

AUS DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG
PRIV.-DOZ. DR. PAUL SCHMITZ
UNFALLCHIRURGIE

**Sonografiegestützte Entfernung von Stellschrauben des oberen Sprunggelenks nach
Syndesmosenverletzungen**

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Humanmedizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Claus Philipp Stefan

2026

AUS DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG
PRIV.-DOZ. DR. PAUL SCHMITZ
UNFALLCHIRURGIE

**Sonografiegestützte Entfernung von Stellschrauben des oberen Sprunggelenks nach
Syndesmosenverletzungen**

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Humanmedizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Claus Philipp Stefan

2026

Dekan:	Prof. Dr. Dirk Hellwig
1. Berichterstatter:	PD Dr. med. Paul Schmitz
2. Berichterstatter:	Prof. Dr. Maximilian Kerschbaum
Tag der mündlichen Prüfung:	21.09.2026

Anmerkung:

Lediglich aus Gründen der leichten Lesbarkeit wird nur die grammatikalisch männliche Form verwendet. Gemeint sind stets Menschen jeglicher geschlechtlichen Identität.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	3
1.1	Anatomische Grundlagen des Sprunggelenks.....	3
1.2	Klinische Diagnostik von Syndesmosenverletzungen	5
1.3	Bildgebende Diagnostik	7
1.3.1	Röntgenbildgebung	7
1.3.2	Computertomografie	8
1.3.3	MRT-Bildgebung	9
1.3.4	Sonografische Diagnostik bei Verdacht auf Syndesmosenverletzungen	11
1.4	Einteilung von Sprunggelenksverletzungen.....	13
1.5	Osteosyntheseverfahren bei Syndesmosenverletzung.....	17
1.5.1	Stellschraubenosteosynthese	18
1.5.2	Syndesmosenfixierung mittels TightRope	18
1.6	Grundlage der Sonografie	19
1.7	Anwendung der Sonografie zur Materialentfernung.....	21
1.8	Fragestellung	22
2.	Studienaufbau und -durchführung	22
2.1	Patienten- und Datenerfassung.....	22
2.2	Sonografiedurchführung zur Stellschraubendetektion	24
2.3	Röntgendurchführung.....	24
2.4	Materialaufwand zur Schraubenentfernung	25
2.5	Auswertung	26
3.	Ergebnisse	26
4.	Diskussion.....	30
4.1	Fehlerquellen bei der Durchführung der Studie	30
4.2	Allgemeine Diskussionspunkte die sich durch die Studie ergaben.....	30
5.	Zusammenfassung.....	40
6.	Anhang.....	42
6.1	Tabellenverzeichnis.....	42

6.2	Abbildungsverzeichnis	42
6.3	Dokumentationsbogen.....	44
7.	Literaturverzeichnis	46
8.	Danksagung.....	52

1. Einleitung

Die Verletzung des Sprunggelenks zählt mit zu den häufigsten unfallchirurgischen Krankheitsbildern. Hierbei kann zwischen Verletzungen des Bandapparates und Frakturen unterschieden werden. Ligamentäre Verletzungen betreffen gehäuft jüngere Patienten, wobei bei Sprunggelenksfrakturen ein Altersgipfel der männlichen Patienten bei circa 30 Jahren, bei Frauen ab dem 50. Lebensjahr zu finden ist. (Pflüger et al. 2022)

Im Bereich des Sports zählen Sprunggelenksverletzungen ebenfalls mit zu den häufigsten Traumata (Best et al. 2013), bei bestimmten Sportarten sogar zu den Hauptverletzungen, noch vor muskulären Läsionen. (Junge et al. 2009)

Die Häufigkeit einer Syndesmosenverletzung bei einer Sprunggelenksdistorsion variiert dabei von 1-18 % (Mak et al. 2013), laut Waterman und Kollegen würden diese in 10-15 % der Fälle auftreten, dann aber zu einem längeren Ausfall in der Sportart im Vergleich zu einer einfachen Distorsion führen. (Waterman et al. 2011)

Um den genauen Verletzungsmechanismus und die spätere Therapie zu verstehen, ist die Kenntnis der entsprechenden Anatomie, aber auch der verschiedenen Versorgungsmethoden von grundlegender Bedeutung. Fällt die Entscheidung auf eine Versorgung mittels einer Stellschraubenosteosynthese, so stellt sich im Anschluss die Frage, ob, wann und wie die eingebrachte Schraube wieder entfernt werden sollte. In der vorliegenden Arbeit sollen nun die verschiedenen Aspekte der Syndesmosenversorgung erläutert und vor allem die Entfernung einer Stellschraube unter sonografischer Bildgebung untersucht werden.

1.1 Anatomische Grundlagen des Sprunggelenks

Zu Beginn eine Darstellung der anatomischen Verhältnisse am Sprunggelenk, als Grundlage für verschiedene Untersuchungstechniken, eventuelle Pathologien und die spätere Therapie.

Das distale Ende der Tibia mit dem malleolus medialis und dem Tibiaplafond sowie die distale Fibula mit dem malleolus lateralis bilden die Malleolengabel, welche mit der facies superior der Talusrolle artikuliert und somit das art. talocruralis, das obere Sprunggelenk bildet. Die trochlea tali hat im anterioren Bereich einen breiteren Durchmesser als posterior, was für die Biomechanik des oberen Sprunggelenkes und des Unterschenkels von Bedeutung ist. Tibia und Fibula sind bandhaft über eine interossäre Membran (IOM) verbunden, im Gelenksbereich wird diese durch ein anterior-inferiores tibiofibuläres Ligament (AITFL), ein posterior-inferiores

tibiofibuläres Ligament (PITFL) sowie ein transversales tibiofibuläres Ligament (TTFL) verstärkt.

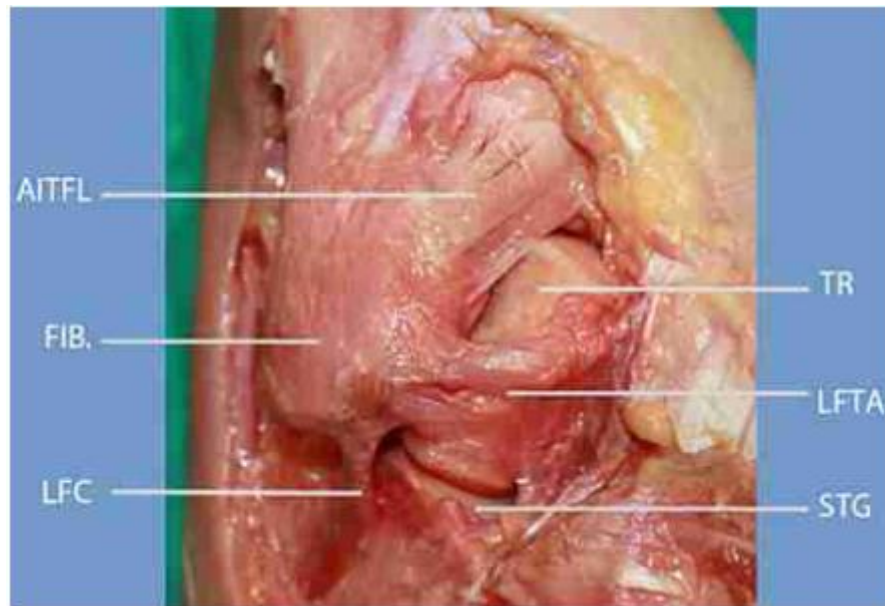


Abbildung 1: AITFL im anatomischen Präparat eines rechten Sprunggelenks (LFTA Lig. Talofibulare anterius, TR Talusrolle, LFC Lig. fibulocalcaneare, FIB Fibula, STG Subtalargelenk) (Best et al. 2013)

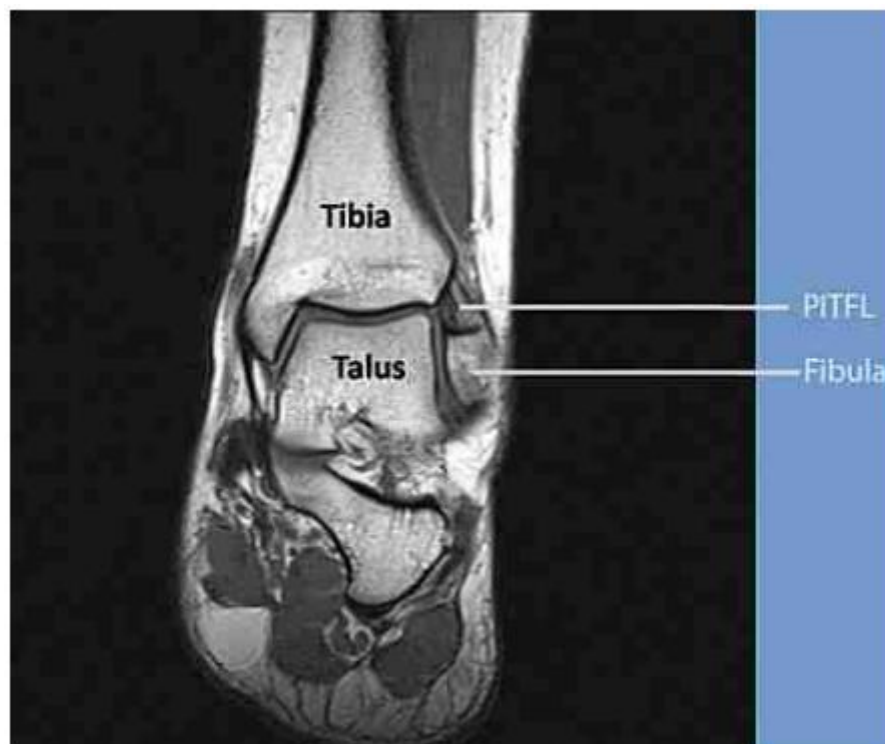


Abbildung 2: PITFL im MRT (T2, TSE) (Best et al. 2013)

Als primäre stabilizer des distalen tibiofibulären Gelenks dienen dabei das AITFL und das PITFL. Ogilvie-Harris et al zeigten bereits 1994, dass das AITFL für circa 35 %, das tiefe PITFL für circa 33 % und die interossäre Membran zu 22 % für die Stabilität der Syndesmose verantwortlich sind. (Ogilvie-Harris und Reed 1994)

Somit findet von voller Plantarflexion (schmäler dorsaler Anteil der Talusrolle in der Malleolengabel) bis zur vollen Dorsalextension (breiter ventraler Teil der Talusrolle in der Malleolengabel) nur eine 2° Außenrotation der Fibula und circa 1mm Spreizung der Syndesmose statt. Bei der axialen Gewichtsbelastung beim aufrechten Gang werden somit etwa 6-15 % der Gewichtsbelastung auf die Fibula übertragen. (Lin et al. 2006)

Durch die gegebene Anatomie lässt sich der zur Verletzung der Syndesmose führende Pathomechanismus herleiten. Eine Außenrotation des Fußes in Dorsalextensionsstellung verursacht vermehrten Stress auf den Syndesmosebandapparat. Dies spielt auch für die spätere Klassifikation von Sprunggelenksverletzungen eine bedeutende Rolle.

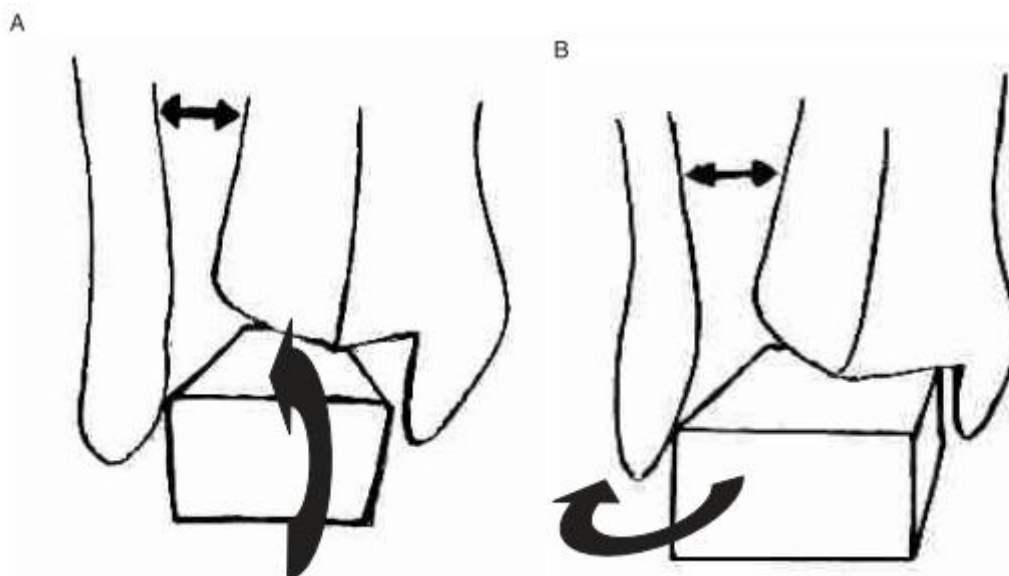


Abbildung 3: Pathomechanismus einer Syndesmosenruptur (Sicht von anterior) (Lin et al. 2006)

1.2 Klinische Diagnostik von Syndesmosenverletzungen

Grundlegend vor der eigentlichen körperlichen Untersuchung ist die Anamneseführung. Neben dem allgemeinen Informationsgewinn in Bezug auf eventuelle Vorerkrankungen, vor allem bereits stattgefundene Verletzungen/Operationen des betroffenen Sprunggelenks, regelmäßige Medikamenteneinnahme oder aber etwaige Allergien primär gegen Medikamente, ist der eigentliche Unfallhergang von Bedeutung. Kann der Patient möglichst genau angeben, wie es zu der Verletzung kam, oder auch seit wann er Beschwerden im Bereich des Sprunggelenks

hat, kann eine akute Verletzung von einer chronischen Instabilität der Syndesmose unterschieden werden. Anschließend ist eine gezieltere klinische Untersuchung im Hinblick auf eine Syndesmosenverletzung möglich.

Während der klinischen Untersuchung folgt dann die Inspektion des betroffenen Sprunggelenks auch in Relation zur Gegenseite. Hierbei kann eine Schwellung, Rötung aber auch gegebenenfalls eine Deformität bereits auffallen. Bei der Palpation wird am Kniegelenk begonnen, bei einer Maisonneuve-Fraktur (siehe Punkt 1.4) können bereits Druckschmerzen im Bereich der proximalen Fibula auftreten. Fortlaufend werden nun Tibia und Fibula bis einschließlich der malleoli abgetastet, anschließend folgt Druck auf die anteriore Syndesmose (AITFL). Eine schmerzhafteste Palpation zeigt mit einer Sensitivität von 92 % und einer Spezifität von 79 % eine Verletzung des vorderen Bandapparates an. (Tourné et al. 2019)

Beim Squeeze-Test kann Druck auf die Tibia und Fibula ausgeübt werden. Hierbei kann der Unterschenkel schrittweise von kranial nach kaudal abgedrückt werden, ein vermehrter Druckschmerz spricht bei einer Spezifität von 94 % und einer Sensitivität von 30 % für eine Syndesmosenverletzung. (Fort et al. 2017) (Buckup und Hoffmann 2019)

Ebenfalls von großer Bedeutung zur klinischen Diagnosestellung ist der Dorsalextensions- und Außenrotations-Stresstest (Frick-Test), dabei wird das Sprunggelenk passiv in maximale Dorsalextension gebracht, und anschließend der Fuß nach lateral rotiert, hierbei kann die Syndesmose auf Spannung gebracht werden. Mit einer Sensitivität von 20 % und einer Spezifität von 85 % ist er etwas weniger Aussagekräftig als der Squeeze-Test (Fort et al. 2017).

In Deutschland wird im klinischen Setting am häufigsten der Außenrotations-Stresstest gefolgt vom Squeeze-Test durchgeführt. (Mutschler et al. 2023)

Anhand der Gewichtsbelastbarkeit der betroffenen unteren Extremität kann eine grobe Einschätzung des strukturellen Bandschadens nach Jackson erfolgen:

- Grad 1: erhaltene Belastbarkeit des oberen Sprunggelenks (Überdehnung der Bänder)
- Grad 2: initial erhaltene Belastbarkeit mit sekundärer Belastungsunfähigkeit (Teilruptur mit signifikantem Hämatom und Schwellung)
- Grad 3: sofortige Belastungsunfähigkeit beziehungsweise vollständige Luxation (vollständige Ruptur)

(Ruchholtz und Wirtz 2021)

1.3 Bildgebende Diagnostik

Nach eingehender klinischer Untersuchung sollte anschließend die bildgebende Diagnostik eingeleitet werden. Auf Grund sehr breiter Verfügbarkeit bietet sich hierfür im ersten Schritt die Röntgendiagnostik an.

1.3.1 Röntgenbildgebung

Als primäre bildgebende Diagnostik bei klinischem Verdacht auf Sprunggelenksverletzung findet eine Röntgenaufnahme des Sprunggelenks in zwei Ebenen statt. In der seitlichen Sprunggelenksaufnahme kann besonders die Stellung der Tibia zur Fibula und die Lage des Talus in der Malleolengabel in Bezug auf eine anterior-posteriore Lageveränderung beurteilt werden.

Die a.-p. Aufnahme mit 20° Innenrotation im sogenannten Mortise-View dient der Beurteilung der Malleolengabel und der Talusrolle, da hier der gesamte Gelenkspalt eingesehen werden kann.

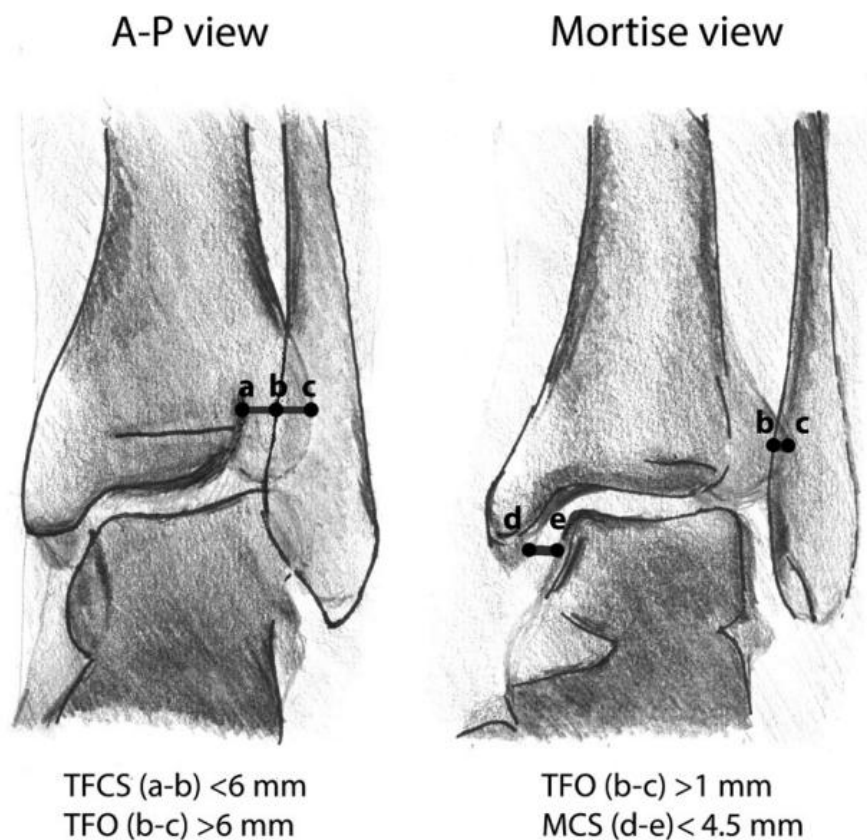


Abbildung 4: tibiofibular clear space (TFCS), tibiofibular overlap (TFO) und medial clear space (MCS) in der a.p. und Mortise-View Aufnahme (Kellett et al. 2018)

Hierbei ergeben sich Maße, die bereits Hinweise auf eine Schädigung der Syndesmose liefern können, wie in Abbildung 4 zu sehen.

Der tibiofibular overlap (TFO) und der tibiofibular clear space (TFCS) werden 1 cm kranial des tibio-tallaren Gelenkspaltes gemessen, sowie der medial clear space (MCS) als größte Distanz zwischen der lateralen Tallusgelenksfläche und der facies articularis malleoli medialis. Bereits 1989 zeigten Harper und Keller in einer Studie am Toten, dass für den MCS < 6 mm in der a.-p. sowie der Mortise-Projektion als normwertig gelten, der TFO sollte im a.-p. Bild > 6 mm, im Mortise View > 1 mm sein. (Harper und Keller 1989)

2019 verglichen Gibson und Kollegen die a.-p. und Mortise-View Aufnahmen von 15 gesunden Sprunggelenken. Hierbei zeigte sich für den MCS im Mortise-View im Mittel 3,1 mm und unter Stress 3,2 mm. Für den TFO ergaben sich 3,3 mm in der normalen und 3,6 mm in der Stress-Mortise-Aufnahme. (Gibson et al. 2019)

1.3.2 Computertomografie

Eine differenziertere Beurteilung erlaubt eine weitere Bildgebung mittels Computertomografie. Auf diese Weise kann durch eine axiale Schichtung die anteriore tibiofibular distance (TFD) und posteriore TFD bestimmt werden, diese werden, genauso wie der TFO/TFCS circa 1 cm kranial der distalen Tibiagelenkfläche gemessen und liegen bei stabiler Syndesmose im Mittel anterior bei 2 mm, posterior bei 4 mm. (Elgafy et al. 2010)

Ist bei der Vermessung dieser Abstände bereits eine Differenz ersichtlich, kann dies ein Anzeichen auf eine Verletzung des Tibiofibulären Bandapparates sein.



Abbildung 5: Messung der anterioren (Strecke A-B) und posterioren TFD (Strecke C-D) (Elgafy et al. 2010)

1.3.3 MRT-Bildgebung

Bei unklarem Verletzungsmechanismus sowie nach Standarddiagnostik ohne klare Diagnose oder bei chronischer Sprunggelenksinstabilität bietet eine MRT-Untersuchung des Sprunggelenks eine direkte Möglichkeit der Beurteilung der Bandstrukturen. Bei der Computertomografie können nur indirekte Marker einen Hinweis auf Verletzung der Bandstruktur geben. Durch die Magnetresonanztomografie kann somit eine Sensitivität von 91 % und eine Spezifität von 100 % bei der Darstellung von Syndesmosenrupturen erreicht werden. (Chun et al. 2015)

Es lassen sich Bandläsionen anhand der vierstufigen Schneck-Skala oder aber über die Sikka-Klassifikation speziell für die Syndesmosenläsion einordnen.

Schneck grading system

Grade 0	No abnormality of ligament
Grade 1	Periligamentous high signal/oedema on proton density-weighted sequences
Grade 2	Partial discontinuity but preserved remnant fibres
Grade 3	Complete discontinuity

Sikka classification*

Grade I	Isolated injuries to the AITFL
Grade II	Injury to the AITFL, interosseous ligaments and interosseous membrane
Grade III	Injury to the AITFL, interosseous ligament, interosseous membrane and PITFL
Grade IV	Injury to the AITFL, interosseous ligament, interosseous membrane, PITFL and deltoid ligament.

*Ligamentous injury was defined as partial or complete tear of the respective ligament.

AITFL, anteroinferior tibiofibular ligament; PITFL, posteroinferior tibiofibular ligament.

Abbildung 6: Schneck-Skala und Sikka-Klassifikation zur Einteilung von Bandverletzungen (Thomas P.A. Baltes et al. 2020)



Abbildung 7: (A) Axial PD-FS Wichtung: Akute Syndesmosenverletzung, welche eine komplette Ruptur des AITFL (Pfeil) und eine wellenförmig eingeschlagene membrana interossea (Pfeilspitze) zeigt (Schneck Grad III) (B) Koronar PD-FS Wichtung: Komplette Ruptur der membrana interossea (Pfeil) (Thomas P.A. Baltes et al. 2020)

Als indirektes Zeichen einer Syndesmosenverletzung lässt sich in der MRT-Untersuchung häufig ein peritibiales Ödem, der sogenannte „broken ring of fire“ darstellen. (Siehe Abbildung 8) Diese Flüssigkeitsansammlung kann sich bis circa 4 cm bis 6 cm kranial der Syndesmose ausbreiten.

Mit einer Spezifität von 87 %, einem negativen Vorhersagewert von 98 % und einem positiven Vorhersagewert von 88 % liegt bei Auftreten des „broken ring of fire“ eine Verletzung der Syndesmose vor. (Calder et al. 2017)



Abbildung 8: MRT Coronal T2fs; Flüssigkeitsansammlung im Bereich der Syndesmose (roter Pfeil) (Calder et al. 2017)

1.3.4 Sonografische Diagnostik bei Verdacht auf Syndesmosenverletzungen

Vor allem bei breiter Verfügbarkeit im klinischen Setting, und da ohne Frakturachweis in der Röntgen-Diagnostik keine direkte Aussage über die Beteiligung der Syndesmose getroffen werden kann, bietet sich auch die Sonografie zur Darstellung des Bandapparates des Sprunggelenks an. Mit einer Sensitivität von 95–97 % und einer Spezifität mit 93–95 % konnte

eine Syndesmose-ruptur sonografisch dargestellt oder ausgeschlossen werden. (McCollum et al. 2013)

Die Darstellung der vorderen Syndesmose ist im lateralen Diagonalschnitt im Verlauf der ventralen Syndesmose zwischen Tibia und Fibula gut möglich. Dabei zeigt sich die echoreiche Kortikalis der beiden Unterschenkelknochen mit einem dazwischen verlaufenden echoreichen Band. (Siehe Abbildung 9) (Reimers H. 2018)

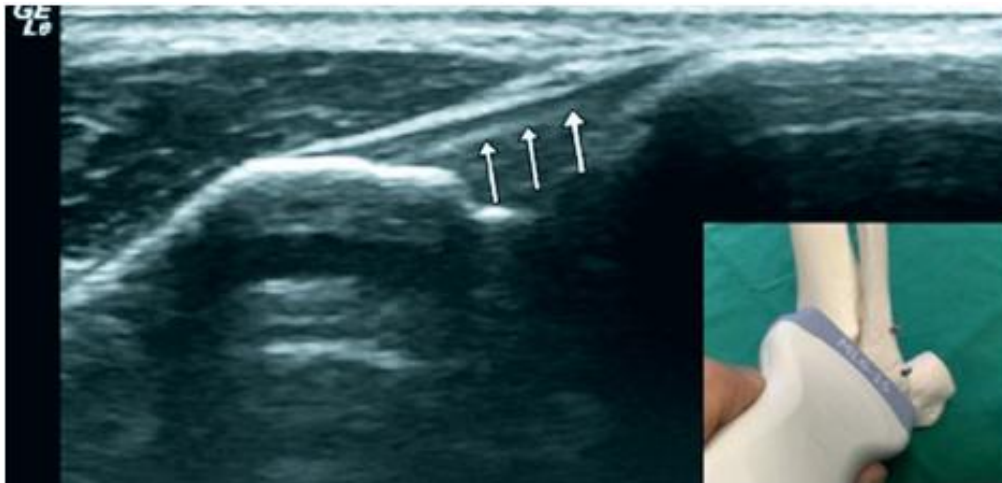


Abbildung 9: Darstellung der vorderen Syndesmose, links im Bild ist der Kortikalis-Reflex der Fibula, rechts derjenige der Tibia, der Pfeil weist auf die Syndesmose hin. (Reimers H. 2018)

In Abbildung 10 zeigt sich dagegen die echoarme Läsion der vorderen Syndesmose.

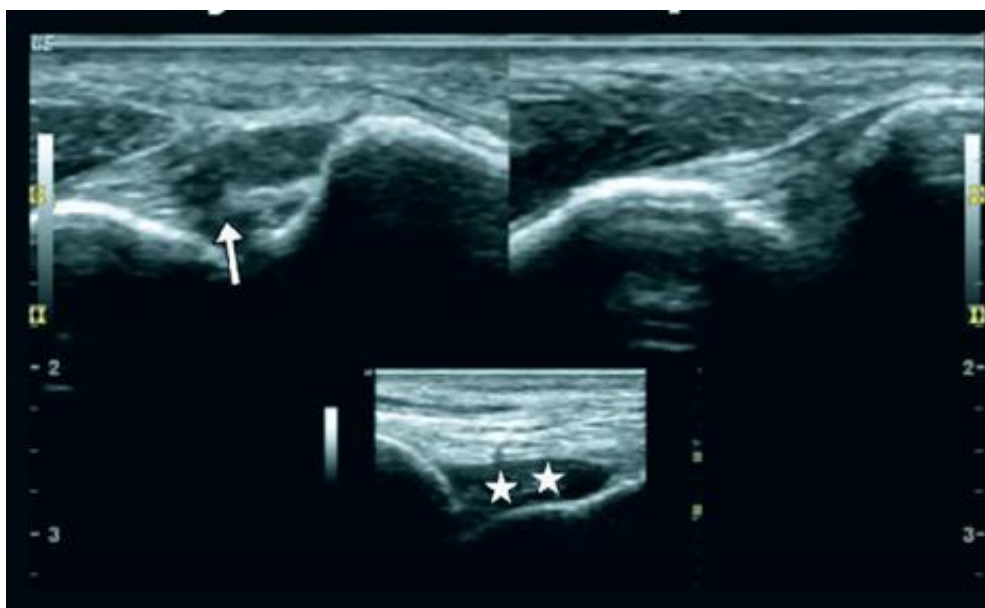


Abbildung 10: Darstellung einer mittig rupturierten Syndesmose (Pfeil) mit Verbreiterung des Bands, Unterbrechung der Faserstruktur und echoarmer Flüssigkeit im Rupturspalt. Rechts zum Vergleich die intakte Syndesmose der Gegenseite. Kleines Bild: Begleitender Erguss (Sterne) im oberen Sprunggelenk (Reimers H. 2018)

Neben der statischen Untersuchung bietet die Sonografie auch eine gute Möglichkeit einer dynamischen Darstellung des Syndesmosebandapparates. Unter Außenrotationsstellung des Fußes und bei gleicher sonografischer Schnittführung kann der tibiofibuläre Abstand im Vergleich zur Gegenseite beurteilt werden. (Abbildung 11) (Reimers H. 2018)

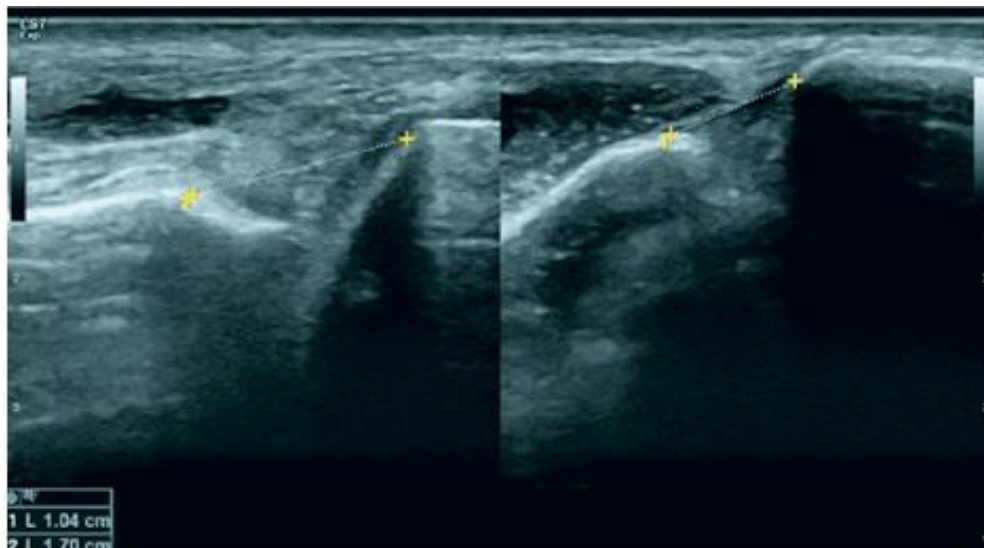


Abbildung 11: Funktionsuntersuchung der Syndesmose durch Außenrotation des Fußes und damit Spreizung der Malleolen-Gabel. Links im Bild sehen wir unter diesen Bedingungen eine Weite von 1,7 cm, rechts im Bild die gesunde Gegenseite mit 1 cm (Reimers H. 2018)

1.4 Einteilung von Sprunggelenksverletzungen

Nach klinischer und bildgebender Diagnostik erfolgt eine Beurteilung mithilfe eines bestimmten Schemas, um daraus die entsprechende standardisierte Therapie abzuleiten. Hierfür eignet sich beispielsweise die Klassifikation nach Danis-Weber, die Klassifikation nach Hansen-Lauge oder aber die Einteilung nach AO.

Einteilung nach Danis-Weber (Wichelhaus und Mittlmeier 2015)

Frakturtyp	Höhe der Fibulafraktur	Syndesmosenstabilität
A	infrasyndesmal	intakt
B	transsyndesmal	fraglich intakt
C	suprasyndesmal	nicht intakt

Bei der Danis-Weber C Verletzung lässt sich noch speziell die Maisonneuve-Verletzung abgrenzen. Hierbei liegt die Fibulafraktur nicht direkt kranial des Sprunggelenkes, sondern im Bereich der proximalen Fibula weshalb wie eingangs erwähnt die Untersuchung des Kniegelenks, insbesondere der proximalen Fibula mit von Belang ist.

Klassifikation nach Lauge-Hansen (Baierlein 2011)

In der Klassifikation nach Lauge-Hansen werden die Verletzungen im Bereich des Sprunggelenks je nach Stellung des Fußes zum Traumazeitpunkt und daraus resultierender Läsion eingeteilt.

- Supinations-Adduktions-Verletzung mit Querfraktur des malleolus lateralis sowie Verletzung des lateralen Bandapparats und gegebenenfalls Fraktur des malleolus medialis
- Pronations-Abduktions-Verletzung mit Fraktur des malleolus medialis oder Ruptur des Deltabandes, sowie eine Ruptur des LFTA und Fraktur des Volkmannndreiecks und gegebenenfalls Fraktur des malleolus lateralis
- Supinations-Eversions-(Außenrotations)-Verletzung mit Ruptur des LFTA, Fraktur des malleolus lateralis, unter Umständen mit Volkmannfragment und Läsion des Deltabandes oder Fraktur des malleolus medialis
- Pronations-Eversions-(Außenrotations)-Verletzung mit Fraktur des malleolus medialis oder Ruptur des lig. deltoideum, mögliche Ruptur des lig. tibiofibulare anterius und lig. Interosseum, Ruptur der membrana interossea und Fraktur der Fibula 7–8 cm proximal der Malleolenspitze möglich
- Pronations-Dorsalflexions-Verletzung mit Fraktur des malleolus medialis, Fraktur des vorderen Randes der Tibia mit großem ventralen Kantenfragment, Fraktur der Fibula supramalleolär im mittleren oder proximalen Drittel und gegebenenfalls Keilfraktur der posterioren Tibiagelenkkante

AO-Klassifikation (Baierlein 2011)

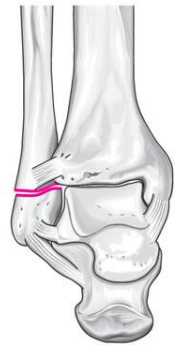
In der AO-Klassifikation werden Läsionen im Bereich des Unterschenkels mit vier nummeriert, davon explizit im Bereich der Malleolarregion mit 44. Weiter untergliedert wird in Verletzungen infrasyndesmal (A), transsyndesmal (B) und suprasyndesmal (C) ähnlich der Klassifikation nach Danis-Weber.

Daraus ergibt sich folgendes Schema:

44-A1...isoliert



44-A1.1...Ruptur des Lig. collaterale laterale
44-A1.2...Ausriss der Fibulaspitze
44-A1.3...Querfraktur des Malleolus lateralis

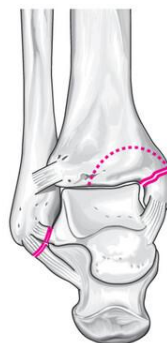


44-A2...mit Fraktur medialer Malleolus

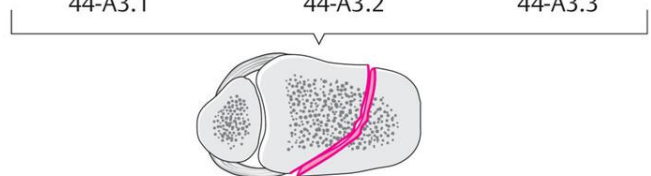


44-A2.1...Ruptur des Lig. collaterale laterale
44-A2.2...Ausriss der Fibulaspitze
44-A2.3...Querfraktur des Malleolus lateralis

44-A3...mit dorsomedialer Fraktur



44-A3.1...Ruptur des Lig. collaterale laterale
44-A3.2...Ausriss der Fibulaspitze
44-A3.3...Querfraktur des Malleolus lateralis



44-B1...isoliert



44-B

44-B1.1...einfach

44-B1.2...einfach, mit Ruptur der
vorderen Syndesmose

44-B1.3...mehrfragmentär



44-B1.1



44-B1.2



44-B1.3

44-B2...mit medialer Läsion

44-B2.1...einfach, mit Ruptur des Lig. collaterale
mediale und Ruptur der vorderen Syndesmose

44-B2.2...einfach, mit Fraktur des Malleolus
medialis und Ruptur der vorderen Syndesmose

44-B2.3...mehrfragmentär



44-B2.1



44-B2.2



44-B2.3

44-B3...mit medialer Läsion und Volkmann-Fraktur

44-B3.1...Fibula einfach, mit Ruptur des
Lig. collaterale mediale

44-B3.2...einfach, mit Fraktur des
Malleolus medialis

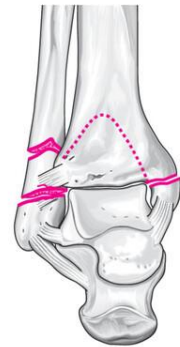
44-B3.3...mehrfragmentär, mit Fraktur des
Malleolus medialis



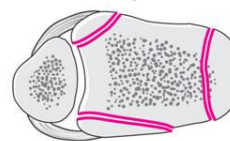
44-B3.1



44-B3.2

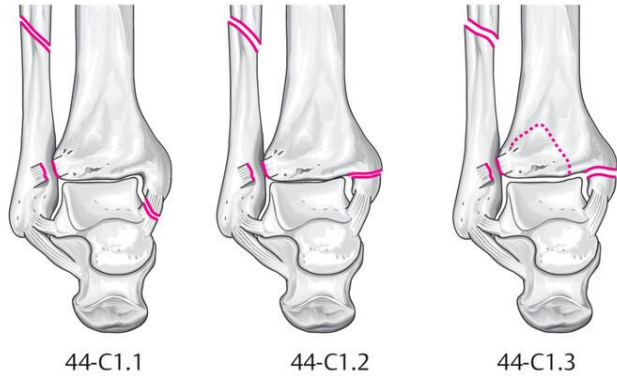


44-B3.3



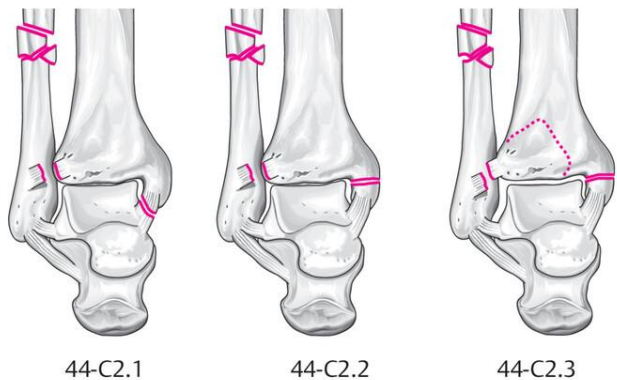
44-C1...diaphysäre Fraktur der Fibula, einfach

44-C1.1...mit Ruptur des Lig. collaterale mediale
 44-C1.2...mit Fraktur des Malleolus medialis
 44-C1.3...mit Fraktur des Malleolus medialis und Volkmann-Fraktur (Dupuytren)

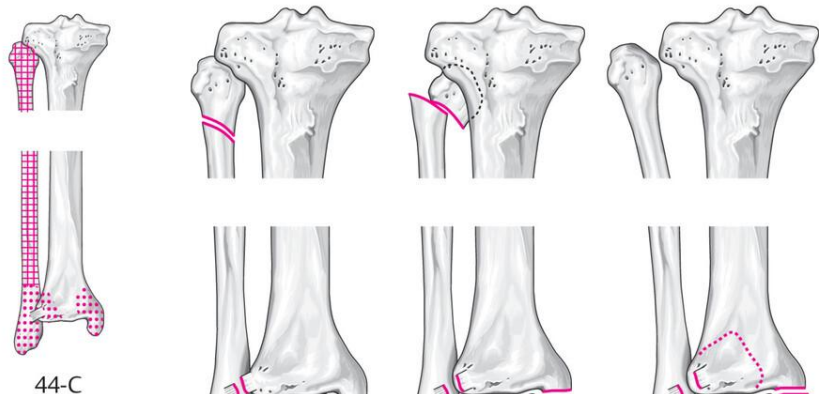


44-C2...diaphysäre Fraktur der Fibula, mehrfragmentär

44-C2.1...mit Ruptur des Lig. collaterale mediale
 44-C2.2...mit Fraktur des Malleolus medialis
 44-C2.3...mit Fraktur des Malleolus medialis und Volkmann-Fraktur (Dupuytren)



44-C3...proximale Fibulaläsion



44-C3.1...ohne Verkürzung, ohne Volkmann-Fraktur
 44-C3.2...mit Verkürzung, ohne Volkmann-Fraktur
 44-C3.3...mediale Läsion und Volkmann-Fraktur

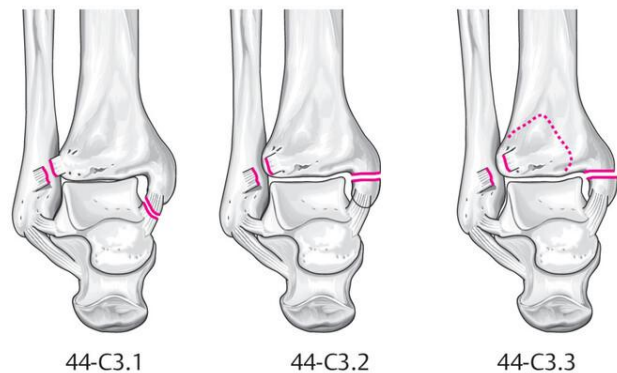


Abbildung 12: AO-Klassifikation bei Sprunggelenksverletzungen malleolares Segment (Baierlein 2011)

1.5 Osteosyntheseverfahren bei Syndesmosenverletzung

Zeigt sich in Zusammenschau der Befunde nun eine Verletzung des Syndesmoseapparates, empfiehlt sich die Transfixation der Syndesmose. An dieser Stelle bietet sich neben einer Schraubenosteosynthese auch die Versorgung mittels TightRope an.

1.5.1 Stellschraubenosteosynthese

Bei der Schraubenosteosynthese wird die Stellschraube circa 2 cm kranial des Gelenksspaltes parallel zu diesem eingebracht. Unter Verwendung der Repositionszange wird die Fibula an der Tibia fixiert, hierbei ist darauf zu achten, dass die Zange im 90° Winkel angesetzt, und kein zu starker Druck angewendet wird, da es sonst zu einer Fehlpositionierung kommen kann. Außerdem empfiehlt sich das Vorbohren anstatt selbstschneidender Schrauben, zumal so das Wegdrücken der Fibula von der Tibia verhindert werden kann. (Stannard et al. 2020)

Zur Stabilisierung der Syndesmose kann eine oder gar zwei Schrauben verwendet werden. Diese können dann trikortikal (durch die Fibula und die laterale Kortikalis der Tibia) eingebracht werden, oder aber quadrikortikal (ebenfalls durch die komplette Tibia).

Beim trikortikalen Einbringen der Stellschraube ergibt sich nur ein punktueller Halt an der Tibia, weshalb die Fibula nicht komplett stabil an der Tibia fixiert ist. Bei Bewegung des Sprunggelenks ist eine Bewegung der Fibula entgegen der Tibia möglich, was eine inkomplette Ruhigstellung im Bereich der Syndesmose mit sich bringt. Dabei kann es außerdem zur schnelleren Schraubenlockerung kommen.

Bioresorbierbare Schrauben

Als Alternative zur Stellschraubenversorgung mittels Titanschrauben kommen zunehmend bioresorbierbare Schrauben zum Einsatz. Als Schraubenmaterial wird beispielsweise Magnesium verwendet.

Magnesium und seine Legierungen bieten sich einerseits auf Grund seiner Korrosionsfähigkeit in wässrigen Lösungen insbesondere bei vorhandenen Chloridionen an. Außerdem entstehen durch die Schraubenresorption keine kritischen toxischen Grenzwerte von Magnesium im Körper. Die Dichte (1.74-2.0 g/cm³) sowie die Steifigkeit (40–45 GPa) von Magnesium entspricht eher der des Knochens (1,8–2,1 g/cm³ und 3–20 GPa) als die häufig verwendeten Titanlegierungen (4,4–4,5 g/cm³ und 115 GPa) was somit weniger oft zu Stresslockerungszeichen führt. (Kamrani und Fleck 2019)

1.5.2 Syndesmosenfixierung mittels TightRope

Neben der Einbringung einer Stellschraube besteht auch die Option der Versorgung mittels TightRope. Das Vorgehen ist ähnlich dem der Stellschraubenfixierung.

Die Einbringung des TightRope kann sowohl nach geschlossener aber auch nach offener Reposition, in Kombination mit einer Plattenosteosynthese oder singularär erfolgen. Wie bei der Stellschraube erfolgt die korrekte Reposition, gefolgt von einer Vorbohrung und Einbringung des TightRope durch Tibia und Fibula.

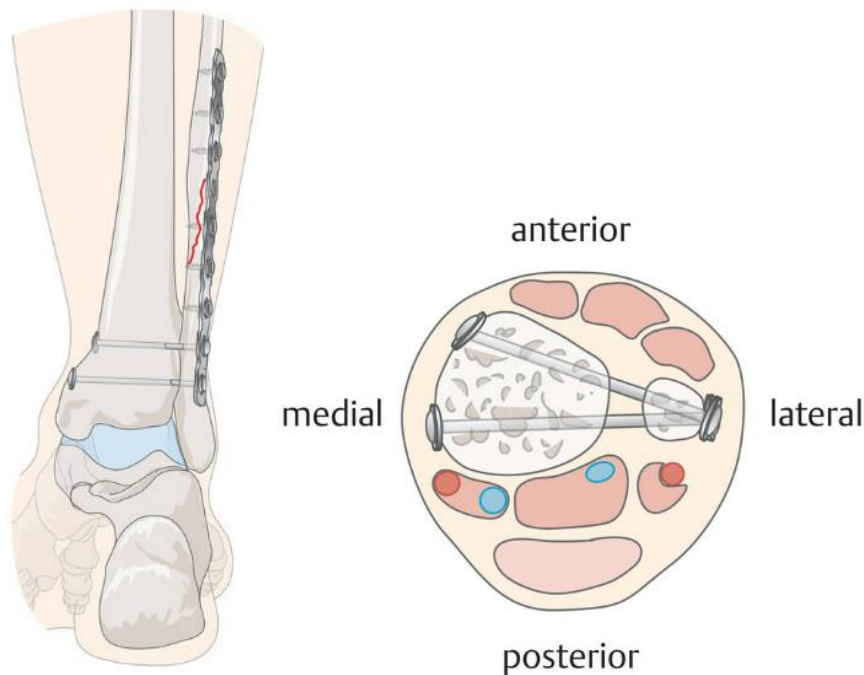


Abbildung 13: TightRope zur Stabilisierung der Syndesmose. Ansicht von posterior und transversal (Dohle und Rammelt 2021)

Unabhängig vom Einsatz des Osteosyntheseverfahrens ist der wichtigste Faktor die korrekte Reposition der Fibula in der distalen Tibiaainzsur. Bereits eine Syndesmosendiastase um mehr als 1,5 mm ergab einen signifikant schlechteren Outcome, wobei eine Übertherapie mit einer Stellschraube keine langfristigen funktionellen Einbußen zeigte. (Rammelt und Ogruba 2015)

1.6 Grundlage der Sonografie

Warum bietet sich die Sonografie als Untersuchungstechnik für die Darstellung von Metallimplantaten an?

Um dies genauer zu eruieren, erfolgt eine Darstellung der Grundlagen der Ultraschallbildgebung.

Verschiedene Medien weisen eine unterschiedliche Schallausbreitung auf. Durch einen bestimmten Wellenwiderstand (akustische Impedanz) zeigt sich je nach Medium eine

unterschiedliche Schallausbreitungsgeschwindigkeit. Eine Änderung der akustischen Impedanz und eine veränderte Schallausbreitungsgeschwindigkeit bringt somit eine bestimmte Absorption des Schalles je nach Eindringungstiefe mit sich.

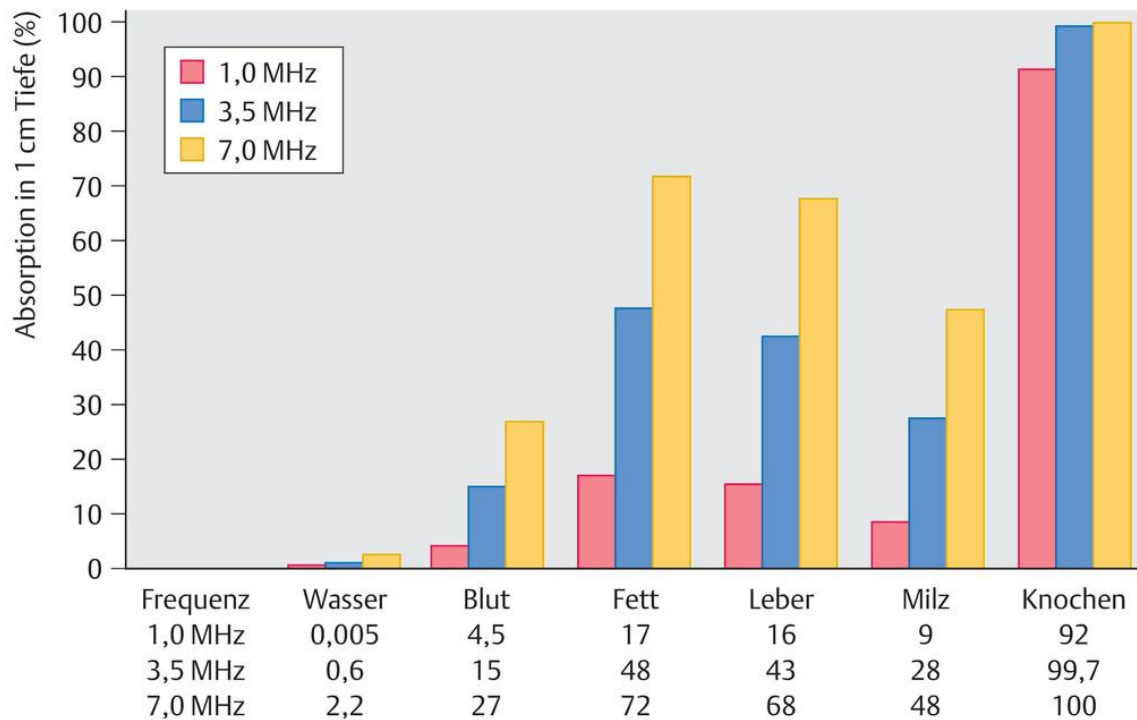


Abbildung 14: Absorption von Ultraschallwellen durch eine 1 cm dicke Schicht verschiedener Gewebe bzw. Flüssigkeiten (Debus et al. 2012)

Trifft die Schallwelle an einer Grenze eines Mediums auf ein anderes, so ergibt sich an der Grenze eine Schallreflexion. Je größer der Dichteunterscheid, desto höher die Reflexion.

Substanz	Ausbreitungsgeschwindigkeit m/s	Dichte g/cm ³	Akustische Impedanz g/cm ² S
Fett	1470	0,97	1,42 x 10 ⁵
Knochenmark	1700	0,97	1,42 x 10 ⁵
Muskel	1568	1,04	1,63 x 10 ⁵
Knochen	3600	1,70	6,12 x 10 ⁵
Wasser	1492	0,998	1,489 x 10 ⁵
Luft	331	0,0013	0,0043 x 10 ⁵
Metall:			
Titan	2550	16,6	42,33 x 10 ⁵
Nickel	4500	8,9	40,05 x 10 ⁵
Kobalt	4717	7,1	33,49 x 10 ⁵

Abbildung 15: Werte für Dichte und Ausbreitungsgeschwindigkeit sowie akustischen Impedanz für verschiedene Medien (Grechenig et al. 1996)

Wie aus der Abbildung zu entnehmen, ergibt sich beim Schallübergang von Weichteilgewebe zu Knochen oder gar Metall eine hohe Dichteänderung und somit eine hohe Schallabsorption. (Grechenig et al. 1996)

1.7 Anwendung der Sonografie zur Materialentfernung

Neben der heute standardmäßig verwendeten radiologischen Diagnostik, mittels Röntgen, CT und MRT bietet die Sonografie auf Grund oben dargestellter Sachverhalte eine gute Möglichkeit der Bildgebung von Osteosynthesematerial. 1987 zeigte G A Gooding et al in einer teils experimentellen und teils klinischen Studie an Händen und Füßen mit einliegenden Fremdkörpern, beziehungsweise an einer Hühnchenbrust mit präparierten Fremdkörpern, dass mithilfe der Sonografie neben Metall- und Glasfremdkörpern, welche auch im Röntgen zu sehen waren, auch Holzsplitter, welche nicht röntgendicht waren, gut darzustellen waren. (Gooding et al. 1987)

Grechenig et al betrachtete 1996 explizit die Darstellung von Osteosynthesematerial bei der Ultraschalluntersuchung. Es zeichnete sich ein heller Grenzflächenreflex ab, ähnlich wie bei Knochengewebe. Charakteristisch zeigt sich bei der Darstellung von Osteosyntheseschrauben das sogenannte Komentenschweifartefakt, welches der Breite des Schraubenkopfs entspricht und in der Tiefe langsam abnimmt. Ein ähnliches Bild bieten Metallplatten mit

Schraubenlöchern, hier zeigt sich das Artefakt unter den soliden Anteilen der Platte, die Schraubenlöcher präsentieren sich weniger artefaktreich. (Gooding et al. 1987)

1.8 Fragestellung

Bereits 2013 wurde in einer ähnlichen Studie die Dynamisierung von Marknägeln bei ausbleibender Frakturheilung untersucht. Hierbei wurden 31 Verriegelungsschrauben von Femur- bzw. Tibiamarknägeln sonografiegesteuert unter Lokalanästhesie bei 20 Patienten erfolgreich entfernt. (Wu et al. 2013)

Li und Kollegen zeigten 2024 bei einer sonografiegestützten Osteosynthesematerialentfernung, dass die Sonografie eine strahlungsfreie, dynamische und präzise Bildgebung bietet. Sie ermöglicht eine gezielte Hautmarkierung, intraoperative Überprüfung und postoperative Bestätigung der vollständigen Implantatentfernung. Der Eingriff sei insgesamt weniger invasiv, mit geringerem Blutverlust und kleineren Zugängen, was auf eine verbesserte Effizienz und Sicherheit hinweist. (Li et al. 2024)

Es stellt sich somit die Frage, ob und wie präzise eine Stellschraube präoperativ mittels Ultraschall detektiert werden kann und ob diese anschließend sonografisch gestützt explantiert werden kann. Ist dies einerseits bei Stellschrauben mit gleichzeitiger Plattenosteosynthese der Fibula aber auch nach isolierter Einbringung einer oder mehrerer Syndesmosestellschrauben möglich?

2. Studienaufbau und -durchführung

2.1 Patienten- und Datenerfassung

Das Studienkollektiv wurde aus allen Patienten mit geplanter und anschließend durchgeführter Stellschraubenentfernung im Caritas Krankenhaus St. Josef Regensburg aus den Jahren 2021 bis 2025 gebildet. Anschließend wurde in zwei Gruppen unterteilt, Patienten mit nachfolgender Kontrolle der sonografisch markierten Position unter Röntgen und eine zweite Gruppe, in welcher nur die sonografiegestützte Entfernung ohne Röntgenkontrolle erfolgte. Die Schraubenentfernung ist in einem ambulanten Eingriff unter Lokalanästhesie durchgeführt worden.

Die patientenbezogenen Daten die erfasst wurden, waren:

- Personendaten: Name, Alter (bei Materialentfernung), Geburtsdatum, Gewicht, Größe, BMI
- Datum der Primärversorgung
- Dauer der Materialeinlage (Zeitspanne Implantation → Explantation)
- Zusätzliche Plattenosteosynthese
- Seite der Osteosynthese
- Anzahl der Stellschrauben
- Abstand Hautniveau zur Stellschraube (sonografisch bestimmt)
- Wundstatus zum Zeitpunkt der Materialentfernung
- Weichteilverhältnis am Sprunggelenk
- Operateur
- Abstand der Hautmarkierung zur Schraube unter Bildwandler
- Durchleuchtungszeit
- Gesamtstrahlendosis
- Postoperative Entzündung der OP-Wunde (innerhalb von vier Wochen)

Vermerkt wurden die erfassten Parameter auf einem eigens dafür angefertigten Dokumentationsbogen. Erfasst wurde neben den Stammdaten Name, Geburtsdatum, Anschrift, Geschlecht, Telefonnummer auch das Datum der Primärversorgung. Ebenfalls dokumentiert wurde ob neben der Stellschraubenversorgung eine Plattenosteosynthese erfolgte, und die Anzahl der Stellschrauben. Vermessen wurde sonografisch die Tiefe der Stellschraube (Abstand oberflächliches Hautniveau zum Schraubenkopf). Dokumentiert wurden neben Körpergröße und Gewicht auch die Weichteilverhältnisse am Sprunggelenk und der Wundstatus nach dem Primäreingriff. Weiterhin wurden der Namen des Ultraschalluntersuchers und der des späteren Operateurs vermerkt. Aufgenommen wurde ebenfalls der auf dem erstellten p.-a. Kollbild vermessene Abstand zwischen sonografischer Schraubenmarkierung und tatsächlicher radiologischer Schraubenlage. Während der OP wurde die Schmerzsituation des Patienten erfasst. Mit von Bedeutung und ebenfalls dokumentiert wurde das verabreichte Lokalanästhetikum sowie die entsprechende Menge und die Schnitt-Naht-Zeit. Wenn der jeweilige Patient telefonisch erreichbar war, wurde vier Wochen postoperativ die Wund- und Schmerzsituation erfragt.

2.2 Sonografiedurchführung zur Stellschraubendetektion

Präoperativ erfolgte die Markierung der Stellschraube mit dem linearen Ultraschallkopf. Anhand der postoperativen Röntgenbilder vom Primäreingriff bei Sprunggelenkosteosynthese konnte die Lage innerhalb der Plattenosteosynthese erschlossen und sonografisch bis zur entsprechenden Schraub abgezählt werden. Es erfolgte eine Darstellung in kranio-kaudaler sowie anterior-posteriorer Schnittführung und anschließender Markierung mit einem wasserfesten Stift.

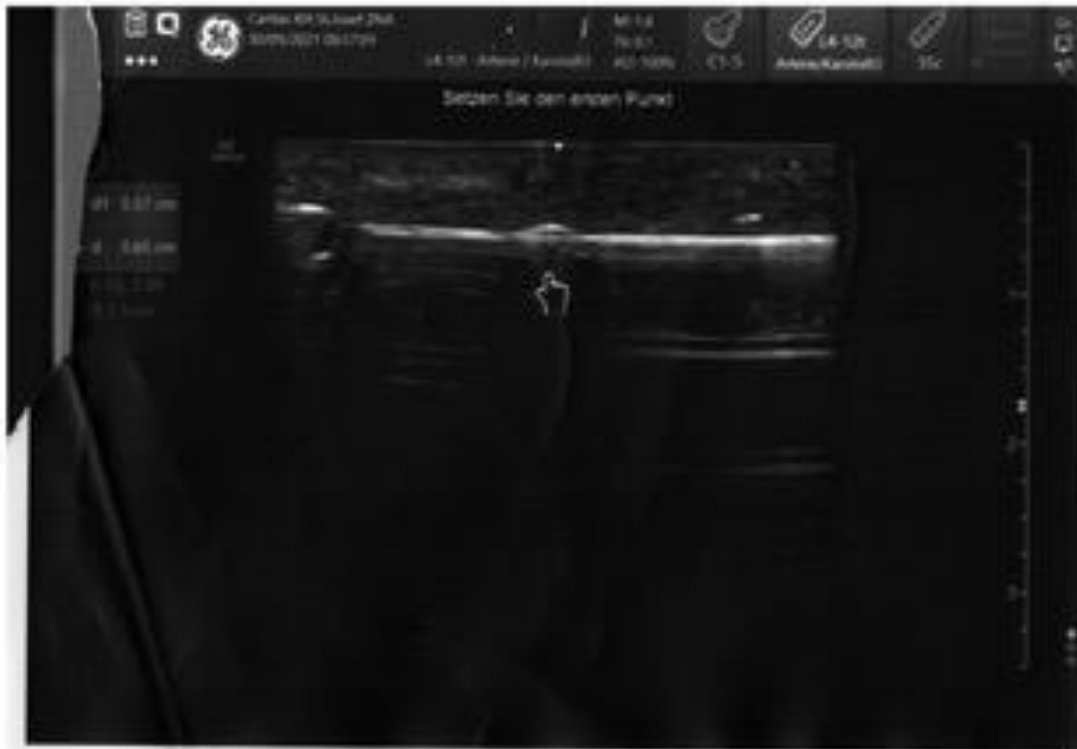


Abbildung 16: Darstellung der Schraube in einer Osteosyntheseplatte mittels Sonografie und Vermessen des Haut-Schrauben-Abstandes

2.3 Röntgendurchführung

Vor Schnittführung wurde anschließend bei der Röntgenkontrollgruppe der Kleinfragmentschraubendreher mit 3,5 mm Durchmesser auf die zuvor sonografisch angefertigte Markierung gesetzt und ein p.a. Röntgenbild erstellt. Somit ist die Lage der Schraube zur Markierung kontrolliert worden, es ergab sich ein Abstand von Schraubenzieher zur eigentlichen Schraubenlage in der Frontalebene, welcher analog mit dem Lineal vermessen wurde.



Abbildung 17: Beispiel-p.a. Röntgenbild präoperativ zur Lagekontrolle der Stellschraube mit Schraubendreher

2.4 Materialaufwand zur Schraubenentfernung

Die Stellschraubenentfernung fand im Caritas Krankenhaus St. Josef in Regensburg im ambulanten OP-Saal nach Strahlenschutz DIN 6812 statt. Verwendet wurde zur Sonografie ein GE HealthCare Venue R3 mit dem Linearschallkopf GE HealthCare L4-12T-RS. Bei den Studienteilnehmern mit Röntgenkontrolle kam der mobile C-Bogen Philipps BV Endura zum Einsatz.

Die eigentliche Schraubenentfernung fand in Rückenlage, unter sterilen Kautelen nach sterilem Abwaschen sowie Abdecken mit einem Lochtuch und nach Injektion von Lokalanästhesie im Bereich des späteren Inzisionspunktes statt. Zur Lokalanästhesie wurde Xylonest 1 % verwendet.

Nach Stichinzision an der markierten Stelle erfolgte die Entfernung der Stellschraube mit dem 3,5 mm 6-Kant Schraubendreher. Nach einer anschließenden ausgiebigen Wundspülung folgte die Hautnaht mit einem 3.0 Prolene Faden in Donati-Technik, sowie die Anlage eines sterilen Wundverbandes.

2.5 Auswertung

Ausgewertet wurde in der Röntgenkontrollgruppe die Abweichung der Markierung von der eigentlichen Schraubenlage. Hierfür wurde der Abstand der Schraubendreher-Mitte zur Mitte des Schraubenkopfes auf dem analogen Röntgenbild mit dem Lineal gemessen. In der reinen Sonografiegruppe wurde, da es zu keiner Fehlentnahme kam und kein Referenzbild vorhanden war eine Abweichung von 0 mm definiert.

Bei allen Teilnehmern wurde ebenfalls die Geschlechterverteilung, die Seite des Eingriffs, die Anzahl der vorhandenen Stellschrauben, der Wundstatus zum Eingriffszeitpunkt, die Weichteilverhältnisse am Sprunggelenk, der sonografisch gemessene Haut-Schrauben-Abstand sowie die Schnitt-Naht-Zeit ausgewertet. Verarbeitet wurden die erfassten Daten mithilfe von PSPP 2.0 und Excel.

3. Ergebnisse

Von Januar 2021 bis Januar 2025 wurde bei 35 Studienteilnehmern eine Syndesmosenstellschraubenentfernung am Sprunggelenk durchgeführt.

Unter den Untersuchten im Gesamtstudienkollektiv waren 14 weibliche Patientinnen, 21 männliche, und kein diverser Patient. Von den 35 Eingriffen fanden 21 am linken und 14 am rechten Sprunggelenk statt. Insgesamt wurden hierbei 48 Schrauben entfernt, da bei 13 Patienten primär zwei Stellschrauben eingebracht waren. 24-mal ist neben der Stabilisierung mittels Stellschraube ebenfalls eine Plattenosteosynthese vorgenommen worden, 11-mal lag eine Maisonneuve-Verletzung vor, welche isoliert mittels Stellschrauben versorgt war.

Der Wundstatus nach dem Primäreingriff und bei Wiedervorstellung zur Schraubenentfernung zeigte sich bei mehr als der Hälfte der Patienten (68 %) reizlos ohne Auffälligkeiten, in den restlichen Fällen war noch Wundgrind oder eine leichte Rötung vorhanden.

Die Zeitspanne von Stellschraubenversorgung bis zur Entfernung lag bei durchschnittlich 49 Tagen, wobei die früheste Entfernung nach 40 Tagen, die längste nach 78 Tagen erfolgte.

Die jeweiligen Stellschraubenentfernungen wurden von 15 verschiedenen Operateuren durchgeführt, daher variierte die Schnitt-Naht-Zeiten teils sehr stark.

Tabelle 1: Schnitt-Naht Zeit bei Entfernung von 2 Stellschrauben

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.- Abweichung
Schnitt-Naht Zeit (min)	13	6	50	19,31	14,37

Tabelle 2: Schnitt-Naht Zeit bei Entfernung von einer Stellschraube

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.- Abweichung
Schnitt-Naht Zeit (min)	22	3	30	11,41	7,81

Im Kollektiv mit Röntgenkontrolle (18 Patienten) ergab sich eine durchschnittliche axiale Abweichung der sonografischen Markierung zur eigentlichen Schraubenkopflage bei 26 entfernten Schrauben von 2,31 mm. Der Abstand von Hautoberfläche zum Schraubenkopf lag sonografisch vermessen bei durchschnittlich 8,19 mm (N=22 Schrauben).

Tabelle 3: Sonografische Markierung und anschließende Röntgenkontrolle

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.- Abweichung
Abstand Haut - Schraube (mm)	22	5,0	15,0	8,19	3,33
Distanz Markierung - BV axial (mm)	26	0	13	2,31	3,81

In der zweiten Patientengruppe mit rein sonografiegesteuerter Schraubenentfernung wurde wie bereits erwähnt die Abweichung axial mit 0 mm definiert, da immer die richtige Schraube entfernt wurde und es zu keiner Fehlentnahme kam. Der Haut-Schraubenabstand lag hier bei durchschnittlich 8,23 mm.

Tabelle 4: Rein sonografische Markierung ohne anschließende Röntgenkontrolle

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.- Abweichung
Abstand Haut - Schraube (mm)	22	3,5	14,0	8,23	3,32
Distanz Markierung - BV axial (mm)	22	0	0	,00	,000

Bei der Röntgenkontrollgruppe (18 Patienten) wurde die Durchleuchtungszeit sowie die Strahlendosis miterfasst.

Tabelle 5: Strahlendosis und Durchleuchtungszeit

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.- Abweichung
Durchleuchtungszeit (s)	14	1,0	20,0	4,67	5,58
Gesamtdosis (mGy·cm ²)	15	0,42	21,8	7,32	6,80

In der Follow-Up Befragung circa vier Wochen nach der Schraubenentfernung bezüglich etwaiger Komplikationen konnten nur 20 der 35 Patienten erreicht werden. Es trat bei einem Patienten eine lokale Infektion mit mehrfach nötigem Debridement und anschließender prolongierter Wundheilung auf, er wurde in unserer Ambulanz bis zur abgeschlossenen Wundheilung weiter versorgt.

Um diese Ergebnisse entsprechend einordnen zu können wurde in PSPP mittels Shapiro-Wilk-Test die Normalverteilung geprüft. Auf Grund einer Stichprobengröße kleiner 50 Fälle wurde dieser dem Kolmogorov-Smirnov-Test vorgezogen. Im ersten Schritt wurden beide Gruppen, mit und ohne Röntgenkontrolle, in den nachfolgenden Messwerten auf Normalverteilung geprüft.

Tabelle 6: Shapiro-Wilk Test auf Normalverteilung in beiden Patientengruppen

	Röntgenkontrolle	Statistik	df	Sig.
Alter (Jahre)	nein	,96	16	,65
	ja	,97	14	,83
BMI	nein	,93	16	,25
	ja	,88	14	,05
Abstand Haut - Schraube (mm)	nein	,90	16	,07
	ja	,81	14	,01
Schnitt-Naht Zeit (min)	nein	,85	16	,01
	ja	,94	14	,36

Bei einem Signifikanzniveau $p > 0,05$ ergab sich eine Normalverteilung in allen Parametern außer der Schnitt-Naht Zeit der Sonografie Gruppe, und der Haut-Schrauben-Abstand der Röntgengruppe. Der BMI der Röntgenkontrollgruppe zeigte sich annähernd normalverteilt.

Die Normalverteilung mittels Shapiro-Wilk wurde ebenfalls bei der Distanz Markierung - BV axial aller 48 entfernten Schrauben, wieder getrennt in beiden Gruppen getestet.

Tabelle 7: Shapiro-Wilk Test auf Normalverteilung der Markierungsabweichung

	Röntgenkontrolle	Statistik	df	Sig.
Distanz Markierung - BV axial (mm)	nein	NaN	22	NaN
	ja	,67	26	2,26E-006

Hierbei zeigte sich keine Normalverteilung ($p < 0,05$) der axialen Abweichung in beiden Gruppen, weshalb zur Testung auf einen signifikanten Unterschied aller Untersuchungsgruppen statt dem T-Test der Mann-Whitney-U-Test herangezogen wurde. Für diesen ist im Unterschied zum T-test keine Normalverteilung nötig.

Tabelle 8: Mann-Whitney-U-Test beider Gruppen in Bezug auf die Markierungsabweichung

	Mann-Whitney U	Wilcoxon W	Z	Sig.
Distanz Markierung - BV axial (mm)	187,00	440,00	-3,01	,003

Dementsprechend zeigte sich beim Mann-Whitney-U-Test ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) der Abweichung der Stellschraubenmarkierung beim Vergleich beider Gruppen.

4. Diskussion

4.1 Fehlerquellen bei der Durchführung der Studie

Da die Eingriffe während der Studie von 15 unterschiedlichen Ärzten vollzogen wurden, ist von einer hohen Interobserver-Variabilität auszugehen. Die Konkordanz könnte durch eine gezieltere Studiendurchführung mit immer dem gleichen Operateur verbessert werden. Durch unterschiedliche Erfahrung bei der Durchführung des Eingriffes variieren des Weiteren auch die OP-Zeiten sehr stark. Die Schraubenentfernungen wurden von Assistenzärzten der Klinik unter Supervision eines Unfallchirurgischen Oberarztes vorgenommen, was aber wiederum für eine einfache Durchführung und ein schnelles Erlernen einer Stellschraubenentfernung spricht.

Eine weitere Fehlerquelle ergab sich auf Grund unterschiedlicher Untersuchungserfahrung auch bei der Sonografie zur Lokalisierung der Stellschraube und dem Vermessen des Haut-Schrauben-Abstandes. Durch unterschiedlichen Anpressdruck auf das Gewebe des Patienten kann deshalb der Haut-Schraubenabstand je nach Untersucher variieren.

Im Gegensatz zum Röntgenbild bot sich hier jedoch die Möglichkeit die Distanz digital im Sonografiegerät zu vermessen, was wiederum eine geringe Fehlerquelle beim Ablesen des Abstandes mit sich bringt.

Ein größeres Problem ergab sich bei der Auswertung der Röntgenbilder. Da diese nur analog vorlagen, entstanden Fehler beim Messen der Abweichung der Hautmarkierung zur eigentlichen Stellschraubenlage.

Weitere Unterschiede können sich bei der Anwendung des C-Bogens durch die unterschiedlichen Operateure ergeben. Auffallend ist eine stärkere Varianz der Durchleuchtungszeit und somit applizierten Strahlendosis.

4.2 Allgemeine Diskussionspunkte die sich durch die Studie ergaben

Im Rahmen der Diskussion zur klinischen Relevanz der ultraschallgestützten Entfernung von Osteosynthesematerial am Sprunggelenk lieferten Jiménez de Cisneros Gutiérrez und Kollegen wertvolle Erkenntnisse. In ihrer Studie wurde bei elf Patienten mit transsyndesmalen Schrauben oder anderen Implantaten im distalen Unterschenkelbereich eine vollständig ultraschallgestützte Materialentfernung unter Lokalanästhesie angewendet, wobei bewusst auf

die Nutzung von Röntgenbildgebung verzichtet wurde. Es konnte in allen Fällen das Implantat erfolgreich entfernt werden. Komplikationen traten kaum auf, lediglich eine oberflächliche Wundinfektion wurde dokumentiert und konnte konservativ behandelt werden. Die hohe Zufriedenheit der Patienten spiegelte sich auch in der Rückmeldung wider, dass 91 % den Eingriff weiterempfehlen würden.

Besonders hervorzuheben ist die Rolle des Ultraschalls in sensiblen anatomischen Regionen wie dem Sprunggelenk. Die Möglichkeit, benachbarte neurovaskuläre Strukturen darzustellen und gleichzeitig auf ionisierende Strahlung zu verzichten, stellt einen entscheidenden Vorteil gegenüber der klassischen Röntgendurchleuchtung dar. Trotz der geringen Fallzahl verdeutlicht die Studie das klinische Potenzial des ultraschallgestützten Vorgehens und unterstützt somit die These, dass diese Methode in geeigneten Fällen eine effektive und patientenschonende Alternative zur konventionellen Technik darstellen kann. (Jiménez de Cisneros Gutiérrez et al. 2024)

Grundsätzlich ist zu hinterfragen, wann und ob eine verletzte Syndesmose operativ versorgt werden sollte.

Nach Verletzungen im Bereich des Sprunggelenks mit Beteiligung der Syndesmose empfiehlt sich bei Weber B oder C Verletzungen mit Beteiligung der Syndesmose möglichst eine operative Versorgung anzustreben. Am wichtigsten hierbei ist eine akkurate Reposition, um den besten klinischen Outcome zu erreichen.

In einer retrospektiven Analyse wurden 21 Patienten mit akuter Syndesmosendiastase im Rahmen von Knöchelfrakturen (Weber B und C) über einen Zeitraum von 12 bis 81 Monaten (mittlere Nachbeobachtung: 49 ± 21 Monate) untersucht. Die Frakturursachen umfassten überwiegend Sportverletzungen, Verkehrsunfälle aber auch andere Traumata. Bei allen Patienten wurde eine Stabilisierung der distalen Syndesmose mittels Stellschraube durchgeführt.

Radiologisch zeigte sich ein signifikanter Rückgang der anteroioren und posterioren tibiofibulären Distanz von im Mittel 7,1 mm präoperativ auf 3,6 mm postoperativ. Diese Korrektur blieb auch im Verlauf stabil, ohne signifikante Veränderung bis zum letzten Follow-Up. Die Rekonstruktion war sowohl bei Weber-B- als auch bei Weber-C-Frakturen effektiv. (Sipahioglu et al. 2018)

Ein Syndesmoseriss kann, wie bereits erwähnt, mit einer oder zwei Stellschrauben, durch trikotikale oder quadrikortikale Verschraubung, stabilisiert werden.

Wikerøy und Kollegen untersuchten den funktionellen und radiologischen Langzeiteffekt zweier unterschiedlicher Schraubenfixationstechniken zur Stabilisierung des distalen Tibiofibulargelenks bei Sprunggelenkfrakturen mit begleitender Syndesmosenverletzung. Insgesamt wurden 48 Patienten in zwei Gruppen entweder trikortikal oder quadrikortikal versorgt. In der ersten Gruppe erfolgte die Stabilisierung mittels einer quadrikortikalen Schraube, die durch beide Kortizes von Tibia und Fibula geführt wurde. In der zweiten Untersuchungsgruppe wurden zwei trikortikale Schrauben verwendet, welche die Fibula vollständig und die Tibia nur im lateralen Kortex durchbohrten. Die Follow-Up Beobachtungszeit betrug 8,4 Jahre.

Die Ergebnisse zeigten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich funktioneller Parameter oder radiologischer Befunde zwischen beiden Gruppen. Auch das Auftreten von posttraumatischer Arthrose war ebenfalls vergleichbar. Die Fixationstechnik hatte folglich langfristig keinen nachweisbaren Einfluss auf den funktionellen Outcome. Allerdings zeigte die Studie mehrere unabhängige Risikofaktoren, die mit einer ungünstigeren Prognose assoziiert waren auf: Es korrelierte insbesondere ein Body-Mass-Index über 30 kg/m², das Vorhandensein eines posterioren Frakturfragmentes und eine Synostosebildung zwischen Tibia und Fibula mit signifikant schlechteren funktionellen Ergebnissen. (Wikerøy et al. 2010)

Als nächstes stellt sich außerdem die Frage, ob und wann die Syndesmoseschraube wieder entfernt werden sollte.

Betrachtet man die Beweglichkeit des Sprunggelenks, ist postoperativ nach der Entfernung eine Steigerung des range of motion zu verzeichnen, im Langzeitvergleich ergibt sich jedoch kein signifikanter Unterschied, im Gegensatz zu einer weiterhin einliegenden Stellschraube. Es wird jedoch die Materialentfernung vor dem Belastungsaufbau empfohlen, um einen Materialbruch beim Belastungsaufbau zu vermeiden (Miller et al. 2010) .

Briceno und Kollegen untersuchten, ob die Entfernung von Syndesmoseschrauben zu einer Verbesserung der Dorsalextension im Sprunggelenk führt. Dazu wurden Röntgenaufnahmen unter standardisiertem Dorsalextensionsdruck (33,4 Nm) durchgeführt, und zu drei Messzeitpunkten, intraoperativ unmittelbar vor sowie nach der Implantat Entfernung und rund drei Monate postoperativ verglichen.

Von den insgesamt 29 eingeschlossenen Patienten wurden fünf auf Grund zusätzlicher Suture-Button-Implantate ausgenommen, sodass 24 Fälle verblieben. Die mittlere Dorsalextension betrug 13,7° vor der Entfernung, 13,3° direkt danach und 11,8° nach drei Monaten. Statistisch waren die Unterschiede aber nicht signifikant, weshalb das Bewegungsausmaß als alleiniges Argument nicht für eine Stellschraubenentfernung spricht. (Briceno et al. 2019)

2023 wurde in einer Studie die Auswirkungen der Stellschraubenentfernungen auf die allgemeine Lebensqualität, die Mobilität, und die Beeinflussung der activity of daily life (ADL) untersucht. Hierbei ergab sich entgegen den Untersuchungen von Briceno und Kollegen eine deutliche Verbesserung der Beweglichkeit, sowie eine geringere Schmerzsymptomatik und eine Verbesserung im Bereich der ADLs. Auf die Lebensqualität bezogen ergab sich kein signifikanter Unterschied. (Sanda et al. 2023)

In einem Review analysierten Desouky und Kollegen die Evidenzlage zur Entfernung gegenüber dem Verbleib von Stellschrauben am Sprunggelenk. 11 Studien mit klinischen Daten wurden einbezogen, darunter zwei randomisierte kontrollierte Studien und neun retrospektive Kohortenanalysen.

Das zentrale Ergebnis zeigte, dass es keine signifikanten Unterschiede in funktionellen Outcomes oder radiologischen Parametern zwischen Patienten mit verbliebenen oder entfernten Schrauben gibt. Einige Studien berichteten, dass Patienten mit gebrochenen oder gelockerten Schrauben tendenziell gleich gute oder gar bessere Ergebnisse erzielten als Personen mit intakten Schrauben. Zwei randomisierte kontrollierte Studien bestätigten die Beobachtung, dass eine geplante Entfernung der Schraube nicht zu funktionellen Vorteilen führt.

Auffällig ist jedoch, dass bei Entfernung innerhalb von sechs bis acht Wochen ein erhöhtes Risiko für eine erneute Diastase registriert wurde. Zudem war die Rate postoperativer Infektionen ohne prophylaktische Antibiotikagabe erhöht.

Rückblickend stellte sich heraus, dass eine routinemäßige Entfernung von intakten Syndesmoseschrauben nicht gerechtfertigt ist. Bei einer gezielten Indikation (z. B. Schmerzen, Implantatirritation) nach frühestens acht Wochen sei es dagegen sinnvoll. Weiterhin empfehlen die Autoren eine Röntgenkontrolle vor und nach dem Eingriff und eine perioperative Antibiotikaphylaxe. (Desouky et al. 2021)

Die Folge einer nicht, oder zu spät, entfernten Stellschraube können neben dem Materialbruch auch eine Entzündung im Gelenksbereich sein.

Klepacki und Kollegen führten eine retrospektive radiologische Untersuchung an 55 Patienten mit akuter Syndesmosenruptur durch, die sowohl mit trikortikalen als auch quadrikortikalen Stellschrauben versorgt wurden. Die Teilnehmenden wurden zudem nach der Transfixationsdauer kategorisiert: Gruppe 1 (n = 19) mit 8–15 Wochen und Gruppe 2 (n = 36) mit 16–22 Wochen Verweildauer der Schraube. Die Nachbeobachtung erstreckte sich über zwei bis vier Jahre.

Radiologisch fand sich bei quadrikortikaler Versorgung eine signifikant weiter MCS (3,5 mm vs. 2,84 mm bei trikortikal), während bei den übrigen radiographischen Parametern wie TFD und TFO, keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versorgungstypen festgestellt wurden. Darüber hinaus hatte die Dauer der Schraubenfixierung nur geringen Einfluss auf radiographische Unregelmäßigkeiten. Lediglich der TFO war im 8–15 Wochenbereich leicht geringer und Arthritis im Talonavikulargelenk war in der 16–22 Wochengruppe stärker ausgeprägt.

Trotz der Unterschiede in einzelnen Messparametern bleibt festzuhalten, dass sowohl die trikortikale als auch die quadrikortikale Versorgung vergleichbare Ergebnisse liefern, unabhängig von der Behandlungsdauer. Da jedoch die quadrikortikale Fixation mit einem erhöhten MCS einherging und Arthritis im Talonavikulargelenk häufiger auftrat, schlagen die Autoren eine trikortikale Schraubeneinbringung mit Entfernung nach 8–15 Wochen als effizienteste und patientenschonendste Therapie vor. (Klepacki et al. 2022)

Williams und Kollegen befassten sich mit den funktionellen Ergebnissen und der Symptomatik nach der Entfernung von Implantaten, die im Rahmen einer operativen Frakturversorgung am Sprunggelenk (ORIF) eingesetzt wurden.

Die Entfernung von Implantaten nach einer Sprunggelenkfraktur zeigte in der Mehrheit der Fälle positive funktionelle Ergebnisse hinsichtlich Schmerzlinderung und Verbesserung der Beweglichkeit. Patienten mit anhaltenden Beschwerden wie Schmerzen, Reizungen oder Bewegungseinschränkungen profitierten signifikant von der Osteosynthesematerialentfernung. (Williams et al. 2018)

Dies verdeutlicht, dass nicht nur die Stellschraubenentfernung, sondern auch eine spätere komplette Materialentfernung von Vorteil ist.

Um die Stellschraubenentfernung zumindest bei isolierten Syndesmosenverletzungen zu umgehen, bietet sich eine alternative Versorgungsmöglichkeit mit einem TightRope.

Eine Umfrage von Mutschler und Kollegen unter Mitgliedern relevanter orthopädisch-unfallchirurgischer Fachgesellschaften, um das diagnostische und therapeutische Vorgehen bei isolierten, nicht-frakturassoziierten Syndesmosenverletzungen zu ermitteln wurde von 431 Ärzten beantwortet. In der klinischen Untersuchung setzten 66 % auf den External-Rotation-Stresstest, 61 % auf den Squeeze-Test und 40 % auf den Forced-Dorsalextension-Test. Radiologisch wird überwiegend die MRT (83 %) verwendet, ergänzt von standardisierten Röntgenaufnahmen in a.p.-, seitlicher und mortise-view Aufnahme. Nur 15 % gaben an, regelmäßig arthroskopische Verfahren einzusetzen.

Therapeutisch favorisieren 80 % der Befragten die Stellschraubenosteosynthese, meist trikortikal (78 %), mit einer einzigen Schraube (42 %) oder gelegentlich zwei Schrauben (38 %). Dynamische Versorgung mittels suture-button spielte nur eine untergeordnete Rolle (13 %), obwohl deren klinische Wirksamkeit als vergleichbar angesehen wurde. Während etwa die Hälfte der Teilnehmer Schrauben und suture-button als gleichwertig betrachtete, hielten 36 % Schrauben für überlegen. (Mutschler et al. 2023)

Hennings und Kollegen führten eine retrospektive Analyse durch, in der die unmittelbare postoperative anatomische Reposition der Syndesmose nach Fixation mit klassischer Syndesmose-Schraube im Vergleich zum suture-button mithilfe eines 3D-CT-Scans untersucht wurde. Ausgewertet wurden insgesamt 47 Patienten (18 mit Schraube, 29 mit suture-button), bei denen beidseitige CT-Aufnahmen nach der Operation vorlagen. Bewertet wurden die Unterschiede zwischen betroffener und nicht betroffener Seite hinsichtlich Tibiofibular-Clear-Space, sagittaler Translation sowie vertikalem Offset der Fibula.

Die Auswertung ergab in beiden Gruppen eine minimal erhöhte tibiofibuläre Diastase im Mittel. Ebenso zeigten sich vergleichbare sagittale Fibulatranslationen sowie ähnliche vertikale Verschiebungen. Dies zeigt, dass beide Fixationstechniken postoperativ eine vergleichbar gute Wiederherstellung der Syndesmose in allen drei Raumrichtungen ermöglichen, eine

umfassende 3D Bildgebung zur intra- oder postoperativen Kontrolle aber wichtig ist. (Hennings et al. 2021)

Eine Gegenüberstellung der Kosten zwischen suture-button und zwei Stellschrauben mit jeweils Drittelrohrplatte bei Weber B Verletzungen ergab einen klaren Vorteil des TightRopes im Hinblick auf Gesamtkosten, in welchen der zweite Eingriff zur Stellschraubenexplantation bereits eingerechnet ist. Die Stellschraubenimplantation wäre langfristig nur lohnend, bei einer Stellschraubenentfernungsrate kleiner 10 %. (Neary et al. 2017)

Wobei hierbei die Kosten für den Explantationseingriff, der als kompletter stationärer Eingriff dargestellt wird, hinterfragt werden sollten, da ein ambulanter Eingriff ohne Vollnarkose hier weniger kostenintensiv wäre.

Als weitere Möglichkeit statt einer Versorgung mittels suture-button bietet sich wie bereits erwähnt auch die Verwendung von bioresorbierbaren Schrauben zur Transfixation an.

In einer retrospektiven Analyse von May und Kollegen wurden 48 Patienten mit einer Fraktur des medialen Malleolus verglichen, die entweder mit bioresorbierbaren Magnesiumschrauben ($n = 23$, Alter $37,9 \pm 17,7$ Jahre) oder herkömmlichen Titanschrauben ($n = 25$, Alter $45,0 \pm 15,7$ Jahre) osteosynthetisch versorgt wurden. Die Nachbeobachtungszeit betrug 12–53 Monate. Der funktionelle Outcome war in beiden Gruppen gleich. Zudem wurde bei allen Patienten eine knöcherne Konsolidierung erzielt, und radiologisch zeigte sich eine vergleichbare posttraumatische Arthrose aller Patienten. Es ist kein Fall von tiefer Infektion oder Osteomyelitis festgestellt worden.

Es ergibt sich, dass beide Schraubentypen eine gleichwertige Stabilität und Heilung bieten. Die bioresorbierbaren Magnesiumschrauben zeigen jedoch deutliche Vorteile bezüglich der Vermeidung zusätzlicher Entfernungsoperationen und damit erneuter Risiken wie Infektionen oder Wundheilungsstörungen nach einem Zweiteingriff. (May et al. 2020)

Dies wirft die Frage auf, ob solche Schrauben auch für eine Syndesmoseversorgung geeignet wären.

Xi und Kollegen führten eine Metaanalyse zum Vergleich von bioresorbierbaren Schrauben und herkömmlichen Metallschrauben bei der Syndesmoseversorgung durch.

Hinsichtlich einer besseren Funktion bei absorbierbarem Material ergab die Analyse keinen signifikant besseren funktionellen Outcome. Ebenso wurden keine signifikanten Unterschiede bei der Infektionsraten, der Schmerzsymptomatik, einem Bruch der Schraube oder heterotoper Ossifikationen beobachtet. Als bedeutender Unterschied erwies sich dagegen bei der Rate von Gewebereaktionen auf Fremdmaterial. Diese war bei den absorbierbaren Schrauben deutlich erhöht. Bei den metallischen Schrauben zeigte sich hingegen eine höhere Reoperationsrate bedingt durch eine notwendige Entfernung. (Xie et al. 2015)

Zu hinterfragen ist ebenfalls, ob eine isolierte Syndesmosenverletzung immer operativ versorgt werden muss. Bei vollständiger Reposition einer Grad III Jackson Verletzung oder von noch geringerem Schweregrad kann auch eine konservative Therapie mittels Unterschenkelgips und nur Fuß-Boden-Kontakt für sechs Wochen erwogen werden. (Ruchholtz und Wirtz 2021)

Dies muss individuell je nach Patientenanspruch, Konstitution und körperlicher Fitness erwogen werden.

Es ergibt sich jedoch die Gefahr einer chronischen oberen Sprunggelenksinstabilität, die im späteren Verlauf operativ schlechter stabilisiert werden kann. Bei einer chronischen Instabilität kommt es häufig zu Fehlheilung der Syndesmose, welche dann ein Debridement mittels Arthroskopie oder Arthrotomie nach sich zieht.

In einer Fallserie untersuchten Harper und Kollegen sechs Patienten, die nach einer Sprunggelenkfraktur an einer chronisch instabilen Syndesmose litten. Die Diagnose stützte sich primär auf CT-Scans mit axialen Schnitten, um die Syndesmosenweite zuverlässig zu bestimmen und das Ausmaß der Instabilität genau zu erfassen. Die Behandlung erfolgte verzögert, durchschnittlich erst nach 15 Monaten nach der Initialversorgung, und umfasste eine offene Reposition der Syndesmose sowie deren Stabilisierung mittels Schrauben. In fünf der sechs Fälle konnte die Stellung im Bereich der Syndesmose dauerhaft korrigiert werden, ohne erneute Instabilität. Nur in einem Fall war eine Arthrodesen der Syndesmose auf Grund signifikanter Gelenkinkongruenz erforderlich. Die Autoren berichteten zudem, dass keine

relevanten Komplikationen wie Infektionen oder neurologische Ausfälle auftraten. (Harper 2001)

Die Analyse von Schepers und Kollegen welche 122 Patienten mit akuter Syndesmosenruptur und anschließender Stellschraubenversorgung zeigte, dass das funktionelle Ergebnis primär von Patienten- und Frakturmerkmalen beeinflusst wurde, insbesondere dem Alter, dem Traumamechanismus sowie der Anzahl der betroffenen Malleoli. Technische Details zur Schraubenanlage wie Schraubendurchmesser, Anzahl der stabilisierten Kortizes (tri- vs. quadrikortikal), Verwendung einer Doppelschraube oder Zeitpunkt der Entfernung hatten keinen signifikanten Einfluss auf den Outcome. Eine Ausnahme zeigte sich bei einer Schraubenplatzierung mehr als 41 mm oberhalb des Pilon tibiale. Hier wurde ein tendenziell schlechteres funktionelles Ergebnis beobachtet. (Schepers et al. 2014)

Eine 2015 an 161 Patienten durchgeführte Studie in Bezug auf Komplikationen bei Stellschraubenentfernungen zeigte eine postoperative Infektionsrate von 5 %. Bei 2 Patienten musste auf Grund der Infektion eine Revision stattfinden. (Andersen et al. 2015)

Dieses Ergebnis korreliert in etwa mit dem Ergebnis unserer Studie, in der ein Patient an einer anschließenden Wundheilungsstörung litt.

In einer retrospektiven Studie untersuchten Schepers und Kollegen die Komplikationen nach Entfernung von Syndesmosenrauben bei operativ versorgten Sprunggelenkfrakturen. Die Studie umfasste 76 Patienten. Die Gesamtrate postoperativer Komplikationen betrug hier 22,4 %. Dabei wurden oberflächliche Wundinfektionen in 6,6 % und tiefe, revisionspflichtige Infektionen in 2,6 % der Fälle verzeichnet. Ein Schraubenbruch bei der Entfernung trat ebenfalls in 6,6 % der Fälle auf. Zusätzlich benötigten 6,6 % der Patienten eine erneute Syndesmosenstabilisierung wegen persistierender oder erneuter Instabilität.

Es zeigte sich ebenfalls eine Korrelation zwischen dem Zeitpunkt der Schraubenentfernung und dem Auftreten von Komplikationen: Bei einer Entfernung vor Ablauf von 8 bis 12 Wochen nach der Erstoperation kam es signifikant häufiger zu Re-Instabilitäten und Infektionen. Es wird daher, die Entfernung nur bei klinischer Indikation (z. B. Schmerzen, Bewegungseinschränkung, Implantatirritation) und nicht routinemäßig empfohlen. Zudem

sollte der Eingriff frühestens nach 8 bis 12 Wochen erfolgen und unter Anwendung einer perioperativen Antibiotikaprophylaxe und unter sterilen Bedingungen durchgeführt werden.

Auch bei formal „kleineren“ Folgeeingriffen wie der Stellschraubenentfernung besteht somit ein relevantes Risiko für Komplikationen, insbesondere Infektionen und Schraubenbruch. (Schepers et al. 2011)

Entscheidet man sich für den Einsatz einer Stellschraube ist ebenfalls eine veränderte Fußbelastung auf Grund der veränderten Biomechanik zu erwarten. Eine Analyse mittels computertomografischer Torsionsbestimmung der Fibula und einer anschließenden Pedografie zeigte eine vermehrte Rückfußbelastung hinsichtlich Druck, Impuls, Kraft und Kontaktzeit, welche sich aber vier Monate postoperativ nicht mehr als signifikant erwies. Bei Fixierung der Fibula in mehr als 15° Fehltorsion veränderte sich aber der Fußaufttrittswinkel auch nach Schraubenentfernung um etwa 6° in Außenrotation. (Vasarhelyi et al. 2009)

Bei Patienten im Kindesalter ist die Sonografie zur Frakturdiagnostik bereits weiterverbreitet. Da bei dieser Patientengruppe eventuell oft der genaue Unfallhergang schwerer zu erörtern ist und sich Verletzungen manchmal unspezifischer in einer Schonhaltung der gesamten Extremität äußert, empfehlen Eckert und Ackermann primär die sonografische Untersuchung der betroffenen Lokalisation. Zeigt sich kein Hinweis auf eine Fraktur, so wird von der Röntgendiagnostik abgeraten und ein vorerst konservatives Procedere mit Befundkontrolle empfohlen. Nur bei Beschwerdepersistenz oder klarer Frakturdarstellung wird die weitere Radiologische Bildgebung empfohlen. (Eckert und Ackermann 2015)

Ebenfalls besonders stellen sich in diesem Alter auch die Sprunggelenksverletzungen dar. Verletzungen im Sprunggelenksbereich vor allem vor und nach Epiphysenfugenschluss können sich unterschiedlich präsentieren. Vor Verschluss der Wachstumsfuge kam es seltener zu Verletzungen des Bandapparates, aber vermehrt zu Frakturen der distalen Tibia nach Salter Harris Typ I und II. (Shore und Kramer 2016)

Eine weitere Herausforderung stellt in dieser Gruppe die darauffolgende Therapie dar, es gelten andere Indikationsmarker für eine nötige operative Stabilisierung. In 85 % der Fälle war bei Vorliegen einer Fraktur und zwei weiterer der drei Marker (Geschlossene Epiphysenfuge, im Mortise-View MCS > 5 mm und TFCS > 7 mm) eine operative Versorgung nötig. Zur Anwendung kamen hierbei in den meisten Fällen ein oder zwei Syndesmosenstellschrauben, seltener auch resorbierbare Schrauben und die TightRope-Versorgung. (Kramer et al. 2017)

In diesem Zusammenhang ist bei Kindern zu prüfen, ob eine rein sonografiegesteuerte Schraubenentfernung zur Vermeidung weiterer Röntgenstrahlung ebenfalls sinnvoll wäre.

5. Zusammenfassung

Sprunggelenksverletzungen gehören wie erwähnt zu den häufigsten Traumafolgen in der Unfallchirurgie. Dabei sind ligamentäre Verletzungen größtenteils bei jüngeren Patienten, Frakturen hingegen bei Männern um das 30. Lebensjahr sowie bei Frauen ab dem 50. Lebensjahr gehäuft zu beobachten. (Pflüger et al. 2022)

Besonders im Sport zählen Verletzungen im Bereich der Syndesmose zu den häufigsten Ursachen für längere Ausfallzeiten, obwohl sie mit einer Prävalenz von 1–18 % eher seltener auftreten. (Mak et al. 2013; Waterman et al. 2011)

Die distale Verbindung von Tibia und Fibula wird hauptsächlich durch das AITFL und PITFL stabilisiert, wobei Ogilvie-Harris und Reed bereits 1994 zeigten, dass das AITFL etwa 35 % der Stabilität der Syndesmose liefert. (Ogilvie-Harris et al. 1994)

Klinisch ist die Syndesmosenverletzung durch gezielte Tests wie den Squeeze-Test (Sensitivität 30 %, Spezifität 94 %) und den Außenrotationsstresstest (Sensitivität 20 %, Spezifität 85 %) nachweisbar. (Fort et al. 2017)

Zur Beurteilung der Syndesmosenbeteiligung dient die bildgebende Diagnostik mit konventionellem Röntgen, CT oder aber MRT. Besonders in der MRT konnte eine hohe Sensitivität (91 %) und Spezifität (100 %) für Syndesmosenrupturen gezeigt werden. (Chun et al. 2015)

Ergänzend bietet die Sonografie, insbesondere im klinischen Alltag, eine hochsensitive (95–97 %) und spezifische (93–95 %) Methode, um ligamentäre Verletzungen präzise darzustellen. (McCollum et al. 2013)

Ebenfalls sonografisch gut darstellen lässt sich einliegendes Osteosynthesematerial, gerade im Bereich der Stellschrauben ist der sonografische Nachweis durch das Auftreten von Kommentenschweifartefakten gegeben. (Grechenig et al. 1996)

In der vorliegenden Studie wurde untersucht, ob eine sonografiegesteuerte Stellschraubenentfernung am Sprunggelenk sicher und präzise durchführbar ist. Insgesamt wurden 48 Stellschrauben bei 35 verschiedenen Patienten entfernt. In zwei Gruppen erfolgte

entweder eine zusätzliche Röntgenkontrolle der sonografischen Markierung der Schraubenlage oder eine rein sonografiegesteuerte Entfernung. Der Eingriff fand ambulant unter Lokalanästhesie statt, wobei präoperativ die exakte Schraubenlage durch Ultraschall festgestellt und markiert wurde.

Die durchschnittliche Schnitt-Naht-Zeit betrug bei einer Schraube 11,41 Minuten, bei zwei Schrauben 19,31 Minuten. In der Röntgenkontrollgruppe lag die durchschnittliche axiale Abweichung zwischen sonografischer Markierung und röntgenologisch dargestellter Schraubenkopflage bei lediglich 2,31 mm, während in der rein sonografischen Gruppe keine Fehllokalisation auftrat, da es zu keiner Fehlentnahme kam. Hierbei zeigte sich durch den Mann-Whitney-U-Test ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Untersuchungsgruppen.

Die Studie zeigte außerdem, dass der durchschnittliche Abstand zwischen Hautoberfläche und Schraubenkopf bei circa 8,2 mm lag. In der radiologisch kontrollierten Gruppe ergab sich eine mittlere Strahlendosis von $7,32 \text{ mGy} \cdot \text{cm}^2$ bei einer mittleren Durchleuchtungszeit von 4,67 s. Bei 20 Patienten konnte vier Wochen postoperativ ein Follow-up durchgeführt werden, dabei wurde in einem Fall eine lokale Wundinfektion dokumentiert, welche in unserer Ambulanz weiter behandelt wurde.

Damit bestätigt die Untersuchung, dass eine sonografiegesteuerte Schraubenentfernung unter Lokalanästhesie ohne Röntgenkontrolle zuverlässig möglich ist, wodurch auf eine Röntgenbildgebung perioperativ verzichtet werden kann.

Es ist daher kein Röntgenraum nach DIN-Norm DIN 1946-4 nötig, weshalb eine Stellschraubenentfernung in Lokalanästhesie auch im ambulanten Setting in einer Arztpraxis stattfinden kann. Bei einer Versorgung in Kombination mit einer Plattenosteosynthese sollte jedoch eine postoperative Röntgenaufnahme vom Ersteingriff vorliegen, um hier die genaue Schraubenlage zu ermitteln und eine Fehlentnahme zu verhindern.

6. Anhang

6.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Schnitt-Naht Zeit bei Entfernung von 2 Stellschrauben	27
Tabelle 2: Schnitt-Naht Zeit bei Entfernung von einer Stellschraube	27
Tabelle 3: Sonografische Markierung und anschließende Röntgenkontrolle	27
Tabelle 4: Rein sonografische Markierung ohne anschließende Röntgenkontrolle.....	28
Tabelle 5: Strahlendosis und Durchleuchtungszeit	28
Tabelle 6: Shapiro-Wilk Test auf Normalverteilung in beiden Patientengruppen.....	29
Tabelle 7: Shapiro-Wilk Test auf Normalverteilung der Markierungsabweichung.....	29
Tabelle 8: Mann-Whitney-U-Test beider Gruppen in Bezug auf die Markierungsabweichung	29

6.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: AITFL im anatomischen Präparat eines rechten Sprunggelenks (LFTA Lig. Talofibulare anterius, TR Talusrolle, LFC Lig. fibulocalcaneare, FIB Fibula, STG Subtalargelenk) (Best et al. 2013)	4
Abbildung 2: PITFL im MRT (T2, TSE) (Best et al. 2013)	4
Abbildung 3: Pathomechanismus einer Syndesmosenruptur (Sicht von anterior) (Lin et al. 2006)	5
Abbildung 4: tibiofibular clear space (TFCS), tibiofibular overlap (TFO) und medial clear space (MCS) in der a.p. und Mortise-View Aufnahme (Kellett et al. 2018)	7
Abbildung 5: Messung der anterioren (Strecke A-B) und posterioren TFD (Strecke C-D) (Elgafy et al. 2010).....	9
Abbildung 6: Schneck-Skala und Sikka-Klassifikation zur Einteilung von Bandverletzungen (Thomas P.A. Baltes et al. 2020)	10
Abbildung 7: (A) Axial PD-FS Wichtung: Akute Syndesmosenverletzung, welche eine komplette Ruptur des AITFL (Pfeil) und eine wellenförmig eingeschlagene membrana interossea (Pfeilspitze) zeigt (Schneck Grad III) (B) Koronar PD-FS Wichtung: Komplette Ruptur der membrana interossea (Pfeil) (Thomas P.A. Baltes et al. 2020)	10
Abbildung 8: MRT Koronar T2fs; Flüssigkeitsansammlung im Bereich der Syndesmose (roter Pfeil) (Calder et al. 2017).....	11

Abbildung 9: Darstellung der vorderen Syndesmose, links im Bild ist der Kortikalis-Reflex der Fibula, rechts derjenige der Tibia, der Pfeil weist auf die Syndesmose hin. (Reimers H. 2018)	12
Abbildung 10: Darstellung einer mittig rupturierten Syndesmose (Pfeil) mit Verbreiterung des Bands, Unterbrechung der Faserstruktur und echoarmer Flüssigkeit im Rupturspalt. Rechts zum Vergleich die intakte Syndesmose der Gegenseite. Kleines Bild: Begleitender Erguss (Sterne) im oberen Sprunggelenk (Reimers H. 2018).....	12
Abbildung 11: Funktionsuntersuchung der Syndesmose durch Außenrotation des Fußes und damit Spreizung der Malleolen-Gabel. Links im Bild sehen wir unter diesen Bedingungen eine Weite von 1,7 cm, rechts im Bild die gesunde Gegenseite mit 1 cm (Reimers H. 2018).....	13
Abbildung 12: AO-Klassifikation bei Sprunggelenksverletzungen malleolares Segment (Baierlein 2011).....	17
Abbildung 13: TightRope zur Stabilisierung der Syndesmose. Ansicht von posterior und transversal (Dohle und Rammelt 2021)	19
Abbildung 14: Absorption von Ultraschallwellen durch eine 1 cm dicke Schicht verschiedener Gewebe bzw. Flüssigkeiten (Debus et al. 2012)	20
Abbildung 15: Werte für Dichte und Ausbreitungsgeschwindigkeit sowie akustischen Impedanz für verschiedene Medien (Grechenig et al. 1996)	21
Abbildung 16: Darstellung der Schraube in einer Osteosyntheseplatte mittels Sonografie und Vermessen des Haut-Schrauben-Abstandes	24
Abbildung 17: Beispiel-p.a. Röntgenbild präoperativ zur Lagekontrolle der Stellschraube mit Schraubendreher.....	25

6.3 Dokumentationsbogen

Studie: Optimierung Stellschraubenentfernung - PD Dr. med. Paul Schmitz

Name
Anschrift
Geb. Datum
Geschlecht m w

Patientenpseudonym:

Stellschraube - _ _ _ _

Tel. Nr. _____

Einwilligung in die Studie: Ja - Nein

Primäreversorgung am: __. __. ____

Osteosyntheseplatte: ja - nein

Betroffene Seite: rechts - links

Anzahl der Stellschrauben: 1 2

Abstand Fibulaspitze – Stellschraube [mm]: _____

Abstand Hautniveau – Stellschraube [mm]: _____

Wunde: blande - trockener Schorf - gerötet - _____

Weichteile OSG: schlank - normal - adipös / Gewicht: _____ Kg – Körpergröße _____, ____m

Stellschraubenentfernung am: __. __. ____

Sonographische Markierung der Stellschraube: ja – nein

Sonographie durchgeführt von: _____

Distanz Markierung – BV: 1. Axial _____ [mm] 2. Coronar: _____ [mm]

BV intraop. erforderlich? Ja - Nein Durchleuchtungszeit _____ [s]

VAS	präop.	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10
	Bei Infiltration:	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10
	Perioperativ:	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10
	1h Postop.	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10

Lokalanästhetikum: Infiltration: Substanz: _____ ml - Emla Pflaster

Weitere Infiltration notwendig: ja - nein _____ ml

Schnitt – Naht Zeit [min.]: _____

Operation durchgeführt von: _____

Studie: Optimierung Stellschraubenentfernung - PD Dr. med. Paul Schmitz

Infektion bis 4 Wochen nach Stellschraubenentfernung: ja - nein wann: _____._____

VAS 4 Wochen nach Stellschraubenentfernung: 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10

Kosten:

Emlapflaster in der Klinik 1,51 Eu

1 Ampulle Lidocain 1% lokal 0,41 Eu

7. Literaturverzeichnis

- Andersen, Mette Renate; Frihagen, Frede; Madsen, Jan Erik; Figved, Wender (2015): High complication rate after syndesmotic screw removal. In: *Injury* 46 (11), S. 2283–2287. DOI: 10.1016/j.injury.2015.08.021.
- Baierlein, Sammy Alexander (2011): Frakturklassifikationen. 120 Tabellen. Stuttgart: Thieme (Thieme eRef). Online verfügbar unter <https://eref.thieme.de/ebooks/559037>.
- Best, R.; Mauch, F.; Bauer, G. (2013): Evidenz der Versorgung der akuten Syndesmosenverletzung im Sport. In: *Der Unfallchirurg* 116 (6), S. 504–511. DOI: 10.1007/s00113-013-2374-5.
- Briceno, Jorge; Wusu, Timilien; Kaiser, Philip; Cronin, Patrick; Leblanc, Alyssa; Miller, Christopher; Kwon, John Y. (2019): Effect of Syndesmotic Implant Removal on Dorsiflexion. In: *Foot & ankle international* 40 (5), S. 499–505. DOI: 10.1177/1071100718818572.
- Buckup, Johannes; Hoffmann, Reinhard (2019): Klinische Tests an Knochen, Gelenken und Muskeln. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Calder, James; Mitchell, Adam; Lomax, Adam; Ballal, Moez S.; Grice, John; van Dijk, Niek; Lee, Justin (2017): The Broken "Ring of Fire": A New Radiological Sign as Predictor of Syndesmosis Injury? In: *Orthopaedic journal of sports medicine* 5 (3), 2325967117695064. DOI: 10.1177/2325967117695064.
- Chun, K. Y.; Choi, Y. S.; Lee, S. H.; Kim, J. S.; Young, K. W.; Jeong, M. S.; Kim, D. J. (2015): Deltoid Ligament and Tibiofibular Syndesmosis Injury in Chronic Lateral Ankle Instability: Magnetic Resonance Imaging Evaluation at 3T and Comparison with Arthroscopy. In: *Korean journal of radiology* 16 (5). DOI: 10.3348/kjr.2015.16.5.1096.
- Debus, Jürgen; Delorme, Stefan; Jenderka, Klaus-Vitold (2012): Duale Reihe Sonografie. 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Thieme (Duale Reihe). Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:24-epflicht-1913924>.
- Desouky, Omar; Elseby, Amr; Ghalab, Ahmed H. (2021): Removal of Syndesmotic Screw After Fixation in Ankle Fractures: A Systematic Review. In: *Cureus* 13 (6), e15435. DOI: 10.7759/cureus.15435.
- Dohle, Jörn; Rammelt, Stefan (2021): Expertise Orthopädie und Unfallchirurgie Fuß und Sprunggelenk. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

Eckert, K.; Ackermann, O. (2015): Sonographische Frakturdiagnostik. In: *Der Radiologe* 55 (11), 992-4, 996-9. DOI: 10.1007/s00117-015-0003-8.

Elgafy, Hossein; Semaan, Hassan B.; Blessinger, Brian; Wassef, Andrew; Ebraheim, Nabil A. (2010): Computed tomography of normal distal tibiofibular syndesmosis. In: *Skeletal radiology* 39 (6), S. 559–564. DOI: 10.1007/s00256-009-0809-4.

Fort, Nicholas M.; Aiyer, Amiethab A.; Kaplan, Jonathan R.; Smyth, Niall A.; Kadakia, Anish R. (2017): Management of acute injuries of the tibiofibular syndesmosis. In: *European journal of orthopaedic surgery & traumatology : orthopedie traumatologie* 27 (4), S. 449–459. DOI: 10.1007/s00590-017-1956-2.

Gibson, Peter D.; Ippolito, Joseph A.; Hwang, John S.; Didesch, Jacob; Koury, Kenneth L.; Reilly, Mark C. et al. (2019): Physiologic widening of the medial clear space: What's normal? In: *Journal of clinical orthopaedics and trauma* 10 (Suppl 1), S62-S64. DOI: 10.1016/j.jcot.2019.04.016.

Gooding, G. A.; Hardiman, T.; Sumers, M.; Stess, R.; Graf, P.; Grunfeld, C. (1987): Sonography of the hand and foot in foreign body detection. In: *Journal of ultrasound in medicine : official journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine* 6 (8), S. 441–447. DOI: 10.7863/jum.1987.6.8.441.

Grechenig, W.; Passler, J. M.; Fellingner, M.; Clement, H. G. (1996): Sonographische Darstellung von Osteosynthesematerial in der Traumatologie--eine experimentelle Studie. In: *Biomedizinische Technik. Biomedical engineering* 41 (3), S. 64–68. DOI: 10.1515/bmte.1996.41.3.64.

Harper, M. C. (2001): Delayed reduction and stabilization of the tibiofibular syndesmosis. In: *Foot & ankle international* 22 (1), S. 15–18. DOI: 10.1177/107110070102200103.

Harper, M. C.; Keller, T. S. (1989): A radiographic evaluation of the tibiofibular syndesmosis. In: *Foot & ankle* 10 (3), S. 156–160. DOI: 10.1177/107110078901000308.

Hennings, Robert; Souleiman, Firas; Heilemann, Martin; Hennings, Mareike; Klengel, Alexis; Osterhoff, Georg et al. (2021): Suture button versus syndesmotic screw in ankle fractures - evaluation with 3D imaging-based measurements. In: *BMC musculoskeletal disorders* 22 (1), S. 970. DOI: 10.1186/s12891-021-04834-0.

Jiménez de Cisneros Gutiérrez, A.; Suárez Quintero, A.; Arrieta Martinez, C. J. (2024): Translated article Use of ultrasound for hardware removal. In: *Revista española de cirugía ortopédica y traumatología* 68 (5), T482-T489. DOI: 10.1016/j.recot.2024.07.007.

Junge, Astrid; Engebretsen, Lars; Mountjoy, Margo L.; Alonso, Juan Manuel; Renström, Per A. F. H.; Aubry, Mark John; Dvorak, Jiri (2009): Sports injuries during the Summer Olympic Games 2008. In: *The American journal of sports medicine* 37 (11), S. 2165–2172. DOI: 10.1177/0363546509339357.

Kamrani, Sepideh; Fleck, Claudia (2019): Biodegradable magnesium alloys as temporary orthopaedic implants: a review. In: *Biometals : an international journal on the role of metal ions in biology, biochemistry, and medicine* 32 (2), S. 185–193. DOI: 10.1007/s10534-019-00170-y.

Kellett, John J.; Lovell, Gregory A.; Eriksen, David A.; Sampson, Matthew J. (2018): Diagnostic imaging of ankle syndesmosis injuries: A general review. In: *Journal of medical imaging and radiation oncology* 62 (2), S. 159–168. DOI: 10.1111/1754-9485.12708.

Klepacki, Krzysztof; Kowal, Igor; Konieczny, Grzegorz; Tomczyk, Łukasz; Mięksisiak, Grzegorz; Morasiewicz, Piotr (2022): Radiographic Assessment of Tibiofibular Syndesmosis Injury with Different Durations and Types of Fixation. In: *Journal of clinical medicine* 11 (21). DOI: 10.3390/jcm11216331.

Kramer, D. E.; Cleary, M. X.; Miller, P. E.; Yen, Y-M; Shore, B. J. (2017): Syndesmosis injuries in the pediatric and adolescent athlete: an analysis of risk factors related to operative intervention. In: *Journal of children's orthopaedics* 11 (1), S. 57–63. DOI: 10.1302/1863-2548.11.160180.

Li, Jiachun; Li, Lujing; Hu, Yanqing; Huang, Shenghui; Cui, Peng; Wan, Junming et al. (2024): Ultrasound guidance in the surgical removal of internal fixators after complete healing of limb fractures. In: *BMC surgery* 24 (1), S. 414. DOI: 10.1186/s12893-024-02730-7.

Lin, Cheng-Feng; Gross, Michael L.; Weinhold, Paul (2006): Ankle syndesmosis injuries: anatomy, biomechanics, mechanism of injury, and clinical guidelines for diagnosis and intervention. In: *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy* 36 (6), S. 372–384. DOI: 10.2519/jospt.2006.2195.

Mak, May Fong; Gartner, Louise; Pearce, Christopher J. (2013): Management of syndesmosis injuries in the elite athlete. In: *Foot and ankle clinics* 18 (2), S. 195–214. DOI: 10.1016/j.fcl.2013.02.002.

May, Hasan; Alper Kati, Yusuf; Gumussuyu, Gurkan; Yunus Emre, Tuluhan; Unal, Melih; Kose, Ozkan (2020): Bioabsorbable magnesium screw versus conventional titanium screw fixation for medial malleolar fractures. In: *Journal of orthopaedics and traumatology : official journal of the Italian Society of Orthopaedics and Traumatology* 21 (1), S. 9. DOI: 10.1186/s10195-020-00547-7.

McCollum, Graham A.; van den Bekerom, Michel P. J.; Kerkhoffs, Gino M. M. J.; Calder, James D. F.; van Dijk, C. Niek (2013): Syndesmosis and deltoid ligament injuries in the athlete. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 21 (6), S. 1328–1337. DOI: 10.1007/s00167-012-2205-1.

Miller, Anna N.; Paul, Omesh; Boraiah, Sreevathsa; Parker, Robert J.; Helfet, David L.; Lorch, Dean G. (2010): Functional outcomes after syndesmotic screw fixation and removal. In: *Journal of orthopaedic trauma* 24 (1), S. 12–16. DOI: 10.1097/BOT.0b013e3181c6e199.

Mutschler, Manuel; Naendrup, Jan-Hendrik; Pfeiffer, Thomas R.; Jaecker, Vera; Arbab, Dariusch; Shafizadeh, Sven; Buchhorn, Tomas (2023): Current status of the management of isolated syndesmotic injuries in Germany. In: *Archives of orthopaedic and trauma surgery* 143 (4), S. 2019–2026. DOI: 10.1007/s00402-022-04423-3.

Neary, Kaitlin C.; Mormino, Matthew A.; Wang, Hongmei (2017): Suture Button Fixation Versus Syndesmotic Screws in Supination-External Rotation Type 4 Injuries: A Cost-Effectiveness Analysis. In: *The American journal of sports medicine* 45 (1), S. 210–217. DOI: 10.1177/0363546516664713.

Ogilvie-Harris, D. J.; Reed, S. C. (1994): Disruption of the ankle syndesmosis: diagnosis and treatment by arthroscopic surgery. In: *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 10 (5), S. 561–568. DOI: 10.1016/s0749-8063(05)80015-5.

Ogilvie-Harris, D. J.; Reed, S. C.; Hedman, T. P. (1994): Disruption of the ankle syndesmosis: biomechanical study of the ligamentous restraints. In: *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 10 (5), S. 558–560. DOI: 10.1016/s0749-8063(05)80014-3.

Pflüger, Patrick; Wurm, Markus; Biberthaler, Peter; Pförringer, Dominik; Crönlein, Moritz (2022): Analyse von 6581 Fuß- und Sprunggelenkverletzungen einer Notaufnahme im

Zeitraum von 2010–2017. In: *Unfallchirurgie (Heidelberg, Germany)* 125 (10), S. 801–810. DOI: 10.1007/s00113-021-01081-9.

Rammelt, S.; Obruba, P. (2015): An update on the evaluation and treatment of syndesmotic injuries. In: *European journal of trauma and emergency surgery : official publication of the European Trauma Society* 41 (6), S. 601–614. DOI: 10.1007/s00068-014-0466-8.

Reimers H. (2018): Sonografie der Syndesmose (7), S. 32–35.

Ruchholtz, Steffen; Wirtz, Dieter Christian (2021): Orthopädie und Unfallchirurgie essentials. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.

Sanda, Isabella-Ionela; Hosin, Samer; Vermesan, Dinu; Deleanu, Bogdan; Pop, Daniel; Crisan, Dan et al. (2023): Impact of Syndesmotic Screw Removal on Quality of Life, Mobility, and Daily Living Activities in Patients Post Distal Tibiofibular Diastasis Repair. In: *Medicina (Kaunas, Lithuania)* 59 (12). DOI: 10.3390/medicina59122048.

Schepers, Tim; van der Linden, Hans; van Lieshout, Esther M. M.; Niesten, Dieu-Donné; van der Elst, Maarten (2014): Technical aspects of the syndesmotic screw and their effect on functional outcome following acute distal tibiofibular syndesmosis injury. In: *Injury* 45 (4), S. 775–779. DOI: 10.1016/j.injury.2013.09.035.

Schepers, Tim; van Lieshout, Esther M. M.; Vries, Mark R. de; van der Elst, Maarten (2011): Complications of syndesmotic screw removal. In: *Foot & ankle international* 32 (11), S. 1040–1044. DOI: 10.3113/FAI.2011.1040.

Shore, Benjamin J.; Kramer, Dennis E. (2016): Management of Syndesmotic Ankle Injuries in Children and Adolescents. In: *Journal of pediatric orthopedics* 36 Suppl 1, S11-4. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000767.

Sipahioglu, S.; Zehir, S.; Isikan, U. E. (2018): Syndesmotic screw fixation in tibiofibular diastasis. In: *Nigerian journal of clinical practice* 21 (6), S. 692–697. DOI: 10.4103/njcp.njcp_5_17.

Stannard, James P.; Schmidt, Andrew H.; Wentzensen, Andreas; Gebhard, Florian; Grützner, Paul A.; Ruchholtz, Steffen; Stöckle, Ulrich (2020): Spezielle Unfallchirurgie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.

Thomas P.A. Baltes; Javier Arnaiz; Maryam R Al-Naimi; Omar Al-Sayrafi; Johannes L Tol (2020): Limited intrarater and interrater reliability of acute ligamentous ankle injuries on 3 T

MRI. In: *Journal of ISAKOS Joint Disorders & Orthopaedic Sports Medicine*, S. 1–8. DOI: 10.1136/jisakos-2020-000503.

Tourné, Yves; Molinier, François; Andrieu, Michael; Porta, Julieta; Barbier, Geoffroy (2019): Diagnosis and treatment of tibiofibular syndesmosis lesions. In: *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR* 105 (8S), S275-S286. DOI: 10.1016/j.otsr.2019.09.014.

Vasarhelyi, A.; Lubitz, J.; Zeh, A.; Wohlrab, D.; Hein, W.; Mittlmeier, T. (2009): Dynamische Ganganalyse bei blockiertem distalem Tibiofibulargelenk nach Syndesmosenkomplexverletzungen. In: *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* 147 (4), S. 439–444. DOI: 10.1055/s-0029-1185695.

Waterman, Brian R.; Belmont, Philip J.; Cameron, Kenneth L.; Svoboda, Steven J.; Alitz, Curtis J.; Owens, Brett D. (2011): Risk factors for syndesmotic and medial ankle sprain: role of sex, sport, and level of competition. In: *The American journal of sports medicine* 39 (5), S. 992–998. DOI: 10.1177/0363546510391462.

Wichelhaus, Alice; Mittlmeier, Thomas (2015): OSG-Frakturen Weber-B/C: was ist Standard? In: *OP-JOURNAL* 30 (02), S. 66–75. DOI: 10.1055/s-0034-1383218.

Wikerøy, Annette K. B.; Høiness, Per R.; Andreassen, Geir S.; Hellund, Johan C.; Madsen, Jan Erik (2010): No difference in functional and radiographic results 8.4 years after quadricortical compared with tricortical syndesmosis fixation in ankle fractures. In: *Journal of orthopaedic trauma* 24 (1), S. 17–23. DOI: 10.1097/BOT.0b013e3181bedca1.

Williams, Benjamin R.; McCreary, Dylan L.; Chau, Michael; Cunningham, Brian P.; Pena, Fernando; Swiontkowski, Marc F. (2018): Functional Outcomes of Symptomatic Implant Removal Following Ankle Fracture Open Reduction and Internal Fixation. In: *Foot & ankle international* 39 (6), S. 674–680. DOI: 10.1177/1071100718757719.

Wu, Po-Ting; Lin, Cheng-Li; Tai, Ta-Wei; Shao, Chung-Jung; Wu, Kuo-Chen; Chern, Tai-Chang; Jou, I-Ming (2013): Sonographically assisted percutaneous removal of screws in dynamization of the interlocking intramedullary nail. In: *Journal of ultrasound in medicine : official journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine* 32 (2), S. 319–324. DOI: 10.7863/jum.2013.32.2.319.

Xie, Y.; Cai, L.; Deng, Z.; Ran, B.; Hu, C. (2015): Absorbable Screws Versus Metallic Screws for Distal Tibiofibular Syndesmosis Injuries: A Meta-Analysis. In: *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons* 54 (4). DOI: 10.1053/j.jfas.2015.03.010.

8. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn PD Dr. med. Paul Schmitz, Chefarzt der Klinik für Unfallchirurgie des Caritas Krankenhaus St. Josef Regensburg, für die Bereitstellung des Studienthemas, die Planung der klinischen Studie, die kontinuierliche Unterstützung während der Durchführung sowie die stete konstruktive Kritik im Studienverlauf. Ohne seine Unterstützung wäre die Dissertation nicht möglich gewesen.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Herrn Dr. med. Christoph Eckstein, Oberarzt der Klinik für Unfallchirurgie am Caritas Krankenhaus St. Josef, für die Unterstützung bei der Umsetzung sowie Durchführung des klinischen Studienteils.

Mein weiterer Dank gilt Dr. med. Raffael Peteler für die Bereitstellung der bereits erfassten Studiendaten, sowie allen mitwirkenden Kolleginnen und Kollegen für die Unterstützung bei der Studiendurchführung.

Meinen Freunden und meiner Familie möchte ich einen Danke für die stete Motivation und den regen Zuspruch während der ganzen Zeit aussprechen.