf in den M. abductor digiti minimi nachvollziehbar war.

Ein Fersensporn konnte bei keinem der untersuchten Füße festgestellt werden.

## 5 Diskussion

### 5.1 Namen des N. Baxter

In der Literatur sind für den betrachteten Nerven unterschiedlichste Namen angegeben. Es konnte konstant ein Nerv gefunden werden, der vom NPL erst nach plantar gezogen ist, plantar angekommen den Calcaneus nach lateral kreuzt und zum M. abductor digiti minimi gelangt. Auf seinem Weg dahin gab es in der Innervation unterschiedlichste Normvarianten. Auch wenn auf den Gebrauch von Eigennamen verzichtet werden sollte, wurde sich in dieser Arbeit für die Verwendung des Namens N. Baxter entschieden. Die Namen N. calcaneus inferior (Arenson, Cosentino et al. 1980, Louisia and Masquelet 1999, Govsa, Bilge et al. 2006) bzw. R. calcanearis lateralis könnten irreführend sein, da der N. Baxter bei den untersuchten Füßen nicht regelhaft das Periost des Calcaneus innerviert und es zu Verwechslungen mit den sehr inkonstant verlaufenden Rr. Calcanei kommen kann. Die Bezeichnung *Nerve to the abductor digiti quinti muscle* (Przylucki H 1981, Baxter, Pfeffer et al. 1989) legt den Verdacht nahe, dass es sich um einen reinen motorischen Nerven handelt. Es konnte gezeigt werden, wie auch schon in vorangegangener Literatur beschrieben (Baxter and Thigpen 1984, Rondhuis and Huson 1986, Anderson 1990, Davis and Schon 1995, Elsner, Filler et al. 2015), dass dieser Nerv aber auch sensible Anteile hat, so konnten eindeutig Fasern dargestellt werden, die in das Periost des Calcaneus zogen, sowie Fasern, die in die Plantarfaszie verliefen. Der am häufigsten verwendete Name Erster Ast der NPL, ist insofern verwirrend, da eine Variante dargestellt werden konnte, bei der der N. Baxter genauso wie oben beschrieben verlief, es sich aber um den dritten Ast des NPL handelte. Hierzu wurden keine vorherigen Beschreibungen gefunden. In der Literatur werden teilweise auch Verläufe beschrieben, bei dem der Nerv direkt aus dem N. tibialis entspringt (Govsa, Bilge et al. 2006, Torres and Ferreira 2012).

### 5.2 Ursprung und Verlauf

In allen untersuchten Füßen spaltet sich der N. Baxter von dem NPL ab. Dies wurde auch von anderen Autoren schon beschrieben (Rondhuis and Huson 1986, Louisia and Masquelet 1999). In 15 von 16 Fällen handelt es sich um den ersten Abgang des NPL. In einem Fall bildet der dritte Ast dieses Nerven den N. Baxter. Govsa, Bilge et al. beschreiben den Verlauf des ersten Astes des NPL sehr ähnlich wie er in dieser Untersuchung gesehen wurde. In ihrer Studie sprechen sie von dem inferioren calcaneal Nerv (Govsa, Bilge et al. 2006). In seiner Herkunft wird jedoch keine Übereinstimmung gesehen. Sie beschreiben, dass nur in vier Prozent der Fälle der Nerv vom NPL abgeht und in 82% direkt vom N. tibialis. Dennoch wird von einer Übereinstimmung von Arenson et al gesprochen. Diese beschreiben allerdings, dass der Nerv regelhaft vom NPL kommt (Arenson, Cosentino et al. 1980). Dass es unregelmäßig zu einer Abspaltung des N. Baxter direkt vom N. tibialis kommt, beschreiben auch einige

andere Autoren (del Sol, Olave et al. 2002, Torres and Ferreira 2012, Mizuno, Naito et al. 2015, Moroni, Zwierzina et al. 2018). Die oben genannten Varianten wurden in der Studie bei jeweils 16%, 10% bzw. 6 oder 1% beschrieben. Eine Abspaltung des N. Baxter oberhalb oder auf Höhe der Bifurkation konnte hier bei den untersuchten Füßen nicht beobachtet werden. Dies lässt sich aber auf Grund der niedrigen Fallzahl erklären (n=16). Wie es zu dem Unterschied im Ursprung des Nervens von Govsa et al. kommt, ist nicht erklärlich.

Die einmalig gefundene Variante, dass der eigentlich dritte Ast des NPL den N. Baxter bildet (F63/14 rechts), wurde in der vorliegenden Literatur noch nicht beschrieben.

In seinem Verlauf kreuzt der N. Baxter auf der plantaren Seite annähernd horizontal den Calcaneus. Hierbei verläuft er in enger Beziehung zum Proc. medialis des Calcaneus. Auch wenn immer eine nahe Beziehung besteht, erschien in der durchgeführten Untersuchung der Abstand dennoch recht variabel. Da dies nicht der Hauptuntersuchungsaspekt war, wurde der Abstand nicht quantifiziert. Die enge Beziehung zum Proc. medialis calcanei ist zuvor auch schon beschrieben worden (Przylucki H 1981, Davis and Schon 1995, Govsa, Bilge et al. 2006). In der Literatur ist der Abstand zwischen 2-16 mm (Govsa, Bilge et al. 2006), 3-15mm (del Sol, Olave et al. 2002) bzw. zwischen 5mm bis 1cm (Przylucki H 1981) beschrieben, wobei in der zuletzt genannten Studie nur vier Füße untersucht wurden. Der Abstand zwischen 2mm und 16mm stimmt sehr gut mit den Beobachtungen in dieser Untersuchung überein.

Louisia & Masquelet beschreiben einen Verlauf des N. Baxters zwischen der tiefen Faszie des M. abductor hallucis und dem Tuberculum anterius des calcaneus (Louisia and Masquelet 1999). Da der Verlauf ansonsten sehr ähnlich beschrieben ist wird vermutet, dass die Autoren hier auch den Proc. medialis des Calcaneus meinten. Sollte dies nicht der Fall sein, würden Sie als einzige Autoren einen sehr viel weiter distalen Verlauf des N. Baxter auf der plantaren Seite des Calcaneus als alle anderen Autoren beschreiben.

Bei seinem Verlauf plantar des Calcaneus verlief der N. Baxter in den meisten untersuchten Füßen zwischen dem M. quadratus plantae und dem M. flexor digitorum brevis bzw. ihren Ursprungssehnen. In der Literatur wird der Verlauf auch meistens so beschrieben (Arenson, Cosentino et al. 1980, Rondhuis and Huson 1986, Louisia and Masquelet 1999, del Sol, Olave et al. 2002). In einigen Fällen verlief der N. Baxter aber auch direkt zwischen der plantaren Seite des Calcaneus auf der einen Seite und den Muskeln (M. quadratus plantae und M. flexor digitorum) auf der anderen Seite.

### **5.3 Innervation**

Bei allen untersuchten Füßen zeigte sich eine Innervation des M. abductor digiti minimi. Von dem N. Baxter gingen in allen Fällen noch weitere Äste ab. Auch Arakawa et al. beschreiben, wie die meiste Literatur, dass bei allen untersuchten Füßen (7/7) der erste Ast des NPL den M. abductor digiti mini versorgt. Allerdings wird von Arakawa et al. keine weitere Verzweigung

oder Innervation beschrieben (Arakawa, Sekiya et al. 2005). In der hier durchgeführten Untersuchung, wie auch in der meisten anderen in der Literatur beschrieben (siehe weitere Ausführung) zeigte der N. Baxter regelhaft Verästelungen. Diese innervierten teilweise ebenfalls den M. abductor digiti minimi, teils aber auch andere Muskeln der kurzen Fußmuskulatur, die Plantarfaszie oder das Periost des Calcaneus.

Bei der Präparation von Arakawa et al. wurde beschrieben, dass die Fußmuskulatur en bloc entfernt wurde. An dem entnommenen Präparat wurde dann die Innervation untersucht. Der Fokus lag hierbei auf der Innervation der intrinsischen Fußmuskulatur (Arakawa, Sekiya et al. 2005), sodass potenziell sensible Äste eventuell bei der Entnahme abgetrennt wurden, bzw. gar nicht betrachtet wurden. Da die Hauptinnervation zur Beurteilung des phylogenetischen Ursprungs der Muskulatur untersucht wurden, wurden mutmaßlich auch kleine motorische Äste ebenfalls nicht beachtet oder nicht beschrieben.

Przylucki und Jones beschreiben lediglich eine Innervation des M. abductor digiti minimi und des M. flexor digitorum brevis und bezeichnen den N. Baxter als motorischen Nerven. Der Nerv wird dabei nicht direkt benannt, sondern nur als motorischer Ast des NPL benannt. Sein beschriebener Verlauf aber stimmt mit dem N. Baxter überein. Auch in der hier beschriebenen Untersuchung wurde bei vier von 16 Füßen rein die Innervation von Muskulatur gesehen. Allerdings konnten in den anderen untersuchten Füßen auch noch Abgänge in die Plantarfaszie und bzw. oder dem Periost des Calcaneus gesehen werden. Przylucki und Jones untersuchten allerdings auch nur vier Verläufe (Przylucki H 1981).

Bei Rondhuis et al. und Govsa et al. wird eine regelhafte Innervation des Periosts des Calcaneus beschrieben. In den hier untersuchten Verläufen war eine Innervation des Periosts nur in acht von 16 Fällen zu sehen. Die bei Rondhuis et al. und Govsa et al. beschriebene teilweise Innervation des M. quadratus plantae (Rondhuis and Huson 1986) (Govsa, Bilge et al. 2006) und M. flexor digitorum brevis (Govsa, Bilge et al. 2006) stimmt jedoch mit der hier durchgeführten Untersuchungen überein.

Das von Louisia und Masquelet beschriebene Innervationsgebiet des N. Baxter stimmt mit den Ergebnissen der hier vorliegenden Untersuchung überein. Auch bei Louisia und Masquelet wird beschrieben, dass der Endast in allen Fällen in den M. abductor digiti minimi verläuft. Ebenso die regelhafte Innervation des Periosts des Calcaneus und die teilweise Innervation des M. flexor digitorum brevis und des M. quadratus plantae stimmen mit der hier durchgeführten Untersuchung überein. Zwar wird bei Louisia und Masquelet keine Innervation der Plantarfaszie beschrieben, es wird jedoch gesagt, dass kleinste Verästelungen nicht verfolgt werden, da in dieser Arbeit vor allem der Verlauf des Nervens untersucht werden sollte (Louisia and Masquelet 1999).

Passend zu der in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchung beschreiben auch Davis und Schon eine unregelmäßige Innervation des M. flexor digitorum brevis und des Periosts des medialen Processus des Calcaneus. Hier werden allerdings auch in drei von 20 Fällen eine Innervation des M. abductor hallucis beschrieben (Davis and Schon 1995). Diese konnten in der hier durchgeführten Untersuchung nicht nachvollzogen werden. Es wurde allerdings an ähnlicher Stelle vom ersten Ast des NPL auch Abgänge gesehen, die aber, wenn man sie weiterverfolgte, in die Plantarfaszie zogen. Eine Innervation der Plantarfaszie beschreiben Davis und Schon nicht.

Korrespondierend zu del Sol teilt sich der Endast des ersten Astes des NPL häufig vor dem Eintritt in den M. abductor digiti minimi auf, sodass dieser von mehreren Ästen, die aus dem ersten Ast des NPL kommen, versorgt wird (del Sol, Olave et al. 2002). Allerdings konnte klar dargestellt werden, dass in der Regel auch noch andere kurze Fußmuskulatur vom ersten Ast des NPL versorgt wird. Zudem war eine Versorgung des Periosts und teilweise der Plantarfaszie zusehen, die bei del Sol et al. nicht beschrieben sind. Eine Versorgung des Lig. plantare longum, wie von del Sol beschrieben, konnte nicht festgestellt werden. Allerdings war von del Sol auch die Anzahl der untersuchten Füße mit 145 deutlich höher.

In einigen Studien ist von einer regelhaften Aufteilung des ersten Astes die Sprache (Rondhuis and Huson 1986, del Sol, Olave et al. 2002, Elsner, Filler et al. 2015). Es werden allerdings unterschiedliche regelhafte Aufteilungen angegeben. So wird auf der einen Seite angegeben, dass sich der Nerv, nachdem er motorische Äste an den M. flexor digitorum brevis abgegeben hat, sich auf der Höhe des M. abductor digitorum in einen distal und einen proximal verlaufenden Ast teilt (Rondhuis and Huson 1986). An anderer Stelle wird beschrieben, dass er sich in drei Hauptäste aufteilt. Einen, der die Knochenhaut des medialen Processus calcanei innerviert, einen, der den M. flexor digitorum brevis versorgt, und einen letzten der den M. abductor digiti minimi versorgt (Elsner, Filler et al. 2015). In der hier durchgeführten Untersuchung konnten keine regelhaften Versorgungstypen auf Grund der Vielzahl der Normvarianten herausgefunden werden. Für eine statistische Aussagen war die Anzahl der untersuchten Füße, bei der Anzahl an Normvarianten zu klein. Regelhaft war aber zu erkennen, dass, wenn sensorische Anteile zu erkennen waren, diese sich weiter proximal als die motorischen Äste abspalteten.

Eine Versorgung der Plantarfaszie ist nach der vorliegenden Literatur noch nicht vorbeschrieben worden. In der hier durchgeführten Untersuchung konnte diese in sechs Fällen darstellen. Diese Abgänge waren sehr kleinkalibrig. Die meisten Untersuchungen an Körperspendern wurden an formalin- oder kyrofixierten Präparaten vorgenommen, nicht an thielfixierten. Durch die Fixierung nach Thiel war eine Präparation auch von kleinsten Verästelungen, bis zu einer Dicke eines Kopfhaares, möglich, sodass vielleicht auch einige der dünnsten Äste bei anderen Autoren übersehen wurden oder nicht dargestellt werden konnten.

Kim et al. beschreiben, dass sie zur Darstellung der N. Baxters die Plantarfaszie teilweise entfernt haben (Kim, Choung et al. 2015). Somit wäre eine Darstellung potenzieller Äste gar nicht möglich gewesen.

## **5.4 Klinischer Bezug**

### **5.4.1 Ursprung des Fersenschmerzes**

Zum Ursprung des atraumatischen Fersenschmerzes gibt es sehr unterschiedliche Terminologien und Theorien.

In der Literatur werden die Begriffe plantarer Fersenschmerz, Fersenspornsyndrom und Plantarfasziitis teilweise synonym und teilweise als unterschiedliche Krankheitsbilder verwendet, zu denen es unterschiedliche Definitionen gibt. Dies erschwert nicht nur die Literaturrecherche, sondern führt zwangsläufig auch zu einer erschwerten Diagnostik und adäquaten Therapie.

Meist wird Fersenschmerz auf eine Plantarfasziitis zurückgeführt (Mook, Gay et al. 2013).

Dass der N. Baxter dabei eine Rolle spielt, sieht man daran, dass bei therapieresistenten Schmerzen eine Dekompression des N. Baxter bei 92 % der Patienten zu einer Verbesserung der Symptomatik führt (Sammarco and Helfrey 1996) (genauer Beschreibung der OP Technik siehe 1.5.3). Bei den beschriebenen vielfältigen Normvarianten (siehe 5.2) scheint es logisch zu sein, dass es bei einer Einengung des N. Baxters es zu unterschiedlichen Symptomen kommt.

Eine in der Literatur beschriebene Ursache für die Entstehung des Fersenschmerzes ist die Einengung des N. Baxters durch einen Fersensporn (Tanz 1963, Rondhuis and Huson 1986, Sammarco and Helfrey 1996). Hierbei ist kritisch zu bemerken, dass die Prävalenz eines Fersensporn in der Normalbevölkerung 15 % beträgt (Kirkpatrick, Yassaie et al. 2017) und die Länge des Fersenspornes keine direkte Korrelation zu den Beschwerden hat (Tanz 1963), aber Einfluss auf den wahrgenommenen Schmerz zu haben scheint (Kuyucu, Kocyigit et al. 2015). Zudem zeigt eine klinische Studie von Tountas & Fornasier bei acht von 16 Patienten, bei denen operativ ein Fersensporn abgetragen worden ist, eine erneuten Fersenspornbildung. Dies zeigte aber keine Korrelation mit dem postoperativen Outcome (Tountas and Fornasier 1996), sodass es unwahrscheinlich erscheint, dass der abgetragene Fersensporn die Ursache des therapieresistenten Fersenschmerzes war. Ob der Fersensporn aber an gleicher Stelle, im gleichen Winkel und in gleicher Länge wieder auftrat, ist nicht beschrieben.

Bei dem aufgezeigten unterschiedlichen Abstand des N. Baxters zu dem Proc. medialis des Calcaneus, ist nachvollziehbar, warum Fersensporne unterschiedlicher Länge bei



verschiedenen Individuen teilweise zu einer Irritation des Nervens führen können und teilweise asymptomatisch sein können. Eine Einengung des N. Baxters durch einen plantaren Fersensporn zwischen diesem und dem M. flexor digitorum, wie von verschiedenen Autoren beschrieben (Rondhuis and Huson 1986, Baxter, Pfeffer et al. 1989, Schon 1994, Sammarco and Helfrey 1996, Pfeffer 2001, Elsner, Filler et al. 2015), erscheint theoretisch nachvollziehbar. Bei der anatomischen Betrachtungsweise muss aber bei der Überlegung, ob der Fersensporn tatsächlich als Ursache des Fersenschmerzes eine Rolle spielt, mitberücksichtigt werden in welchem Winkel der plantare Fersensporn steht (Kuyucu, Kocyigit et al. 2015), von welcher Struktur er genau aus geht. Auch zu dem Ursprung des Fersenspornes gibt es in der Literatur unterschiedliche Aussagen (siehe 1.3.2). Ebenfalls sollte berücksichtigt werden, in welchem Abstand der N. Baxter den Calcaneus quert, da dieser, wie unsere Untersuchung zeigt und auch in der Literatur beschrieben wird, zwischen zwei und 16mm variieren kann (Govsa, Bilge et al. 2006). Zudem sollte in der Überlegung berücksichtigt werden, dass der N. Baxter unterschiedlicher Strukturen durch verschiedenen Normvarianten versorgt (siehe 4.2) und somit zu unterschiedlichen Symptomen führen kann. In der in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchung zeigte keiner der präparierten Füße einen plantaren Fersensporn.

Da vermehrter Zug zu einer Ausbildung eines Fersenspornes zu führen scheint (Kirkpatrick, Yassaie et al. 2017), dies aber ebenfalls prädisponierender Faktor für die Entstehung einer Plantarfasziitis (Wearing, Smeathers et al. 2006, Schwartz and Su 2014) zu sein scheint, könnte dies eine Erklärung für die erhöhte Inzidenz eines Fersenspornes bei Patienten mit einer Plantarfasziitis sein, ohne dass es einen kausalen Zusammenhang geben muss. Hier sind noch weitere Studien notwendig.

Da Schmerzen teilweise nur unter Belastung auftreten, ist es denkbar, dass der N. Baxter bewegungsabhängig eingeklemmt oder überdehnt wird. So beschreibt Baxter, dass Sportler mit hypermobilen Fußgelenken, die während des Laufen überpronieren, prädisponiert zu sein scheinen. Ursache könnte aber auch die resultierende Hypertrophie des M. quadratus plantae sein (Baxter 1993). Hierzu kann anhand der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchung keine Aussage getroffen werden. Durch die Präparation war die Biomechanik gänzlich verändert. Dass eine Hypertrophie der kurzen Fußmuskulatur, insbesondere des M. flexor digitorum und des M. quadratus plantae, zu einer Kompression des N. Baxter führen kann, ist bei seiner gezeigten anatomischen Lage aber nachvollziehbar.

Patienten, die unter einem therapieresistenten Fersenschmerz leiden und mit der Diagnose Plantarfasziitis behandelt werden, werden teilweise bei Versagen der konservativen Therapie operative behandelt. Hier wird meist eine Kombination aus Dekompression des N. Baxter und einer partiellen Fasziektomie behandelt. Diese Operation (siehe 1.5.3) führt in 92% zu guten bis sehr guten Ergebnissen (Sammarco and Helfrey 1996). In einer Studie von Baxter et al,

wurden Patienten mit einem therapieresistenten Fersenschmerz operiert. Es wurde ein partielles plantares Release der Plantarfaszie durchgeführt und eine Neurolyse des N. Baxter. 29 der operierten Patienten zeigten einen Fersensporn. Bei 19 wurde der plantare Fersensporn belassen und nur eine isolierte Neurolyse durchgeführt. Bei zehn Patienten wurde der Fersensporn entfernt. Die Patienten, bei denen der Fersensporn belassen wurden, zeigten weniger postoperative Beschwerden und konnten schneller wieder ihr vorheriges Aktivitätslevel erreichen. Alle Patienten mit der isolierten Neurolyse zeigten gute postoperative Ergebnisse (Baxter, Pfeffer et al. 1989). Dieses legt die Hypothese nahe, dass eine Einengung des N. Baxters häufiger ein Grund für einen therapieresistenten Fersenschmerz zu sein scheint als ein Fersensporn. Allerdings wurde teilweise auch die Plantarfaszie inzidiert, wenn diese zu einer Einengung des N. Baxters führen konnte. Hierbei ist es möglich, dass dies schon zu einer leichten Entlastung der Spannung der Plantarfaszie geführt haben könnte. Auch dies könnte eine Ursache für eine Reduktion des Schmerzes sein (siehe 1.5.3 ) Über die Form bzw. den Winkel des Fersenspornes wurden leider keine Angaben gemacht. Allerdings wurden die Fersensporne, die zu einer Irritation des Nervens führen konnten, entfernt. Auch über die genaue Schmerzpräsentation und klinische Untersuchung wurden wenige Angaben gemacht.

Einengungen bzw. Irritationen des N. Baxters durch andere Strukturen scheinen dabei häufiger zu sein als durch einen plantaren Fersensporn. Hierfür spricht, dass Patienten mit einem therapieresistenten Fersenschmerz nach Fasziektomie und Neurolyse ein gutes Operationsergebnis haben, auch wenn der Fersensporn belassen wurde (Conflitti and Tarquinio 2004). Die Einengung ist in der Literatur auf unterschiedlichen Höhen beschrieben (siehe 1.3.7). Zu der frühen Einengung in seinem eigenen osteofibrösen Kanal im Bereich des Tarsalkanals, lässt sich durch die hier durchgeführte Untersuchung auf Grund der Präparationsmethode nicht viel sagen, da der Tarsalkanal frühzeitig eröffnet wurde. Allerdings lässt sich sagen, dass die Abspaltung des N. Baxters vom ersten Ast des NPL teilweise kurz nach der Bifurkation des N. tibialis in den NPL und NPM erfolgt, sodass eine selektive Einklemmung des N. Baxters im Tarsalkanal theoretisch denkbar wäre.

Durch die enge Lagebeziehung des N. Baxters zum Calcaneus scheint eine Einklemmung des N. Baxters im Ursprungsbereich des M. quadratus plantae oder des M. flexor digitorum brevis gut möglich. Hier kreuzt der N. Baxter den Calcaneus plantar sehr nahe des Ursprungs. Dies könnte durch jegliche Volumenzunahme der Muskeln zum Beispiel im Rahmen einer Hypertrophie oder einer Inflammation eine Einklemmung des N. Baxter begünstigen.

Auch wenn Arenson et al nicht direkt einen Verlauf in die Plantarfaszie beschreiben, beschreiben auch sie, dass der Nerv Kontakt zu Muskeln, Sehnen, Periost und Bändern hat. Auch sie vermuten, dass der Nerv somit als Schmerzquelle beim Fersenschmerz in Betracht gezogen werden sollte. Entweder als intrinsischer Nervenschmerz oder auf Grund von

entzündlichen Infiltraten aus dem benachbarten Gewebe (Arenson, Cosentino et al. 1980). Hierbei ist insbesondere auch die Plantarfasziitis zu nennen. In der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchung konnten bei sechs Füßen einen Verlauf des N. Baxters in die Plantarfaszie aufgezeigt werden, sodass der N. Baxter auch durch eine Plantarfasziitis direkt irritiert werden könnte. Weitere Studien zur Nozizeption der Plantarfaszie scheinen notwendig zu sein.

Insgesamt erscheinen weitere Studien zur Ätiologie des plantaren Fersenschmerzes sinnvoll. Zudem sollte sich um eine einheitliche Terminologie bemüht werden.

#### **5.4.2 Diagnostische Ansätze**

Wie in der Einleitung zu sehen ist, ist die Klinik der Einengung des N. Baxters in der Literatur sehr unterschiedlich beschrieben (siehe 1.3.7). Dies zeigt die enorme Unsicherheit in der Diagnostik. Dekompression des Nervens sind bei der operativen Versorgung einer Plantarfasziitis üblich und führen zu einem besseren Ergebnis. Die Neurolyse wird bei einigen Operationsmethoden durchgeführt, auch wenn vorher keine Einengung des ersten Astes des NPL lateralis diagnostiziert worden ist. Dies könnte ein Hinweis dafür sein, dass die Diagnose einer Einklemmung des N. Baxter häufiger ist, aber als Plantarfasziitis behandelt wird. Diese scheinen einen therapieresistenteren Verlauf zu haben und von einer Operation zu profitieren, so haben bei der partiellen Fasziektomie mit Neurolyse des N. Baxter 92 % der Patienten ein gutes bis sehr gutes Ergebnis (Govsa, Bilge et al. 2006). In der Regel wird die operative Versorgung dieser Patienten erst nach drei bis zwölf Monaten vergeblicher konservativer Therapie in Betracht gezogen. Betroffen zu sein scheinen vor allem Patienten mittleren Alters. Hierbei sind drei bis zwölf Monate nicht nur für die einzelne Person ein individueller Verlust. Auch sind es Menschen, die meist noch berufstätig sind. Wenn diese Personen längerfristig ausfallen, hat dies auch einen volkswirtschaftlichen Schaden zur Folge. Es muss das Ziel sein, die Patienten, bei denen die konservative Therapie versagt, möglichst früh herauszufiltern.

Die Anamnese und klinische Untersuchung ist dabei zwar erster Schritt, dieser scheint aber nicht ausreichend zu sein. Zwar zeigen Autoren verschiedener Studien, dass eine gute Anamnese und körperliche Untersuchung, sowie die klinische Erfahrung wichtig bei der korrekten Diagnose sind (Baxter and Pfeffer 1992), doch scheinen die Diagnosekriterien stark zu variieren (vergleiche 1.3.7).

In der hier durchgeführten Studie zeigten sich sehr unterschiedliche Verläufe und auch unterschiedliche Versorgungsgebiete des N. Baxters. So schien der Nerv teilweise nur muskelversorgende Funktionen zu haben, teilweise wurde aber auch die Plantarfaszie und das Periost des Calcaneus versorgt. Dieses lässt vermuten, dass eine Einklemmung bzw. Irritation des Nervens auch tatsächlich zu sehr unterschiedlichen Symptomen führen kann.

Wie in der Einleitung beschrieben (siehe 1.4.3) könnte *High-resolution* Ultraschall eine gute Methode sein um den N. Baxter zu visualisieren und ggf. die Zeichen einer Muskelatrophie oder raumfordernde Strukturen erkennen zu können (Chari and McNally 2018). Bei dem *High-resolution* Ultraschall wird empfohlen, bei der Beurteilung von Pathologien, auf Grund der Variabilität immer den entsprechenden Nerv im Seitenvergleich zu betrachten (Peer, Kovacs et al. 2002). Hierbei ist es wichtig sich bewusst zu machen, dass selbst bei einem Individuum der Verlauf des N. Baxter im Seitenvergleich variieren kann. Dies stellt eine zusätzliche Herausforderung bei der Interpretation der Ultraschallbefunde dar.

Auch wenn die diagnostische Aussagekraft des Ultraschalls eingeschränkt ist, scheint es in der Planung einer möglichen Operation eine wichtige Rolle zu spielen, da die Abgangsvarianten im Tarsalkanal durch einen geübten Untersucher sicher dargestellt werden können (Iborra, Villanueva et al. 2018).

Presley et al. haben gezeigt, dass eine ultraschallgesteuerte Infiltration des N. Baxters bei geübten Untersuchern gut und sicher möglich ist (Presley, Maida et al. 2013). Somit müsste eine gezielte Injektion mit einem Lokalanästhetikum, als diagnostisches Mittel, bei einer Einengung oder Irritation des N. Baxters möglich sein. Hierbei ist zu beachten, dass in der hier durchgeführten Untersuchung in sechs Fällen allerdings auch eine Innervation der Plantarfaszie gezeigt werden konnte. Wenn der N. Baxter für die Nozizeption der Plantarfaszie eine Rolle spielt, wovon mit großer Wahrscheinlichkeit bei diesen Individuen auszugehen ist, kann es, bei einer Schmerzfreiheit nach Lokalanästhesie, zu einem falsch positiven Ergebnis bei einer proximalen Plantarfasziitis kommen.

Ein weiteres diagnostisches Mittel ist die Durchführung einer MRT. In der Studie von Recht et al. zeigten 6,3% der untersuchten Probanden eine Atrophie des M. abductor digiti minimi. Diese kamen allerdings überraschenderweise nicht mit der Verdachtsdiagnose einer Kompression eines Nervens. Alle diese Probanden zeigten jedoch im MRT Zeichen einer chronischen Druckläsion, nicht aber einer akuten oder subakuten (beispielsweise Ödeme). Nach der Vermutung von Recht et al. wäre es möglich, dass einige Patienten beschwerdefrei sind, da es bei einer chronischen Druckschädigung zu einem Fehlen der Symptome kommen kann (Recht, Grooff et al. 2007). Die könnte erklären, warum die größte Zahl der Patienten nach sechs Monaten beschwerdefrei sind. Eventuell sind sie nicht beschwerdefrei, weil die Ursache der Beschwerden behoben wurde, sondern eine chronische Schädigung des ersten Astes des NPL vorliegt und der Nerv keine Nozizeption mehr ausführen kann. Dieser Erklärungsansatz sollte weiter untersucht werden.

Bei der Studie von Zhou et al. zeigte sich in der MRT zwölf Monate postoperativ eine signifikante Verbesserung der Plantarfasziitis (Zhou, Zhou et al. 2015). Diese könnte zum einen aufgetreten sein, weil der Fersensporn eine Plantarfasziitis ausgelöst hat. Allerdings wurde auch ein Teil der medialen Plantarfaszie entfernt. Diese könnte auch wenn man davon

ausgeht, dass eine Plantarfasziitis durch den mechanischen Zug entsteht, über die Reduzierung des Zuges zu einer klinischen Verbesserung geführt haben. Allerdings kann man sich insbesondere von dem beschriebenen Fersensporn Typ B (siehe 1.3.2) eine mechanische Reizung der Plantarfaszie gut vorstellen. Von dem beschriebenen Fersenspor Typ A hingegen kann man sich bei der nach cranial verlaufenden Spitze bei der anatomischen Lage des Fersensorns gut eine Irritation des ersten Astes des NPL vorstellen. In hier durchgeführten Untersuchungen verlief der erste Ast des NPL in unterschiedlicher Distanz zur Tuberositas calcanea auf der plantaren Seite nach lateral. Dies ist auch schon in anderen Studien beschrieben (Arenson, Cosentino et al. 1980) (Govsa, Bilge et al. 2006). Bei unterschiedlicher Distanz würde sich erklären, warum Fersensporne einer bestimmten Größe bei einigen Individuen zu Symptomen führt, bei anderen noch nicht.

### **5.4.3 Therapeutische Ansätze**

Einigkeit herrscht in der Literatur darüber, dass bei einer Plantarfasziitis zunächst ein konservativer Therapieversuch unternommen werden sollte. Uneinigkeit herrscht darüber wann eine chirurgische Intervention in Betracht gezogen werden sollte. Hier variieren die Angaben von drei bis zwölf Monaten (Kenzora 1987, Sammarco and Helfrey 1996, Davies, Weiss et al. 1999, Cole, Seto et al. 2005).

Auch hier macht die Variation der Terminologie des Fersenschmerzes das Vergleichen verschiedener Therapieoptionen schwer. Auf der einen Seite wird beschrieben, dass die konservative Therapie bei einer Einengung der N. Baxters und einer Plantarfasziitis zunächst gleich ist. Dennoch werden Patienten mit einer Plantarfasziitis teilweise aus den Studien ausgeschlossen, teilweise nicht. In dem Review von Crawford und Thomson beispielsweise wurden die Therapien bei Fersenschmerz verglichen. Ausschlusskriterien waren hier Calcaneusfrakturen, Calcaneustumore und postoperative Schmerzen, sowie Fersenschmerzen, die die Achilles- oder Peroneusehne betrafen (Crawford and Thomson 2003). Hierbei wurden Studiendesigne verglichen, die teilweise eine Einengung des N. Baxter einschlossen, teilweise aber auch eine Einengung als Ausschlusskriterium (Pfeffer, Bacchetti et al. 1999, Probe, Baca et al. 1999) hatten.

Auf der einen Seite sollte man betrachten, dass 80 % der Plantarfasziitis selbst limitierend verläuft (Buchbinder 2004), sodass eine chirurgische Intervention nicht zu früh begonnen werden sollte. Auf der anderen Seite sollte man bedenken, dass es sich um ein junges Patienten Klientel handelt. Betroffen scheinen vor allem junge Läufer und Frauen mittleren Alters zu sein (Davies, Weiss et al. 1999). Im Anschluss an die operative Versorgung muss sich zudem auf eine relativ lange Rekonvaleszenz von durchschnittlich 7,85 Monaten eingestellt werden (Davies, Weiss et al. 1999). Eine Frage, die sich hier stellt, haben Patienten, die früher operiert werden, ein besseres Ergebnis. Auch für die aktive Aufrichtung der Fußwölbung ist eine lange Zeit der Inaktivität hinderlich. Auch wenn die Einengung des N.

Baxter eine Rolle spielt, kann man davon ausgehen, dass ein Nerv, der über längere Zeit komprimiert worden ist, eine längere Regenerationszeit benötigt.

Das Ziel muss sein die Patienten, die eine operative Versorgung benötigen frühzeitig zu selektieren.

Bei Pfeffer et al. zeigten die Patienten mit einer Plantarfasziitis die meisten Schmerzreduktion, die ein Stretchingprogramm mit einer Silikoneinlage oder Gummieinlage kombinierten. Diese zeigten sogar eine größerer Schmerzreduktion als Patienten mit einer sehr viel teureren persönlich angepassten polypropylen Einlage (Pfeffer, Bacchetti et al. 1999). Somit scheint der schockabsorbierende Effekt einen größeren Effekt zu haben als die Stabilisierung des unteren Sprunggelenkes. Dies macht vor allem Sinn, wenn man davon ausgeht, dass die Ursache des Plantarfasziitis rezidivierende Mikrotraumata sind.

Bei dem Therapieansatz, bei dem eine Injektion von thrombozytenreichen Plasma durchgeführt wird, wurde nach der Injektion eine Immobilisierung des Fußes in einem Schuh für eine Woche und Entlastung an Unterarmgehstützen für 72 Stunden durchgeführt (Wilson, Lee et al. 2014). Dies allein kann schon einen großen Effekt haben. Insbesondere dann, wenn die Ursache der Einklemmung des N. Baxters eine Hypertrophie der kurzen Fußmuskulatur ist. Dabei kann eine Immobilisation von mehreren Tagen zu einer Abnahme des Muskelquerschnitts führen. In der Studie ist nicht aufgeführt, womit die Patienten vorbehandelt worden sind. Insbesondere nicht, ob eine Immobilisation zuvor schon stattgefunden hat. Hier sind sicherlich noch weitere Studien mit einem besseren Evidenzlevel notwendig.

Baxter beschreibt, dass die operative Versorgung in 89% zu guten bis sehr guten Ergebnissen führt (Baxter and Pfeffer 1992) . Er geht davon aus, dass hierdurch die Einengung des N. Baxter behoben wurde, welche die Ursache für die Schmerzen war.

Bei der Studie von Tountas & Fornasier wurden 20 Patienten mit einem therapieresistenten Fersenschmerz operativ versorgt. Hierbei wurde bei 16 Patienten ein Fersensporn abgetragen. Nach einer Fersenspornabtragung zeigten acht von 16 eine erneute Fersensporkonfiguration, auch wenn in der direkten postoperativen Kontrolle der Fersensporn bei 15 vollständig abgetragen worden war. In der Operation war ebenfalls eine partielle Fasziektomie durchgeführt worden. Die Reformation des Fersenspornes hatte keine Korrelation mit dem Outcome oder der Abflachung der Längswölbung. Postoperative zeigten 90% ein gutes Ergebnis. Es wurde keine gezielte Neurolyse durchgeführt. Bei dem Zugang zu dem Fersensporn, wird aber vermutlich auch teilweise dekomprimiert.

Dies könnte nicht die einzige Ursache sein, warum es zu einem Schmerzreduktion gekommen ist. Eventuell könnten auch Fasern, die in die Plantarfaszie einstrahlen Beschwerden machen, auch wenn der Hauptnerv des ersten Astes des NPL nicht eingeengt wird. Die Fasern des ersten Astes des NPL, die in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchung gesehen wurden, die

in die Plantarfaszie einstrahlten, gingen sehr weit proximal von dem Nerv ab und strahlten in den proximalen, medialen Bereich der Plantarfaszie ein. Dies ist der Bereich in der die partielle Fasziektomie durchgeführt wird.

In der Untersuchung van Daly et al. zeigten Patienten nach Fasziotomie eine signifikante Abflachung der Längswölbung. Die Patienten zeigten ein deutlich schlechteres Ergebnis als in anderen Studien. Nur 71% zeigten ein sehr gutes oder gutes Ergebnis. Auch in der Ganganalyse zeigte die Patienten nach im Mittel acht Jahren noch Veränderungen im Sinne einer verkürzten Standbeinphase und verminderte Belastung auf der betroffenen Ferse. Es wurden unterschiedliche Operationsmethoden angewendet, die im Ergebnis nicht selektiv betrachtet wurden. Die Patienten litten präoperativ verhältnismäßig lange unter dem Fersenschmerz (im Durchschnitt 20 Monate). Auch wenn in Ihrer relativ kleinen Studie (n=14) keine Korrelation zwischen Dauer der präoperativen Beschwerden und Operationsergebnis darstellen lies, sollte dies nochmals genauer untersucht werden (Daly, Kitaoka et al. 1992). Langanhaltende Gangveränderungen bleiben erfahrungsgemäß häufig auch nach Abklingen der Beschwerden bestehen und führen zur weiteren Entlastung und Muskeldifferenz des betroffenen Fußes bzw. des gesamten Beines.

## 6 Schlussfolgerung

Der N. Baxter wird in der Literatur sowohl bezüglich des Namens als auch des Verlaufs und des Innervationsgebietes unterschiedlich beschrieben.

In den Untersuchungen dieser Arbeit zeigte sich der N. Baxter immer vom NPL abgehend und zum M. abductor digiti minimi ziehend. Hierbei gab er regelmäßig andere Äste ab, die teilweise ebenfalls den M. abductor digiti minimi versorgten, teilweise zu dem M. quadratus plantae oder zum M. flexor digitorum brevis zogen. Zudem zeigt sich noch regelmäßig eine Versorgung des Periosts des Calcaneus und teilweise der Plantarfaszie. Die Versorgung war nicht nur interindividuell, sondern sogar auch intraindividuell im Seitenvergleich unterschiedlich.

Im Bereich der Fußsohle kreuzt der N. Baxter den Calcaneus in einem unterschiedlichen Abstand zum Calcanealwinkel. Hierbei kreuzt er entweder zwischen dem Calcaneus und der Fußmuskulatur oder zwischen dem M. quadratus plantae und dem M. flexor digitorum brevis.

Die sensiblen Fasern gingen vor den motorischen Fasern des N. Baxter ab. Um Versorgungstypen zu bestimmen sind bei der enormen Vielfalt, Studien mit einer sehr viel höheren Fallzahl notwendig.

In der Literatur zeigte sich, dass der N. Baxter bei dem unspezifischen Fersenschmerz eine Rolle spielt. Beim unspezifischen Fersenschmerz besteht in der Literatur eine große Heterogenität in der Terminologie, aber auch in der Diagnostik und Therapie.

Aus der hier durchgeführten Studie ergibt sich die Überlegung, dass der N. Baxter bei unterschiedlichen Verläufen auch an unterschiedlichen Stellen von unterschiedlichen Strukturen eingeengt werden kann. Insbesondere bei Fersensporen, scheint der Winkel und die Ausgangsstruktur des Fersensporns eine Rolle zu spielen, aber auch der Abstand des N. Baxters zum Calcanealwinkel.

Bei unterschiedlichen Innervationsgebieten kann eine Einengung des N. Baxters auch zu unterschiedlichen Symptomen führen. Dies sollte bei der Diagnostik berücksichtigt werden.

Durch die teilweise bestehende Innervation der Plantarfaszie, kann der N. Baxter auch bei der Plantarfasziitis, ohne dass es zu einer Einengung des Nervens kommt, eine Rolle spielen. Dies ist insbesondere bei der Infiltration zu bedenken.

Bei der Operationsplanung und Infiltration sollte berücksichtigt werden, insbesondere wenn man sich an der Gegenseite orientiert, dass bei einem Individuum auf der Gegenseite ein anderer Verlauf bestehen kann.



## 7 Quellenverzeichnis

- Ahmad, M., K. Tsang, P. J. Mackenney and A. O. Adedapo (2012). "Tarsal tunnel syndrome: A literature review." Foot Ankle Surg **18**(3): 149-152.
- Alshami, A. M., T. Souvlis and M. W. Coppieters (2008). "A review of plantar heel pain of neural origin: differential diagnosis and management." Man Ther **13**(2): 103-111.
- Anderson, E. G. (1990). "Fatigue fractures of the foot." Injury **21**(5): 275-279.
- Ang, T. W. (2015). "The effectiveness of corticosteroid injection in the treatment of plantar fasciitis." Singapore Med J **56**(8): 423-432.
- Arakawa, T., S. Sekiya, K. Kumaki and T. Terashima (2005). "Ramification pattern of the deep branch of the lateral plantar nerve in the human foot." Ann Anat **187**(3): 287-296.
- Arenson, D. J., G. L. Cosentino and S. M. Suran (1980). "The inferior calcaneal nerve: an anatomical study." J Am Podiatry Assoc **70**(11): 552-560.
- Bader, L., K. Park, Y. Gu and M. J. O'Malley (2012). "Functional outcome of endoscopic plantar fasciotomy." Foot Ankle Int **33**(1): 37-43.
- Barker, A. R., G. D. Rosson and A. L. Dellon (2007). "Pressure changes in the medial and lateral plantar and tarsal tunnels related to ankle position: a cadaver study." Foot Ankle Int **28**(2): 250-254.
- Barrett, S. L., S. V. Day, T. T. Pignetti and L. B. Robinson (1995). "Endoscopic plantar fasciotomy: a multi-surgeon prospective analysis of 652 cases." J Foot Ankle Surg **34**(4): 400-406.
- Baxter, D. E. (1993). "Functional nerve disorders in the athlete's foot, ankle, and leg." Instr Course Lect **42**: 185-194.
- Baxter, D. E. and G. B. Pfeiffer (1992). "Treatment of chronic heel pain by surgical release of the first branch of the lateral plantar nerve." Clin Orthop Relat Res(279): 229-236.
- Baxter, D. E., G. B. Pfeiffer and M. Thigpen (1989). "Chronic heel pain. Treatment rationale." Orthop Clin North Am **20**(4): 563-569.
- Baxter, D. E. and C. M. Thigpen (1984). "Heel pain--operative results." Foot Ankle **5**(1): 16-25.
- Buchbinder, R. (2004). "Clinical practice. Plantar fasciitis." N Engl J Med **350**(21): 2159-2166.
- Chari, B. and E. McNally (2018). "Nerve Entrapment in Ankle and Foot: Ultrasound Imaging." Semin Musculoskelet Radiol **22**(3): 354-363.
- Chimutengwende-Gordon, M., P. O'Donnell, N. Cullen and D. Singh (2014). "Oedema of the abductor digiti quinti muscle due to subacute denervation: report of two cases." Foot Ankle Surg **20**(1): e3-6.
- Cole, C., C. Seto and J. Gazewood (2005). "Plantar fasciitis: evidence-based review of diagnosis and therapy." Am Fam Physician **72**(11): 2237-2242.
- Conflitti, J. M. and T. A. Tarquinio (2004). "Operative outcome of partial plantar fasciectomy and neurolysis to the nerve of the abductor digiti minimi muscle for recalcitrant plantar fasciitis." Foot Ankle Int **25**(7): 482-487.
- Crawford, F. and C. Thomson (2003). "Interventions for treating plantar heel pain." Cochrane Database Syst Rev(3): Cd000416.
- Daly, P. J., H. B. Kitaoka and E. Y. Chao (1992). "Plantar fasciotomy for intractable plantar fasciitis: clinical results and biomechanical evaluation." Foot Ankle **13**(4): 188-195.
- Daniels, T. R., J. T. Lau and T. C. Hearn (1998). "The effects of foot position and load on tibial nerve tension." Foot Ankle Int **19**(2): 73-78.
- Davies, M. S., G. A. Weiss and T. S. Saxby (1999). "Plantar fasciitis: how successful is surgical intervention?" Foot Ankle Int **20**(12): 803-807.
- Davis, P. F., E. Severud and D. E. Baxter (1994). "Painful heel syndrome: results of nonoperative treatment." Foot Ankle Int **15**(10): 531-535.
- Davis, T. J. and L. C. Schon (1995). "Branches of the tibial nerve: anatomic variations." Foot Ankle Int **16**(1): 21-29.
- De Maeseneer, M., H. Madani, L. Lenchik, M. Kalume Brigido, M. Shahabpour, S. Marcelis, J. de Mey and A. Scafoglieri (2015). "Normal Anatomy and Compression Areas of Nerves of the Foot and Ankle: US and MR Imaging with Anatomic Correlation." Radiographics **35**(5): 1469-1482.
- De Prado, M., M. Cuervas-Mons, P. Golanó, E. Rabat and J. Vaquero (2015). "The tarsal tunnel syndrome." Fuß & Sprunggelenk **13**(4): 227-236.

del Sol, M., E. Olave, C. Gabrielli, E. Mandiola and J. C. Prates (2002). "Innervation of the abductor digiti minimi muscle of the human foot: anatomical basis of the entrapment of the abductor digiti minimi nerve." Surg Radiol Anat **24**(1): 18-22.

Dellon, A. L. and S. E. Mackinnon (1984). "Tibial nerve branching in the tarsal tunnel." Arch Neurol **41**(6): 645-646.

Didia, B. and A. Horsefall (1990). "Medial calcaneal nerve. An anatomical study." J Am Podiatr Med Assoc **80**(3): 115-119.

DiGiovanni, B. F., D. A. Nawoczenski, M. E. Lintal, E. A. Moore, J. C. Murray, G. E. Wilding and J. F. Baumhauer (2003). "Tissue-specific plantar fascia-stretching exercise enhances outcomes in patients with chronic heel pain. A prospective, randomized study." J Bone Joint Surg Am **85-a**(7): 1270-1277.

Digiovanni, B. F., D. A. Nawoczenski, D. P. Malay, P. A. Graci, T. T. Williams, G. E. Wilding and J. F. Baumhauer (2006). "Plantar fascia-specific stretching exercise improves outcomes in patients with chronic plantar fasciitis. A prospective clinical trial with two-year follow-up." J Bone Joint Surg Am **88**(8): 1775-1781.

Elsner, A., T. Filler, A. Barg and J. Andermahr (2015). "Nervenengpasssyndrome des Ramus calcanearis lateralis (Baxter-Nerv) und Nervus plantaris medialis (Jogger-Nerv)." Fuß & Sprunggelenk **13**(4): 237-244.

Erickson, S. J., S. F. Quinn, J. B. Kneeland, J. W. Smith, J. E. Johnson, G. F. Carrera, M. J. Shereff, J. S. Hyde and A. Jesmanowicz (1990). "MR imaging of the tarsal tunnel and related spaces: normal and abnormal findings with anatomic correlation." AJR Am J Roentgenol **155**(2): 323-328.

Fantino, O. (2014). "Role of ultrasound in posteromedial tarsal tunnel syndrome: 81 cases." J Ultrasound **17**(2): 99-112.

Farooki, S., D. J. Theodorou, R. M. Sokoloff, S. J. Theodorou, D. J. Trudell and D. Resnick (2001). "MRI of the medial and lateral plantar nerves." J Comput Assist Tomogr **25**(3): 412-416.

Fredericson, M., F. Jennings, C. Beaulieu and G. O. Matheson (2006). "Stress fractures in athletes." Top Magn Reson Imaging **17**(5): 309-325.

Furey, J. G. (1975). "Plantar fasciitis. The painful heel syndrome." J Bone Joint Surg Am **57**(5): 672-673.

Govsa, F., O. Bilge and M. A. Ozer (2006). "Variations in the origin of the medial and inferior calcaneal nerves." Arch Orthop Trauma Surg **126**(1): 6-14.

Groshar, D., M. Alpers, A. Toubi, M. Gorenberg, A. Liberson and E. Bar-Meir (2000). "Plantar fasciitis: detection with ultrasonography versus bone scintigraphy." The Foot **10**: 164-168.

Havel, P. E., N. A. Ebraheim, S. E. Clark, W. T. Jackson and L. DiDio (1988). "Tibial nerve branching in the tarsal tunnel." Foot Ankle **9**(3): 117-119.

Heimkes, B., P. Posel, S. Stotz and K. Wolf (1987). "The proximal and distal tarsal tunnel syndromes. An anatomical study." Int Orthop **11**(3): 193-196.

Hicks, J. H. (1954). "The mechanics of the foot. II. The plantar aponeurosis and the arch." J Anat **88**(1): 25-30.

Iborra, A., M. Villanueva, S. L. Barrett, E. Rodriguez-Collazo and P. Sanz (2018). "Anatomic Delineation of Tarsal Tunnel Innervation via Ultrasonography." J Ultrasound Med **37**(6): 1325-1334.

Kenzora, J. E. (1987). "The painful heel syndrome: an entrapment neuropathy." Bull Hosp Jt Dis Orthop Inst **47**(2): 178-189.

Kerr, R. and C. Frey (1991). "MR imaging in tarsal tunnel syndrome." J Comput Assist Tomogr **15**(2): 280-286.

Kier, R. (1994). "Magnetic resonance imaging of plantar fasciitis and other causes of heel pain." Magn Reson Imaging Clin N Am **2**(1): 97-107.

Kim, B. S., P. W. Choung, S. W. Kwon, I. J. Rhyu and D. H. Kim (2015). "Branching patterns of medial and inferior calcaneal nerves around the tarsal tunnel." Ann Rehabil Med **39**(1): 52-55.

Kirkpatrick, J., O. Yassaie and S. A. Mirjalili (2017). "The plantar calcaneal spur: a review of anatomy, histology, etiology and key associations." J Anat **230**(6): 743-751.

Kopell, H. P. and W. A. Thompson (1960). "[Peripheral entrapment neuropathies of the lower extremity]." N Engl J Med **262**: 56-60.

Kuyucu, E., F. Kocyigit and M. Erdil (2015). "The association of calcaneal spur length and clinical and functional parameters in plantar fasciitis." *Int J Surg* **21**: 28-31.

Lapidus, P. W. and F. P. Guidotti (1965). "PAINFUL HEEL: REPORT OF 323 PATIENTS WITH 364 PAINFUL HEELS." *Clin Orthop Relat Res* **39**: 178-186.

Lareau, C. R., G. A. Sawyer, J. H. Wang and C. W. DiGiovanni (2014). "Plantar and medial heel pain: diagnosis and management." *J Am Acad Orthop Surg* **22**(6): 372-380.

Lawrence, D. A., M. F. Rolen, A. H. Haims, Z. Zayour and H. A. Moukaddam (2014). "Tarsal Coalitions: Radiographic, CT, and MR Imaging Findings." *HSS journal : the musculoskeletal journal of Hospital for Special Surgery* **10**(2): 153-166.

Louisia, S. and A. C. Masquelet (1999). "The medial and inferior calcaneal nerves: an anatomic study." *Surg Radiol Anat* **21**(3): 169-173.

McCarthy, D. J. and G. E. Gorecki (1979). "The anatomical basis of inferior calcaneal lesions. A cryomicrotomy study." *J Am Podiatry Assoc* **69**(9): 527-536.

Mizuno, D., M. Naito, S. Hayashi, Y. Ohmichi, M. Ohmichi and T. Nakano (2015). "Sex differences in the branching position of the nerve to the abductor digiti minimi muscle: an anatomical study of cadavers." *J Foot Ankle Res* **8**: 22.

Mook, W. R., T. Gay and S. G. Parekh (2013). "Extensile decompression of the proximal and distal tarsal tunnel combined with partial plantar fascia release in the treatment of chronic plantar heel pain." *Foot Ankle Spec* **6**(1): 27-35.

Moroni, S., M. Zwierzina, V. Starke, B. Moriggl, F. Montesi and M. Korschake (2018). "Clinical-anatomic mapping of the tarsal tunnel with regard to Baxter's neuropathy in recalcitrant heel pain syndrome: part I." *Surg Radiol Anat*.

Mucke, R., K. Schonekaes, O. Micke, M. H. Seegenschmiedt, D. Berning and R. Heyder (2003). "Low-dose radiotherapy for painful heel spur. Retrospective study of 117 patients." *Strahlenther Onkol* **179**(11): 774-778.

Ngo, K. T. and D. R. Del Toro (2010). "Electrodiagnostic findings and surgical outcome in isolated first branch lateral plantar neuropathy: a case series with literature review." *Arch Phys Med Rehabil* **91**(12): 1948-1951.

Peer, S., P. Kovacs, C. Harpf and G. Bodner (2002). "High-resolution sonography of lower extremity peripheral nerves: anatomic correlation and spectrum of disease." *J Ultrasound Med* **21**(3): 315-322.

Pfeffer, G., P. Bacchetti, J. Deland, A. Lewis, R. Anderson, W. Davis, R. Alvarez, J. Brodsky, P. Cooper, C. Frey, R. Herrick, M. Myerson, J. Sammarco, C. Janecki, S. Ross, M. Bowman and R. Smith (1999). "Comparison of custom and prefabricated orthoses in the initial treatment of proximal plantar fasciitis." *Foot Ankle Int* **20**(4): 214-221.

Pfeffer, G. B. (2001). "Plantar heel pain." *Instr Course Lect* **50**: 521-531.

Powell, M., W. R. Post, J. Keener and S. Wearden (1998). "Effective treatment of chronic plantar fasciitis with dorsiflexion night splints: a crossover prospective randomized outcome study." *Foot Ankle Int* **19**(1): 10-18.

Presley, J. C., E. Maida, W. Pawlina, N. Murthy, D. B. Ryssman and J. Smith (2013). "Sonographic visualization of the first branch of the lateral plantar nerve (baxter nerve): technique and validation using perineural injections in a cadaveric model." *J Ultrasound Med* **32**(9): 1643-1652.

Probe, R. A., M. Baca, R. Adams and C. Preece (1999). "Night splint treatment for plantar fasciitis. A prospective randomized study." *Clin Orthop Relat Res*(368): 190-195.

Przylucki H, J. C. (1981). "Entrapment neuropathy of muscle branch of lateral plantar nerve: a cause of heel pain." *J Am Podiatry Assoc* **71**(3): 119-124.

Puttaswamaiah, P. and P. Chandran (2007). "Degenerative plantar fasciitis: A review of current concepts." *The Foot* **17**(1): 3-9.

Recht, M. P., P. Grooff, H. Ilaslan, H. S. Recht, J. Sferra and B. G. Donley (2007). "Selective atrophy of the abductor digiti quinti: an MRI study." *AJR Am J Roentgenol* **189**(3): W123-127.

Riddle, D. L., M. Pulisic, P. Pidcoe and R. E. Johnson (2003). "Risk factors for Plantar fasciitis: a matched case-control study." *J Bone Joint Surg Am* **85-a**(5): 872-877.

Rodrigues, R. N., A. A. Lopes, J. M. Torres, M. F. Mundim, L. L. Silva and B. R. Silva (2015). "Compressive neuropathy of the first branch of the lateral plantar nerve: a study by magnetic resonance imaging." *Radiol Bras* **48**(6): 368-372.

Rompe, J. D., J. Furia, L. Weil and N. Maffulli (2007). "Shock wave therapy for chronic plantar fasciopathy." Br Med Bull **81-82**: 183-208.

Rondhuis, J. J. and A. Huson (1986). "The first branch of the lateral plantar nerve and heel pain." Acta Morphol Neerl Scand **24**(4): 269-279.

Sadek, A. F., E. H. Fouly and M. M. Elia (2015). "Lateral plantar nerve release with or without calcaneal drilling for resistant plantar fasciitis." J Orthop Surg (Hong Kong) **23**(2): 237-240.

Sammarco, G. J. and R. B. Helfrey (1996). "Surgical treatment of recalcitrant plantar fasciitis." Foot Ankle Int **17**(9): 520-526.

Schmid, D. T., J. Hodler, B. Mengiardi, C. W. Pfirrmann, N. Espinosa and M. Zanetti (2009). "Fatty muscle atrophy: prevalence in the hindfoot muscles on MR images of asymptomatic volunteers and patients with foot pain." Radiology **253**(1): 160-166.

Schon, L. C. (1994). "Nerve entrapment, neuropathy, and nerve dysfunction in athletes." Orthop Clin North Am **25**(1): 47-59.

Schünke, M., E. Schulte and U. Schumacher (2005). PROMETHEUS Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem LernAtlas der Anatomie. Stuttgart, New York, Georg Thieme Verlag.

Schwartz, E. N. and J. Su (2014). "Plantar fasciitis: a concise review." Perm J **18**(1): e105-107.

Singh, D., J. Angel, G. Bentley and S. G. Trevino (1997). "Fortnightly review. Plantar fasciitis." Bmj **315**(7101): 172-175.

Speed, C. A., D. Nichols, J. Wies, H. Humphreys, C. Richards, S. Burnet and B. L. Hazleman (2003). "Extracorporeal shock wave therapy for plantar fasciitis. A double blind randomised controlled trial." J Orthop Res **21**(5): 937-940.

Standring, S. and M. S. Davies (2005). Gray's Anatomy. Edinburgh, London, New York, Oxford, Philadelphia, Sydney, Toronto, Elsevier.

Tanz, S. S. (1963). "Heel pain." Clin Orthop Relat Res **28**: 169-178.

Thomas, J. L., J. C. Christensen, S. R. Kravitz, R. W. Mendicino, J. M. Schuberth, J. V. Vanore, L. S. Weil, Sr., H. J. Zlotoff, R. Bouche and J. Baker (2010). "The diagnosis and treatment of heel pain: a clinical practice guideline-revision 2010." J Foot Ankle Surg **49**(3 Suppl): S1-19.

Torres, A. L. and M. C. Ferreira (2012). "Study of the anatomy of the tibial nerve and its branches in the distal medial leg." Acta Ortop Bras **20**(3): 157-164.

Tountas, A. A. and V. L. Fornasier (1996). "Operative treatment of subcalcaneal pain." Clin Orthop Relat Res(332): 170-178.

Tu, P. and J. R. Bytowski (2011). "Diagnosis of heel pain." Am Fam Physician **84**(8): 909-916.

Wearing, S. C., J. E. Smeathers, S. R. Urry, E. M. Hennig and A. P. Hills (2006). "The pathomechanics of plantar fasciitis." Sports Med **36**(7): 585-611.

Wilson, J. J., K. S. Lee, A. T. Miller and S. Wang (2014). "Platelet-rich plasma for the treatment of chronic plantar fasciopathy in adults: a case series." Foot Ankle Spec **7**(1): 61-67.

Winemiller, M. H., R. G. Billow, E. R. Laskowski and W. S. Harmsen (2003). "Effect of magnetic vs sham-magnetic insoles on plantar heel pain: a randomized controlled trial." Jama **290**(11): 1474-1478.

Zhou, B., Y. Zhou, X. Tao, C. Yuan and K. Tang (2015). "Classification of Calcaneal Spurs and Their Relationship With Plantar Fasciitis." J Foot Ankle Surg **54**(4): 594-600.

## 8 Anhang

### 8.1 Anlage 1 Fixierung nach Thiel

#### Stammlösung L 1989

Heißes Leitungswasser:	33,3 L
Borsäure	1 kg
Monoethylglykol	10 L
Ammoniumnitrat	6,6 kg
Kaliumnitrat	1,7 kg

#### Chlorkreosollösung 86/3

Monoethylglykol	10 L
4-Chlor-3-Methylphenol	1 kg

#### Brust-Bauch-Injektionslösung

Stammlösung L1989	10 L
Chlorkreosollösung 86/3	0,5 L
Natriumsulfit	0,5 kg
Ethanol	3 L
Morpholin	0,3 L
Formalin	1 L

#### Leicheninfusionslösung L 1992

Stammlösung L 1989	12 L
Chlorkreosollösung 86/3	0,5 L
Natriumsulfit	0,6 kg
Morpholin	0,15 L
Formalin	0,6 L

Ethanol 1,5 L

**Lagerlösung**

Heißes Leitungswasser: 210 L

Borsäure 6,75 kg

Monoethylglykol 22,5 L

Ammoniumnitrat 22,5 kg

Kaliumnitrat 11,25 kg

Chlorkreosollösung 86/3 4,5 L

Natriumsulfit 15,75 kg

Formalin 4,5 L

Ethanol 13,5

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich sowohl fachlich als auch persönlich während dieser Dissertation unterstützt haben.

Hierbei gilt mein Dank als erstes meinem Doktorvater Herrn Professor Filler, sowie Dr. Thomas Frankewitsch für die sehr gute Betreuung und Unterstützung bei dieser Arbeit.

Auch möchte ich mich bei Herrn Dr. Konieczny für die Co-Betreuung und Herrn Dr. Latz für die Erstellung des Zweitgutachtens bedanken.

Bei Frau Opfermann-Rüngeler möchte ich mich für die wirklich großartigen Zusammenarbeit bei der Erstellung der Zeichnungen bedanken.

Dem gesamten Präparatoren Team möchte ich für die immer freundliche Hilfe danken.

Gerne würde ich mich auch bei den Menschen bedanken, die ihren Körper als Körperspender der Wissenschaft zur Verfügung gestellt haben.

Bei meinen Freunden möchte ich mich für den Rückhalt, die Aufmunterungen und die vielfältige Unterstützung bedanken. Hierbei möchte ich mich insbesondere bei Anna Rohland und Sabine Schretter bedanken, ohne die ich nicht in der Anatomie eine Dissertation geschrieben hätte, bei Jonas Manderbach, für die kritischen Korrekturen, bei Pauline Kuithan, für die Hilfe bei der Übersetzung der Zusammenfassung, bei Henrike Hörmann, für die Unterstützung bei formalen Fragen und Tobias Schönheit, für die Hilfe bei der Formatierung.

Ein besonderer Dank gilt auch Jan Waltermann, der mich bei Höhen und Tiefen begleitet hat und viel gemeinsame Zeit geopfert hat.

Zu dem möchte ich mich von ganzem Herzen bei meinen Eltern bedanken, ohne deren Unterstützung ich mich nicht getraut hätte meinen Beruf aufzugeben und noch einmal zu studieren.