

Diplomarbeit

**Die Genauigkeit der MRT und der Sonographie in
der Diagnose von Verletzungen des Bandapparates
des oberen Sprunggelenks**

eingereicht von

Peter Sommerauer

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Klinischen Abteilung für allgemeine radiologische Diagnostik

unter der Anleitung von

Univ. FÄ Priv.-Doz.ⁱⁿ Dr.ⁱⁿ med. univ. Emina Talakić, MBA

Dr.ⁱⁿ med.univ. Michaela Kopetzky

Graz, 19.1.2026

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Des Weiteren erkläre ich hiermit, dass, sofern bei der Erstellung dieser Arbeit Künstliche Intelligenz (KI) Werkzeuge zur Generierung und/oder Korrektur bestimmter Textpassagen verwendet wurden, dieser Einsatz unter Einhaltung ethischer Grundsätze, akademischer Integrität und den Vorgaben meiner Universität erfolgte, sowie in Folge dies transparent gemacht und in angemessener Weise gekennzeichnet wurde.

Graz, am 19.1.2026

Peter Sommerauer eh.

Danksagungen

Ich möchte mich bei meinen Betreuerinnen, Univ. FÄ Priv.-Doz.ⁱⁿ Dr.ⁱⁿ med. univ. Emina Talakić, MBA und Dr.ⁱⁿ med.univ. Michaela Kopetzky, herzlich bedanken. Sie waren beide während des Schreib- und Korrekturprozesses eine sehr hilf- und lehrreiche Stütze für diese Diplomarbeit.

Bei meiner Familie möchte ich mich ebenfalls bedanken, die mir zuhause während des Schreib- und Korrekturprozesses den Rücken freihielt, sodass ich mich auf die Diplomarbeit konzentrieren konnte.

Zusammenfassung

Hintergrund: Es existieren bislang wenige Publikationen, die einen umfassenden Überblick über die diagnostische Genauigkeit bildgebender Verfahren bei Bandverletzungen des oberen Sprunggelenks (OSG) beinhalten.

Methoden: Es wurden zwei systematische Literaturrecherchen über PubMed durchgeführt. Die Auswahl der gefundenen Studien erfolgte nach dem PICO-Schema. In den Literaturrecherchen konnten bis zu 1952 Suchergebnisse pro Recherche gefunden werden. Insgesamt 11 Studien wurden als relevant eingestuft und inkludiert. Diese wurden detailliert beschrieben. Die Daten zu Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit wurden zusammengefasst und qualitativ bewertet. Fehlende Daten wurden, soweit möglich, nachträglich berechnet. Zur Beurteilung der Studien wurde das Tool QUADAS-2 verwendet.

Zielsetzung: Vergleich der diagnostischen Wertigkeit von MRT und Sonographie in der Diagnose von Bandverletzungen im OSG.

Resultate: Die Einzelstudien zeigen eine hohe diagnostische Genauigkeit der MRT und beurteilen die Sonographie als eine verlässliche Alternative.

Die MRT zeigt je nach Studie für das LTFA folgende diagnostische Werte: Normalbefund: Sensitivität: 0-89%, Spezifität: 86-100%, Genauigkeit: 82-98%, Verletzung: Sensitivität: 80-97%, Spezifität: 87,5-100%, Genauigkeit: 82,3-100%.

Die MRT zeigt je nach Studie für das LCF folgende diagnostische Werte: Normalbefund: Sensitivität: 76,75-91%, Spezifität: 56-98%, Genauigkeit: 66-97%.

Die MRT zeigt je nach Studie für Verletzungen des LTIFA folgende diagnostische Werte: Sensitivität: 87,5-91%, Spezifität: 100%, Genauigkeit: 90,5-96,2% für die MRT.

Die Sonographie zeigt je nach Studie für Verletzungen des LTFA folgende diagnostische Werte: Sensitivität: 66,67-100%, Spezifität: 33-100%, Genauigkeit: 88,3-96,9%.

Ohne Oae et al., welche einen anderen Referenzstandard verwendeten, zeigen sich folgende diagnostische Werte: Sensitivität: 66,67%- 95,4%, Spezifität: 75-100%, Genauigkeit: 88,3-96,9%.

Die Sonographie zeigt je nach Studie für Verletzungen des LCF folgende diagnostische Werte: Sensitivität: 49-100%, Spezifität: 91-100%, Genauigkeit: 70,5-93,5%.

Die Sonographie zeigt je nach Studie für Verletzungen des LTIFA folgende diagnostische Werte: Sensitivität: 86-100%, Spezifität: 35-100%, Genauigkeit: 56,7-97,9%.

Während die MRT überwiegend mit arthroskopischen oder intraoperativen Befunden verglichen wurde, diente bei der Sonographie meist die MRT als Referenzstandard, was einen direkten Vergleich einschränkt. Für das Deltaband und für das LTFP waren zu wenig Daten vorhanden, um beide untersuchten diagnostischen Verfahren zu beurteilen.

Conclusio: Ein direkter Vergleich von MRT und Sonographie war aufgrund der unterschiedlichen Referenzstandards nur eingeschränkt möglich. Aus den Daten der Einzelstudien und vergleichbarer Literatur geht hervor, dass die MRT allgemein ein genaues Verfahren ist. Die Sonographie kann in vielen Fällen vergleichbare Ergebnisse erzielen. Ein vermehrter Einsatz der Sonographie in der Diagnostik von Verletzungen des LTFA, LCF und der Syndesmose erscheint sinnvoll, wenn man zusätzlich Kosten und Verfügbarkeit der Verfahren bedenkt. Weitere Arbeiten sind aber nötig, insbesondere über das Deltaband. Weiters könnten 3D-MRT und Deep-Learning-Algorithmen die Diagnostik verbessern.

Schlagwörter: MRT; Sonographie; Ultraschall; Bandverletzung; Diagnose; Diagnostik; Sprunggelenk; Genauigkeit; Verletzung; LTFA; LCF; Syndesmose; Deltaband; Ligamentum deltoideum.

Abstract

Background: There are few publications that provide a comprehensive overview of the diagnostic value of radiological methods in detecting ligamentous injuries of the ankle.

Methods: Two systematic searches of literature were conducted via PubMed. The found studies were selected according to the PICO-scheme. Up to 1952 results were retrieved per search. 11 studies were found to be relevant and were included for further analysis. These studies were described in detail. The data regarding Sensitivity, specificity and accuracy were aggregated and judged. Missing data were calculated when possible. The quality of the included studies was assessed using the QUADAS-2 tool.

Goals: To evaluate and compare the diagnostic value of MRI and sonography in detecting ligamentous injury of the ankle.

Results: The studies conclude in general that MRI is a highly accurate diagnostic tool, while sonography can be a reliable alternative.

The studies show the following diagnostic values for MRI in detecting an uninjured ATFL: sensitivity: 0-89%, specificity: 86-100%, accuracy: 82-98%. For an injured ATFL they show a sensitivity of 80-97%, a specificity of 87,5-100% and an accuracy of 82,3-100%.

The studies show the following diagnostic values for MRI in detecting an uninjured CFL: sensitivity: 76,75-91%, specificity: 56-98%, accuracy: 66-97%.

The studies show the following diagnostic values for MRI in detecting an injured ATIFL: sensitivity: 87,5-91%, specificity: 100%, accuracy: 90,5-96,2%.

The studies show the following diagnostic values for Sonography in detecting an injured ATFL: sensitivity: 66,67-100%, specificity: 33-100%, accuracy: 88,3-96,9%.

Without Oae et al., who used a different reference-standard, the diagnostic values amount to: sensitivity: 66,67%- 95,4%, specificity: 75-100%, accuracy: 88,3-96,9%.

The studies show the following diagnostic values for Sonography in detecting an injured CFL: sensitivity: 49-100%, specificity: 91-100%, accuracy: 70,5-93,5%.

The studies show the following diagnostic values for Sonography in detecting an injured ATIFL: sensitivity: 86-100%, specificity: 35-100%, accuracy: 56,7-97,9%.

MRI findings were compared to arthroscopy or surgical findings, while sonography was primarily compared to MRI. Due to this discrepancy in reference standards, a

direct comparison between MRI and ultrasound was not feasible. For the deltoid ligament and the PTFL not enough data was available to give a result regarding the diagnostic value of the diagnostic tools judged.

Conclusion: A direct comparison between MRI and sonography is limited by the use of different reference standards. However, based on the included studies and comparable reviews, MRI appears to be a consistently accurate diagnostic tool. In many cases sonography can achieve similar outcomes as MRI. Considering this with the cost and availability of these diagnostic tools, a more frequent use of sonography in diagnosing injuries to the ATFL, CFL and syndesmosis appears reasonable. However, further research needs to be done, especially regarding the deltoid ligament. Additionally, 3D-MRI and deep-learning algorithms can have a positive impact on detecting these injuries in the future.

Key Words: MRI; Sonography; Ultrasound; Ligament injury; Diagnosis; Diagnostic; Ankle; Accuracy; Injury; ATFL; CFL; Syndesmosis; Deltoid ligament

Inhaltsverzeichnis

1. Abkürzungen und deren Erklärung	1
2. Glossar.....	2
3. Abbildungsverzeichnis	3
4. Tabellenverzeichnis.....	4
5. Einleitung	6
5.1. Hinführung zum Thema	6
5.1.1. Grundlegende Anatomie des Bandapparates des oberen Sprunggelenks	6
5.1.2. Epidemiologie der Bänderverletzungen im oberen Sprunggelenk	7
5.1.3. Grundlagen der Verletzungsmechanismen der Bänder im oberen Sprunggelenk	9
5.1.4. Grundlagen der Diagnose und Therapie	10
5.2. Aufzeigen der Kenntnis- und Forschungslücke	13
5.3. Begründung der Fragestellung	13
5.4. Zielsetzung, Einschränkungen und Abgrenzungen	14
5.4.1. Zielsetzung	14
5.4.2. Einschränkungen und Abgrenzungen	14
6. Material und Methoden	16
6.1. Einschlusskriterien.....	20
6.2. Ausschlusskriterien	21
7. Ergebnisse und Resultate mit tabellarischen Darstellungen.....	23
7.1. Ergebnisse der Literaturrecherche.....	23
7.2. Die MRT in der Diagnose von Bänderverletzungen des Sprunggelenkes ...	26
7.2.1. Seitenbänder	26
7.2.2. Syndesmosebänder	36
7.2.3. Ligamentum deltoideum.....	38
7.3. Die Sonographie in der Diagnose von Bänderverletzungen des Sprunggelenkes.....	39
7.3.1. Seitenbänder	39
7.3.2. Syndesmosebänder	45
7.3.3. Ligamentum deltoideum.....	46
7.4. Deskriptive Synthese von Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit von MRT und Sonographie bei Verletzungen der Bänder im OSG	47
7.4.1. QUADAS-2 Assessment	47
7.4.2. Deskriptive Synthese der diagnostischen Werte von MRT und Sonographie bei Verletzungen des LTFA	50
7.4.3. Deskriptive Synthese der diagnostischen Werte von MRT und Sonographie bei Verletzungen des LCF.....	52
7.4.4. Deskriptive Synthese der diagnostischen Werte von MRT und Sonographie bei Verletzungen des LTIFA	54
8. Diskussion	55
8.1. Antworten auf die Forschungsfragen	55
8.1.1. Wie gut eignen sich MRT und Ultraschall in der Diagnostik von Bandverletzungen im oberen Sprunggelenk?	55
8.1.2. Können Schlüsse gezogen werden, welches Verfahren sich besser zur Diagnose eignet, bezogen auf Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit?	57

8.1.3. Gibt es sonstige interessante Schlüsse, die aus einzelnen Studien hervorgehen?	58
8.2. Vergleichende Erläuterungen	58
8.3. Schlussfolgerungen	60
8.4. Kritische Reflexion und Einschränkungen zu Inhalt und Methode	60
8.5. Implikationen für Theorie und Praxis	62
8.6. Ausblick und Anregungen für weiterführende Arbeiten	63
9. Literaturverzeichnis	65
10. Anhang	71

1. Abkürzungen und deren Erklärung

95%-KI:	95%-Konfidenzintervall
AE:	Athlete-Exposure
CT:	Computertomographie
FN:	falsch negatives Ergebnis
FP:	falsch positives Ergebnis
LCF:	Ligamentum calcaneofibulare
LTFA:	Ligamentum talofibulare anterius
LTFP:	Ligamentum talofibulare posterius
LTIFA:	Ligamentum tibiofibulare anterius
LTIFI:	Ligamentum tibiofibulare interosseum
LTIFP:	Ligamentum tibiofibulare posterius
MRT:	Magnetresonanztomographie
MSK:	muskuloskelettal
n:	Anzahl
N/A:	nicht angegeben
n.b.:	Anhand der angegebenen Formeln nicht (sinnvoll) berechenbar, Formeln nach [37,38]
NPW:	negativer prädiktiver Wert
OSG:	oberes Sprunggelenk
p:	Proportion
PPW:	positiver prädiktiver Wert
Ru:	Ruptur
RN:	richtig negatives Ergebnis
RP:	richtig positives Ergebnis
TR:	Teilruptur
V:	Verletzung (nicht näher definiert oder Zusammenlegung mehrerer Verletzungsmuster)
Ver:	Verstauchung

2. Glossar

1. **95%-Konfidenzintervall:** Wird benutzt, um die Unsicherheit einer statistischen Auswertung zu zeigen [38].
2. **AE (Athlete-Exposure):** Alle offiziellen Trainings und Wettkämpfe, bei denen es zu einer Verletzung kommen kann [30].
3. **Genauigkeit:** Gibt an, welcher Anteil an Resultaten richtig ist [37]. Sie zeigt den Wahrheitsgehalt eines Tests an [37].
4. **Sensitivität:** Gibt an, wie viele positive Ergebnisse also solche erkannt wurden [37]. Sie zeigt z.B., wie gut ein Test eine Krankheit erkennen kann [37].
5. **Spezifität:** Gibt an, wie viele negative Ergebnisse als solche erkannt wurden [37]. Sie zeigt z.B., wie gut ein Test den Normalzustand erkennen kann [37].

3. Abbildungsverzeichnis

1. Abbildung 1: QUADAS-2-Assessment der inkludierten Studien [1-6,8,12,13,15,17,41].

4. Tabellenverzeichnis

1. Tabelle 1a: Grundlegende Daten der inkludierten Studien Teil 1 [1-6,8,12,13,15,17].
2. Tabelle 1b: Grundlegende Daten der inkludierten Studien Teil 2 [1-6,8,12,13,15,17].
3. Tabelle 2: Diagnostische Kennzahlen der MRT bei verschiedenen Verletzungsgraden des LTFA und LCF, Wei-Tan et al. [1].
4. Tabelle 3: Diagnostische Kennzahlen der 2D-MRT und 3D-MRT bei verschiedenen Verletzungsgraden des LTFA, Yan-Xu et al. [2].
5. Tabelle 4: Diagnostische Werte des Deep-Learning Algorithmus und der 4 ärztlichen radiologischen Fachkräfte bei verschiedenen Verletzungen des LCF in der Eigengruppe, Ming-Ni et al. [3].
6. Tabelle 5: Diagnostische Kennzahlen des Deep-Learning Algorithmus und der 4 ärztlichen radiologischen Fachkräften bei verschiedenen Verletzungen des LCF in der Fremdgruppe, Ming-Ni et al. [3].
7. Tabelle 6: Die diagnostischen Werte der MRT bei Verletzungen des LTFA, Oae et al. [12].
8. Tabelle 7: Diagnostische Werte der MRT bei Verletzungen des LTFA, Yong-Sam Kim et al. [13].
9. Tabelle 8: Diagnostische Kennzahlen der MRT in der Diagnose von Verletzungen der Syndesmose, Ka-Young Chun et al. [4].
10. Tabelle 9: Diagnostische Werte der MRT bei Verletzungen der Syndesmosebänder, Clanton et al. [15].
11. Tabelle 10: Diagnostische Kennzahlen der MRT in der Diagnose von Verletzungen des Ligamentum deltoideum, Ka-Young Chun et al. [4].
12. Tabelle 11: Diagnostische Werte der Sonographie in der Diagnose von Verletzungen der Seitenbänder, Esmailian et al. [5].
13. Tabelle 12: Diagnostische Kennzahlen der Sonographie für verschiedene Verletzungen der Seitenbänder (LTFA & LCF), Baltes et al. [6].
14. Tabelle 13: Diagnostische Werte des Bedside-US in der Diagnose von Verletzungen des LTFA, Cem Gün et al. [8].

15. Tabelle 14: Die diagnostischen Werte der Sonographie bei LTFA-Verletzungen, Oae et al. [12].
16. Tabelle 15: Diagnostische Kennzahlen der Sonographie bei Verletzungen des LCF und LTFA, Ergün et al. [17].
17. Tabelle 16: Diagnostische Kennzahlen der Sonographie für komplette Risse und Verletzungen des LTIFA der Syndesmose, Baltes et al [6].
18. Tabelle 17: Die diagnostischen Werte der Sonographie bei Verletzungen des LTIFA, Ergün et al. [17].
19. Tabelle 18: Diagnostische Werte der MRT bei Verletzungen bzw. bei Erkennen des Normalzustandes des LTFA [1,2,12,13,38].
20. Tabelle 19: Diagnostische Werte der Sonographie bei Verletzungen des LTFA [5,6,8,12,17,37,38].
21. Tabelle 20: Diagnostische Werte der MRT in der Erkennung des Normalzustandes des LCF [1,3,38].
22. Tabelle 21: Diagnostische Werte der Sonographie bei Verletzungen des LCF [5,6,17,37,38].
23. Tabelle 22: Diagnostische Werte der MRT bei Verletzungen des LTIFA [4,15,37,38].
24. Tabelle 23: Diagnostische Werte der Sonographie bei Verletzungen des LTIFA [6,17,37,38].

5. Einleitung

5.1. Hinführung zum Thema

5.1.1. Grundlegende Anatomie des Bandapparates des oberen Sprunggelenks

Das obere Sprunggelenk verfügt über drei Bändergruppen [9]. Dazu zählen die lateralen und medialen Kollateralbänder und die Syndesmosis tibiofibularis [9].

Die lateralen Kollateralbänder setzen sich aus dem Ligamentum talofibulare anterius (LTFA) und posterius (LTFP) sowie dem Ligamentum calcaneofibulare (LCF) zusammen [9].

Gemeinsam verhindern sie eine Varisierung des Fußes [9]. Das LCF hemmt zusätzlich das Heben des medialen Fußrandes im unteren Sprunggelenk [9]. Das LTFA hemmt außerdem die Plantarflexion [9].

Alle lateralen Kollateralbänder entspringen am Malleolus lateralis [9]. Das LTFA zieht zum Collum tali, das LTFP zum Processus posterior des Talus und das LCF zur Außenfläche des Calcaneus [9].

Die Syndesmosis tibiofibularis besteht ebenfalls aus drei verschiedenen Bändern: dem Ligamentum talofibulare anterius (LTIFA), interosseum (LTIFI) und posterius (LTIFP) [9].

Gemeinsam verbinden sie das laterale Rollendach der Tibia mit der Vorder- und Hinterkante des Malleolus lateralis der Fibula [9].

Vom Innenknöchel entspringt das Ligamentum deltoideum [9]. Dabei handelt es sich um eine kollagenfaserige Platte, welche aus vier Teilen besteht [9].

Insgesamt verhindert das Ligamentum deltoideum eine Valgisierung des Fußes [9]. Die Anteile, welche über das untere Sprunggelenk ziehen hemmen zusätzlich eine Anhebung des lateralen Fußrandes [9]. Die Pars tibiotalaris anterior und die Pars tibionavicularis hemmen zusätzlich die Plantarflexion [9].

Die vier Anteile des Ligamentum deltoideum sind die Pars tibiotalaris anterior und posterior, die Pars tibioalkanea und die Pars tibionavicularis [9]. Die letzten beiden ziehen dabei auch über das untere Sprunggelenk [9].

Alle Anteile des Ligamentum deltoideum entspringen am Malleolus medialis [9]. Die Pars tibiotalaris anterior zieht von dort zum Corpus und Colli tali [9]. Die Pars tibiotalaris posterior zieht zum Processus posterior des Talus [9]. Die Pars

tibiocalcanea verbindet den Malleolus medialis mit dem Sustentaculum tali [9]. Die Pars tibionaviculare zieht vom Malleolus medialis zur dorsalen und medialen Fläche des Os naviculare [9].

Das Tibiospring-Band wird auch als fünfter Anteil des Ligamentum deltoideum beschrieben [33]. Es entspringt proximal und posterior vom Ligamentum tibionaviculare und zieht zum hinteren Drittel des Pfannenbands [33]. Es bildet mit der Pars tibionaviculare und der Pars tibiocalcanea die oberflächlichen Anteile des Ligamentum deltoideum [33]. Die Pars tibiotalaris anterior und posterior bilden die tiefen Anteile des Deltabandes [33].

5.1.2. Epidemiologie der Bänderverletzungen im oberen Sprunggelenk

Für die allgemeine Bevölkerung der USA wird eine Inzidenzrate von 2,15 pro 1000 Personen-Jahren für Verstauchungen des Sprunggelenks in den Notfallambulanzen angenommen [21]. Für Großbritannien wird eine minimale geschätzte Inzidenz von 52,7/10 000 Personen und eine errechnete Inzidenz von 60,9/10 000 Personen innerhalb eines Jahres in Notfalls- und Unfalls-Ambulanzen berichtet [22].

Tik-Pui Fong et al. zeigten, dass das Sprunggelenk in 24 von 70 untersuchten Sportarten die am häufigsten verletzte Körperregion ist [20]. Insgesamt war das Sprunggelenk die zweithäufigste verletzte Region [20].

Bei 43 der untersuchten Sportarten konnte die genaue Verletzungsart bestimmt werden [20]. Verstauchungen waren in 33 von 43 Sportarten die häufigste Verletzung [20]. Der genaue Grad der Verletzung wurde aber nicht bestimmt [20]. Insgesamt wurden 201 600 Verletzte inkludiert, davon hatten 32 509 eine Sprunggelenksverletzung [20]. Bei 14 098 konnte die Art der Verletzung bestimmt werden, davon hatten 11 847 eine Verstauchung des Sprunggelenks [20].

Etwa die Hälfte aller Sprunggelenksverstauchungen passieren beim Sport, gefolgt von Stürzen von einer Stiege oder auf ebenen Grund [21].

Insgesamt machen Sprunggelenks-Verstauchungen etwa 15,3% aller Verletzungen bei den Sportarten der NCAA (National College Athlete Association) aus [30]. Die Gesamt-Inzidenz beträgt 3,13/10 000 AE [30]. AE steht hierbei für „Athlete-Exposure“, damit sind alle offiziellen Trainings und Wettkämpfe gemeint, bei denen es zu einer Verletzung kommen kann [30].

Beide Geschlechter weisen dabei überdurchschnittliche Inzidenzen in Basketball, Volleyball und Fußball auf [30]. Bei Männern treten Sprunggelenksverstauchungen weiters häufig beim Football auf [30]. Bei Frauen treten diese auch beim Turnen häufig auf [30].

Verletzungen der Syndesmose treten in den Sportarten der NCAA mit etwa 1,00/10 000 AE auf [31]. Am häufigsten treten diese Verletzungen beim Football und Wrestling der Männer auf [31]. Weitere Sportarten mit erhöhter Inzidenz sind Fußball und Eishockey für Männer sowie Volleyball, Turnen und Fußball für Frauen [31].

Für Verletzungen des Ligamentum deltoideum bei Mitgliedern der NCAA wird eine Inzidenz von 0,79/10 000 AE berichtet [32]. Für Fußball und Basketball werden dabei für beide Geschlechter erhöhte Inzidenzen beschrieben [32]. Männer haben weiters eine erhöhte Inzidenz von Verletzungen des Ligamentum deltoideum beim Football, Frauen hingegen beim Turnen und Lacrosse [32].

Für den Altersgipfel von Sprunggelenksverletzungen gibt es unterschiedliche Angaben: beschrieben werden einerseits Altersgipfel zwischen 23 und 32 Jahren, sowie andererseits Altersgipfel zwischen 15 und 19, bei einem mittleren Alter von 26,2 Jahren [19,21]. Weiters wird ebenfalls eine Spitzeninzidenz in der Altersgruppe 10-14 Jahren beschrieben [22].

Fallat et al. zeigten in ihrer Studie, dass die Seitenbänder in 86% der Sprunggelenksverletzungen betroffen sind [23]. In 32,9% der Fälle konnte eine Verletzung des Ligamentum deltoideum festgestellt werden und in 5,7% eine Verletzung der Syndesmose [23]. Das LTFA war in 16% der Fälle isoliert verletzt [23]. In 34% trat eine Kombinationsverletzung mit dem LCF auf und in weiteren 31% eine Kombination aus allen 3 Seitenbändern [23].

Laut Debieux et al. liegt in 78,5% der LTFA-Verletzungen eine assoziierte LCF-Verletzung vor [29]. Umgekehrt tritt bei 96,3% der LCF-Verletzungen eine Verletzung des LTFA auf [29]. In derselben Studie waren alle aufgezeichneten LTIFA-Verletzungen mit einer Verletzung des LTFA assoziiert [29]. 73,3% der LTIFA-Verletzungen wiesen weiters eine Verletzung des LCF auf [29].

Akute Verletzungen des Deltabandes treten häufig in Kombination mit Sprunggelenksfrakturen und Verletzungen der Syndesmose auf [46]. Chronische

Verletzungen des Deltabandes gehen sehr oft mit einer chronischen Verletzung des LTFA einher [46].

5.1.3. Grundlagen der Verletzungsmechanismen der Bänder im oberen Sprunggelenk

Die Außenbänder werden vor allem durch eine Kombination aus Plantarflexion, Supination und Inversion geschädigt [19]. Bei einer Zerreißung reißt zuerst das LTFA, dann das LCF und zuletzt das LTFP [19].

Kombinationsverletzungen aus LTFA und LCF treten bei Inversion, Innenrotation und geringer Plantarflexion auf [26]. Tritt dieser Mechanismus ohne Innenrotation auf, ist das LCF isoliert verletzt [26].

In einem Kadaversversuch konnte festgestellt werden, dass eine Außenrotation bei gleichzeitiger Eversion und Dorsalflexion eine Verletzung des LTIFA verursachen kann [27]. Ohne Eversion führt eine Außenrotation bei Dorsalflexion hauptsächlich zu Verletzungen des Ligamentum deltoideum [27]. Verletzungen des LTIFA sind dabei aber ebenfalls möglich [27].

Eine weitere Kadaverstudie beurteilte die Auswirkungen einer Außenrotation der Tibia bei Plantar- und Dorsalflexion sowie Neutralstellung auf den Bandapparat des Sprunggelenks [28].

Die Syndesmose wurde dabei vor allem in zusätzlicher dorsaler Flexion beschädigt [28]. In Neutralstellung wurde die Syndesmose zu 56% verletzt, während sie in der Plantarflexion unbeschädigt blieb [28].

Das Ligamentum deltoideum wurde in allen Testmodi verletzt, hierbei vor allem in der Neutralstellung [28].

Verletzungen der Seitenbänder konnten ebenfalls nachgewiesen werden [28]. Das CFL wies in allen drei Testmodi Verletzungen auf, während für das LTFA in plantarer und für das LTFP in dorsaler Flexion keine Verletzungen auftraten [28]. Bei Supination in Kombination mit Außenrotation werden typischerweise die Pars tibionaviculare, das Tibiospring-Band und die Pars tibiotalaris des Ligamentum deltoideum verletzt [33].

Am häufigsten kommen Verletzungen des Sprunggelenks im Sport durch Spielerkontakt zustande [30-32]. Insgesamt verursacht Spielerkontakt 42,4% der Sprunggelenksverletzungen [30]. Weiters ist Spielerkontakt in 60,4% der

Syndesmosenverletzungen die Ursache [31]. Deltabandverletzungen werden in 49,7% durch Spielerkontakt verursacht [32].

Bodenkontakt ist insgesamt die zweithäufigste Ursache für Sprunggelenksverletzungen, gefolgt von Verletzungen ohne Kontakt [30]. Bei Syndesmose- und Deltaband-Verletzungen stehen Verletzungen ohne Kontakt an zweiter Stelle und Verletzungen durch Bodenkontakt an dritter Stelle [31,32].

Andere Verletzungsursachen wie Kontakt mit Spielgeräten oder Überbeanspruchung machen nur einen kleinen Anteil aus [30-32]. Die einzelnen Sportarten unterscheiden sich zudem in der Häufigkeit der einzelnen Verletzungsursachen [30-32].

5.1.4. Grundlagen der Diagnose und Therapie

Laut einer deutschen Umfrage zur Diagnose und Therapie bei OSG-Distorsionen führt der Großteil des ärztlichen Personals bei der klinischen Untersuchung im Rahmen der Erstvorstellung einen Schubladentest (Talusvorschub) und den Inversions-Eversions-Stresstest durch (89,5% bzw. 81,6%) [34].

Als Bildgebung bei der Erstvorstellung führen 88,1% der Befragten eine Röntgenaufnahme ohne Belastung durch [34]. Die Sonographie wird am zweithäufigsten durchgeführt, 26,5% der Befragten greifen auf dieses Verfahren zurück [34]. Darauf folgen Röntgenaufnahmen im Stand mit 10,4% [34]. Besteht der klinische Verdacht auf eine höhergradige Verletzung greifen 90% der Befragten zur MRT als bildgebendes Verfahren und 37,2% zu einer CT [34].

Eine isolierte Ruptur des LTFA behandeln 99,7% des ärztlichen Personals konservativ [34]. Dabei würden 78,7% der Befragten auf eine Orthese mit Vollbelastung und 22,2% eine Orthese mit Teilbelastung verwenden [34]. 10,8% der Befragten würden zusätzlich eine funktionelle Verbandtechnik anwenden, beispielsweise Tapes [34].

Eine Kombinationsruptur des LTFA und LCF würden 98% der Befragten konservativ behandeln [34]. Eine Vollbelastungs-Orthese würden 50,4% der Befragten anlegen und 37,5% eine Orthese und Teilbelastung [34]. 13,9% der Befragten würden sich für eine Ruhigstellung im Unterschenkelgips oder eine Teilbelastung im Walker entscheiden [34].

Eine vollständige Außenbandruptur würden 79,9% der Befragten konservativ behandeln [34]. Das LTFA würden 22,9% und das LCF 21% der Befragten rekonstruieren [34]. Die Nachbehandlung erfolgt am häufigsten mittels Unterschenkelgips oder Walker mit Teilbelastung (33%) oder einer Orthese mit Voll- (28,5%) oder Teilbelastung (28,3%) [34].

Bei einer Kombination aus kompletter Außenbandruptur und Innenbandverletzung würden 66,7% der Befragten konservativ behandeln [34]. 31% der Befragten würden das Innenband mittels Operation wiederherstellen [34]. 22,9% der Befragten würden zusätzlich oder stattdessen das LTFA operativ rekonstruieren [34]. Die Nachbehandlung erfolgt mittels mit Unterschenkelgips oder Walker mit Teilbelastung (41,8%), Orthese mit Teilbelastung (22,7%) oder Ruhigstellung mit Entlastung (22,5%) [34].

Bei Außenbandriss mit zusätzlicher Verletzung der Syndesmose würden 30,1% der Befragten konservativ behandeln [34]. 69,9% der Befragten würden die Syndesmose operativ wiederherstellen, meistens mit einer oder zwei Stellschrauben [34]. Das LTFA würden 17,5% der Befragten rekonstruieren [34]. Für die Nachbehandlung empfehlen 90,4% der Befragten eine Ruhigstellung mittels Unterschenkelgips oder Walker [34]. 44,4% der Befragten würden teilbelasten und 41,3% vollbelasten [34].

In einer japanischen Umfrage zur Diagnose und Therapie bei lateralen Sprunggelenksdistorsionen gaben alle Befragten an ein Standardröntgen zu verwenden [35]. Unter anderem soll das Frakturen ausschließen [35]. Ein Belastungsrontgen wurde von 41,1%, Sonographie von 46,5% der Befragten verwendet [35].

98,4% der Befragten immobilisierten das verletzte Gelenk, 89,1% mittels Schiene und 6,2% mittels Hartverband [35]. 83,5% der Befragten legten nach der Immobilisation eine Unterstützung für das Sprunggelenk an [35]. 58,9% der Befragten verzichtete darauf eine Rehabilitation zu verordnen [35]. 74,4% der Befragten legten eine Unterstützung für das Sprunggelenk bei sportlicher Aktivität an [35].

Schmerzfreiheit war mit 45,7% das häufigste Kriterium, um Betroffene wieder sportlich aktiv werden zu lassen [35]. Weitere häufige Kriterien sind in absteigender Reihenfolge: Abwesenheit von Instabilität, vergangene Zeit seit der

Verletzung, Abwesenheit einer Bewegungseinschränkung und Abwesenheit einer Schwellung [35]. Für 65,9% der Befragten reichte eines dieser Kriterien aus, um Betroffene wieder sportlich aktiv werden zu lassen [35].

Eine deutsche Umfrage zur Diagnose und Therapie bei isolierten Syndesmosen-Verletzungen zeigte, dass in den klinischen Untersuchungen am häufigsten der Außenrotations-Stresstest (66%), der Squeeze-Test (61%) und der forcierte Dorsiflexions-Test (40%) durchgeführt werden [36].

In etwa 49% (+/- 22%) kann man eine Verletzung der Syndesmose allein durch klinische Untersuchungen nicht feststellen [36]. In weiterer Folge wird von 83% der Befragten eine MRT-Untersuchung durchgeführt [36]. Verschiedene Röntgen-Verfahren und Ansichten werden von 20-58% der Befragten genutzt [36]. Die Sonographie findet bei 28% der Befragten Verwendung [36].

61% (+/- 35%) der Befragten würden eine isolierte Syndesmosen-Verletzung operativ versorgt [36]. Die häufigsten Indikationen dafür sind instabile Syndesmosen-Verletzung (97%) und Beteiligung aller Syndesmose-Bänder (93%) [36]. In der operativen Versorgung werden am häufigsten (80%) Syndesmose-Schrauben eingesetzt (2 Schrauben in 38%, 1 Schraube in 42%), gefolgt von Naht-Anker-Systemen (13%) und direkten Nahttechniken (6%) [36].

Betroffene einer Deltaband-Verletzung präsentieren sich bei akuten Verletzungen oftmals mit Schmerzen und Blutergüssen über dem Deltaband [46]. Chronische Verletzungen machen sich durch Schmerzen und Instabilität an der medialen Seite bemerkbar [46].

Der Varus-Stress-Test und der vordere Schubladen Test können den Verdacht bestätigen [46]. Meistens reicht eine Röntgenaufnahme unter Gewichtsbelastung zur Bildgebung aus [46]. Weitere Diagnosemöglichkeiten umfassen CT, MRT und Arthroskopie [46].

Akute und chronische Verletzungen des Deltabandes sollten chirurgisch versorgt werden [46]. Die Versorgung des Deltabandes kann mittels Naht-Anker-System, Autograft oder Allograft erfolgen [46]. Die Operation des Deltabandes kann offen, arthroskopisch oder gemischt erfolgen [46].

5.2. Aufzeigen der Kenntnis- und Forschungslücke

An der Medizinischen Universität Graz gibt es bis heute noch keine Publikation, die inhaltlich mit dieser Diplomarbeit vergleichbar ist (Stand Dezember 2025) [24]. Auch in der internationalen Literatur finden sich wenige Publikationen, welche entweder mehrere Bändergruppen oder mehrere radiologische Verfahren untersuchten. Hauptsächlich werden einzelne Bändergruppen bzw. bildgebende Verfahren separat untersucht.

Dies spiegelt sich auch in den Ergebnissen der Literaturrecherche für diese Diplomarbeit wider. Von den 11 als relevant empfundenen Quellen, behandelten 6 Quellen jeweils ein bildgebendes Verfahren und eine Bändergruppe, 4 Publikationen untersuchten mehrere Bändergruppen mit einem einzigen bildgebenden Verfahren und nur eine Quelle beurteilte beide, für diese Diplomarbeit relevanten bildgebende Verfahren und mehrere Bändergruppen [1-6,8,12,13,15,17]. Eine detaillierte Darstellung der Grunddaten der inkludierten Studien findet sich in Tabelle 1 (Kapitel 7.1. „Ergebnisse der Literaturrecherche“). Am geringsten ist der Forschungsstand beim Deltaband. Bei Verletzungen der Syndesmose gibt es ebenfalls einen Mangel an Quellen. Die Seitenbänder sind, mit Ausnahme des LTFP, vergleichsweise besser erforscht. Jedoch existieren auch hier auch wenige Studien.

5.3. Begründung der Fragestellung

Diese Diplomarbeit hat das Ziel folgende Fragen zu beantworten:

1. Wie gut eignen sich MRT und Ultraschall in der Diagnostik von Bandverletzungen im oberen Sprunggelenk?
2. Können Rückschlüsse gezogen werden, welches Verfahren hinsichtlich Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit überlegen ist?
3. Gibt es sonstige relevante Erkenntnisse aus einzelnen Studien?

Für die ersten beiden Fragestellungen werden Verletzungen der einzelnen Seitenbänder, der Syndesmose und des Deltabands getrennt beurteilt.

Die Beantwortung dieser Fragen sollen dazu beitragen, die Diagnostik bei Bandverletzungen im oberen Sprunggelenk effektiver, schneller und präziser zu gestalten.

Die Unterteilung in die verschiedenen Bändergruppen soll gewährleisten, dass die Antworten möglichst spezifisch auf das verletzte Band zutreffen.

Auf CT und Röntgen wurde verzichtet, weil diese Diplomarbeit ansonsten den vorgegebenen Rahmen von 50 Seiten deutlich überschritten hätte [25].

Gründe warum CT und Röntgen ausgeschlossen wurden, sind etwa die Schwächen beider Verfahren in der Beurteilung von Weichteilverletzungen und die Strahlenbelastung für die Betroffenen [39]. Die MRT weist hingegen den höchsten Weichteilkontrast aller Verfahren auf [39]. Die Sonographie liefert ebenfalls gute Ergebnisse in der Darstellung von Weichgewebe [39]. Zusätzlich ist sie günstig und breit verfügbar [39].

5.4. Zielsetzung, Einschränkungen und Abgrenzungen

5.4.1. Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit soll herausfinden, wie gut sich MRT und Ultraschall bei Verletzungen des Bandapparats des oberen Sprunggelenkes als diagnostisches Mittel eignen. Dabei soll auch untersucht werden, welches Verfahren eine höhere diagnostische Aussagekraft besitzt.

Die unterschiedlichen Bandgruppen des Sprunggelenkes (Seitenbänder, Syndesmose und Ligamentum deltoideum) werden separat beurteilt.

Dazu werden ausgewählte Publikationen verwendet. Die Einschluss- und Ausschlusskriterien hierzu sind in Kapitel 6.1. und 6.2. beschrieben.

Falls ausreichend Daten extrahiert werden können, werden diese anschließend deskriptiv tabellarisch synthetisiert. Die Ergebnisse werden im Anschluss mit bereits veröffentlichten und thematisch verwandten Literaturreviews verglichen. Zum besseren Verständnis des Themas sowie dessen Relevanz wird in der Einleitung die Anatomie des Sprunggelenkes, die Epidemiologie des Sprunggelenktraumas, sowie die Verletzungsmechanismen der Bänder und die Therapie sowie diagnostische Schritte kurz beschrieben. Dazu wurden Lehrbücher, Studien und weitere Publikationen herangezogen.

5.4.2. Einschränkungen und Abgrenzungen

Diese Diplomarbeit behandelt ausschließlich MRT und Ultraschall in der Diagnose von Bandverletzungen des oberen Sprunggelenkes. Ein Ziel ist die diagnostische

Wertigkeit der einzelnen Verfahren zu ermitteln. Ein weiteres Ziel ist es, einen Vergleich zwischen Sonographie und MRT herzustellen.

Publikationen zu Therapie-Verfahren, Verlaufskontrollen und Verletzungen, welche nicht ausschließlich die Bänder des oberen Sprunggelenkes betreffen, werden nicht berücksichtigt.

CT, Röntgen und Arthroskopie werden in dieser Diplomarbeit nicht behandelt. Damit soll gewährleistet werden, dass diese Diplomarbeit den von der MedUni Graz vorgegebenen Rahmen von etwa 50 Seiten einhält [25].

Es werden nur Quellen berücksichtigt, welche im 21. Jahrhundert (seit 1.1.2001) veröffentlicht wurden. Dadurch soll der aktuelle Forschungsstand besser abgebildet werden.

Fallberichte, Studien an Kindern oder Jugendlichen, Kadaverstudien, sowie andere Literaturreviews werden ebenfalls ausgeschlossen. Die gefundenen Literaturreviews wurden aber mit dieser Diplomarbeit verglichen. Open-Access-Quellen aus diesen Reviews wurden für diese Diplomarbeit verwendet, falls sie den Einschluss- und Ausschluss-Kriterien entsprachen.

6. Material und Methoden

Insgesamt wurden 2 Literaturrecherchen über PubMed durchgeführt. Die zweite Suche wurde notwendig, weil bei der ersten Suche zu wenig relevante Quellen gefunden wurden. Es wurden ausschließlich Open-Access Publikationen berücksichtigt.

Bei der ersten Literaturrecherche über PubMed wurden die Suchbegriffe: „MRI AND ultrasound AND ankle injury AND ligament AND diagnosis“ verwendet. Dabei wurden nur Quellen der letzten 10 Jahre berücksichtigt. Insgesamt fanden sich 961 Treffer, davon waren 38 nach dem Lesen des Titels relevant. Es wurden also 923 Quellen ausgeschlossen.

Eine parallele Literaturrecherche im Directory of Open Access Journals mit den Suchbegriffen: „ankle injury AND Imaging AND Ligaments“ ergab 38 Artikel von 2009-2024. Davon stellten sich 2 Quellen nach Lesen des Titels als relevant für Diplomarbeit heraus. Allerdings wurde einer davon bereits in PubMed gefunden.

Nach dem Abstract Screening der ersten PubMed-Recherche und der Recherche im DOAJ wurden von den insgesamt 37 gefundenen Publikationen 24 als möglicherweise relevant eingestuft.

Diese wurden anschließend nach dem PICO-Schema beurteilt. Dieses wurde aus der offiziellen Cochrane-Webseite entnommen [10]. Das Akronym steht dabei für „Patients, Intervention, Comparison, Outcome“ [10].

Die Kriterien für diese Diplomarbeit waren:

1. **Patient/Population:** Die Publikation muss Betroffene mit isolierter Verletzung eines oder mehrerer Bänder des oberen Sprunggelenkes beinhalten. Akute und chronische Verletzungen sind jeweils zulässig. Das mittlere Alter der Teilnehmenden muss dabei über 18 Jahre liegen. Die Studien müssen mindestens 20 Teilnehmende haben.
2. **Intervention:** Die Publikationen müssen MRT und/oder Ultraschall zur Diagnose von Bandverletzungen im OSG verwenden.
3. **Comparison:** Ideal sind Publikationen, welche die MRT und/oder Ultraschall mit der Arthroskopie oder intraoperativen Befunden vergleichen. Publikationen, welche MRT und/oder Ultraschall mit anderen bildgebenden diagnostischen Verfahren oder untereinander vergleichen werden aber

auch akzeptiert. Publikationen, in denen MRT und/oder Ultraschall nur mit klinischen Untersuchungen verglichen wurden, werden ausgeschlossen.

4. **Outcome:** Die Publikationen müssen zumindest Sensitivität und Spezifität der jeweiligen Untersuchung beinhalten. Idealerweise beinhalten die jeweiligen Publikationen ebenfalls die Genauigkeit der jeweiligen Verfahren oder die Werte der Genauigkeit können anhand der vorhandenen Daten selbstständig ausgerechnet werden.

Nach Anwendung dieses PICO-Schemas wurden nach der ersten Literaturrecherche 6 Quellen als tauglich beurteilt [1-6]. 18 Quellen, welche diese Kriterien nicht erfüllten, wurden ausgeschlossen.

Aufgrund von Mangel an relevanten Quellen für diese Diplomarbeit wurde eine zweite Recherche über PubMed durchgeführt. Hier wurden die Suchbegriffe „MRI AND Ultrasound AND ankle injury AND Ligament AND Accuracy“ verwendet. Der Suchzeitraum wurde auf das 21. Jahrhundert (1.1.2001) ausgeweitet. Insgesamt wurden somit 1952 Suchergebnisse gefunden. Es gab eine große Überschneidung mit erster Suche.

Insgesamt wurden 11 weitere Quellen gefunden, die nicht bereits in der ersten Literaturrecherche gefunden wurden. 2 dieser Quellen wurden nach dem Abstract-Screening als potenziell relevant eingestuft.

Anschließend wurden diese beiden Quellen nach dem oben beschriebenen PICO-Schema beurteilt. Eine Studie entsprach den Kriterien [8]. Die zweite Studie behandelte eine Kombination aus Fraktur und Bänderriss und wurde deswegen ausgeschlossen.

Zudem wurden Open-Access Quellen aus thematisch verwandten Literaturreviews entnommen, sofern sie den Kriterien des oben angewandten PICO-Schemas.

Aus dem Literaturreview von Gabriele Colò et al. wurden die Studien von Kazunori Oae et al. aus dem Jahr 2009 und Yong Sang Kim et al. entnommen [11,12,13].

Der Literaturreview von Dong-Il Chun et al. lieferte die Publikation von Thomas Clanton et al [14,15].

Aus Jungemann et al. wurde die Studie von Tuğrul Ergün et al. entnommen [16,17].

Insgesamt wurden 11 relevante Publikationen gefunden [1-6,8,12,13,15,17].

Die Ergebnisse der Literaturrecherche werden im Kapitel 7.1. dargelegt. Darin werden die grundlegenden Daten der verschiedenen Publikationen beschrieben. Die einzelnen Publikationen werden im Anschluss daran im Detail beschrieben. Zu dieser Beschreibung zählen die Methoden, Einschluss- und Ausschlusskriterien, der Studienaufbau und die Ergebnisse bezüglich der diagnostischen Eigenschaften von MRT und/oder Ultraschall bei Bandverletzungen des OSG. Die ermittelten Daten der einzelnen Studien werden jeweils in einer Tabelle dargestellt.

Dabei werden die Publikationen den jeweiligen Unterkapitel zugeordnet. Die Einteilung dieser Unterkapitel erfolgt nach bildgebenden Verfahren und darin nach Bändergruppe. Den einzelnen Seitenbändern werden zudem eigene Kapitel zugeordnet.

Das Risiko für Bias wurden mittels QUADAS-2 Schema beurteilt, nach Anleitung von Whiting et al. [41]. Dazu wurden die inkludierten Studien anhand der Kategorien „Auswahl der Teilnehmenden“, „Testverfahren“, „Referenzstandard“ und „Fluss und Timing“ anhand jeweils mehreren Fragen untersucht [41]. Diese Fragen sind so formuliert, dass eine Zustimmung ein niedriges Risiko für Bias indiziert [41]. Weiters wird die Anwendbarkeit auf diesen Literaturreview überprüft [41]. Falls allen Fragen einer Kategorie zugestimmt werden kann, wird diese Kategorie mit niedrigem Risiko für Bias bewertet [41]. Falls eine oder mehr Fragen ablehnend beantwortet wurden, wurde die jeweilige Kategorie mit hohem Risiko für Bias bewertet [41]. Analog wurde mit unklaren Antworten verfahren [41].

Eine formale Random-Effects-Meta-Analyse wurde nicht durchgeführt, da die für eine standardisierte Schätzung von τ^2 erforderlichen Informationen nicht konsistent vorlagen. Stattdessen erfolgt eine deskriptive Synthese mit tabellarischer Darstellung von Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit sowie einer qualitativen Bewertung der Heterogenität. Fehlende 95%-KI und Genauigkeitswerte wurden, soweit möglich, selbständig berechnet.

Die deskriptive Synthese der diagnostischen Daten von MRT und Sonographie erfolgte bei allen Bändern, die in zumindest 2 Publikationen untersucht werden. Dazu wurden die diagnostischen Daten beider Verfahren pro Ligament getrennt in einer eigenen Tabelle zusammengefasst. Dieses Vorgehen betrifft das LTFA, LCF und LTIFA. Es wurde nur die Daten zu Verletzungen aggregiert. Bei Studien, die mehrere Verletzungsmuster untersuchten, wurden stellvertretend die Daten zur

Erkennung des Normalbefundes, im Sinne eines Ausschlusses einer Verletzung, extrahiert [1-3].

Akute und chronische Verletzungen wurden einheitlich betrachtet.

Stellvertretend für die Syndesmose werden die Ergebnisse des LTIFA bewertet, weil die meisten gefundenen Studien nur dieses Band untersuchten [4,6,15,17].

Die je nach Studie variierenden Frequenzen der Sonographie, sowie unterschiedliche Feldstärken der MRT wurden ebenfalls einheitlich betrachtet.

Verschiedene Methoden der bildgebenden Verfahren innerhalb der einzelnen Studien (Yan-Xu et al.: 2D und 3D MRT und Ming-Ni et al.: Deep-Learning und Fachkräfte für MSK-Radiologie) wurden getrennt analysiert [2,3].

Die dynamische Messung aus Baltes et al. wurde nicht aufgenommen, weil sich die Daten zur diagnostischen Wertigkeit auf einen kompletten Riss der Syndesmose bezogen [6].

In Quellen, in denen die Befundung von mindestens 2 Personen durchgeführt wurde, diente der Mittelwert von Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit der Untersuchenden als Grundlage [3,13]. Damit soll eine Überrepräsentation der betroffenen Studien vermieden werden.

Für Ming-Ni et al. wurden die Daten zur Fremdgruppe in die Tabelle eingetragen [3]. Dies geschah ebenfalls, um eine Überrepräsentation zu vermeiden.

Eine exakte Gegenüberstellung von Sonographie und MRT war nicht möglich, weil die jeweiligen Studien verschiedene Referenzstandards verwendeten [1-6,8,13,15,17]. Die einzige Ausnahme ist hier Oae et al., hier wurde einheitlich die Arthroskopie als Goldstandard verwendet [12].

Fehlende Daten wurden mithilfe der folgenden Formeln ausgerechnet:

Sensitivität: $RP / (RP + FN)$ [37].

Spezifität: $RN / (RN + FP)$ [37].

Genauigkeit: $(RN + RP) / (RP + FP + RN + FN)$ [37].

Genauigkeit: Sensitivität * Prävalenz + Spezifität * (1-Prävalenz) [37].

95%-Konfidenzintervall: $p \pm 1,96 * \sqrt{\frac{p*(1-p)}{n}}$ [38].

Prävalenz: $n_{\text{Betroffene}} / n_{\text{Grundbevölkerung}}$ [43].

Für die Berechnung der 95%-KI basierte „n“ für Genauigkeit auf der Anzahl aller Teilnehmenden, für die Sensitivität auf der Anzahl aller positiven Resultate des

Referenzstandards und für die Spezifität auf der Anzahl aller negativen Resultate des Referenzstandards [37].

Für die Berechnung der Prävalenz wurde für die Grundbevölkerung die Anzahl der Teilnehmenden verwendet [43]. Die Anzahl der Betroffenen basierte auf der Anzahl der mittels Goldstandards bestätigten Anzahl an Verletzten [43].

Es konnten nicht alle Werte der 95%-KI berechnet werden. Ein Grund liegt darin, dass die angegebene Formel bei Extremen (0% oder 100%) versagt und hier keine Werte für ein 95%-KI berechnet werden können [38]. Ein weiterer Grund liegt darin, dass mit dieser Formel teilweise Werte über 100% für die obere Grenze des 95%-KI berechnet wurden [38]. Eine Studie gab die genauen Ergebnisse der richtig oder falsch positiven und der richtig oder falsch negativen Ergebnisse nicht transparent an, sodass die Berechnung der 95%-KI für die Sensitivität und Spezifität nicht möglich war [3,37,38].

Alle selbständig berechneten Werte wurden in den betroffenen Tabellen als solche gekennzeichnet.

Zur Quellenfindung für das Unterkapitel 5.1 erfolgte eine narrative Literaturrecherche mittels PubMed, Google Scholar und dem Online-Zugang zur Bibliothek der Medizinischen Universität Graz. Auch hier wurden nur Open-Access Quellen verwendet. Die Suchbegriffe wurden den jeweiligen Unterkapitel angepasst (z.B. „Epidemiology AND Injury AND Lateral Ankle/Syndesmosis/deltoid ligament“ für 5.1.2.).

Zur Analyse der Rechtschreibung und des Schreibstils der Arbeit wurde das KI-Tool ChatGPT 4o von OpenAI (<https://openai.com/chatgpt/overview/>) in der kostenlosen Version von 10.4.2025 bis 11.4.2025 verwendet.

6.1. Einschlusskriterien

Eingeschlossen wurden Publikationen, die MRT und/oder Ultraschall als diagnostische Bildgebung bei Bandverletzungen des oberen Sprunggelenkes als Thema behandeln und die jeweiligen Verfahren anhand mindestens ihrer Sensitivität und Spezifität beurteilen. Im Idealfall behandelten die eingeschlossenen Quellen auch die Genauigkeit und andere Kennwerte der jeweiligen Verfahren.

Das durchschnittliche oder mediane Alter der Studien musste über 18 Jahren liegen.

Die Bandverletzungen müssen dabei isoliert auftreten, das heißt nicht in Kombination mit anderen Verletzungen wie etwa Frakturen. Der Grad der Bandverletzung spielte dabei keine Rolle als Einschluss- oder Ausschlusskriterium. Weiters mussten die Quellen im 21. Jahrhundert, also seit 1.1.2001 veröffentlicht sein.

Studien welche KI oder Deep-Learning Programme als Hilfsmittel zur Diagnose bei MRT und/oder Ultraschall verwendeten wurden auch berücksichtigt.

Unterschiedliche methodische Ansätze wurden ebenfalls akzeptiert. Darunter fallen etwa 2D oder 3D MRT, verschiedene magnetische Flussdichten, Schnittebenen oder Schallkopf-Frequenzen.

Es konnten Publikationen in allen Sprachen, in denen der Autor dieser Diplomarbeit über Kompetenzen verfügt aufgenommen werden. Alle verwendeten Publikationen für den Hauptteil wurden in englischer Sprache verfasst.

Weiters wurden nur Quellen mit einer Studienpopulation, deren Durchschnittsalter über 18 Jahren lag in diese Diplomarbeit aufgenommen. Der Zeitpunkt der Verletzung (akut oder chronisch) sowie der Zeitpunkt der Bildgebung im Abstand zur Verletzung wurde als Einschlusskriterium nicht berücksichtigt.

Vom Studiendesign wurden alle gefundenen retrospektiven oder prospektiven Studien mit einer Mindestteilnehmeranzahl von 20 aufgenommen.

Andere Literaturreviews wurden für den Hauptteil nicht berücksichtigt. Allerdings wurden aus diesen geeignete Open-Access Quellen entnommen und deren Ergebnisse mit dieser Diplomarbeit verglichen.

6.2. Ausschlusskriterien

Publikationen wurden ausgeschlossen, wenn das durchschnittliche oder mediane Alter der Teilnehmenden unter 18 Jahren lag.

Weiters wurden Studien ausgeschlossen, die gezielt diagnostische Eigenschaften bei Kombinationsverletzungen analysierten. Dazu zählten etwa Fraktur in Kombination mit Bänderriss. Ebenfalls ausgeschlossen wurden alle Publikationen, welche ausschließlich Verletzungen untersuchten, die keine Bandverletzung darstellen, wie etwa Sehnen-, Muskel- oder Knochenverletzungen.

Es wurden ebenfalls alle Studien ausgeschlossen, welche die Therapie oder Verlaufskontrolle der einzelnen Bänderverletzungen untersuchten.

Weiters wurden auch alle Publikationen ausgeschlossen, welche zwar die MRT und/oder Ultraschall verwendeten, hierbei aber nicht die diagnostischen Eigenschaften der Verfahren untersuchten, sondern diese für andere Zwecke verwendeten. Beispielsweise etwa die Untersuchung von Verletzungsmustern oder Prävalenzen der einzelnen Bänderverletzungen.

Als nicht geeignet für diese Diplomarbeit wurden Kadaverstudien, Fallberichte und andere Literaturreviews eingestuft.

7. Ergebnisse und Resultate mit tabellarischen Darstellungen

7.1. Ergebnisse der Literaturrecherche

Tabelle 1a: Grundlegende Daten der inkludierten Studien Teil 1 [1-6,8,12,13,15,17].

Studie (Jahr/Land)	Untersuchte(s) Verfahren	Goldstandard	Untersuchte(s) Ligament(a)	Klassifikation (Verletzungsgrad & Dauer)
Wei-Tan et al. (2016/Singapur) [1]	MRT (3,0T)	Intra- operative Befunde	LTFA LCF	N/TR/R Akut & chronisch
Yan Xu et al. (2021/China) [2]	2D & 3D MRT (3,0T)	Arthroskopie	LTFA	N/Ver/TR/Ru chronisch
Ming Ni et al. (2022/China) [3]	MRT (3,0T, LeNet5 & 4 radiologische Fachkräfte)	Arthroskopie	LCF	N/V/Ru N/A
Ka-Young Chun et al. (2015/Süd-Korea) [4]	MRT (3,0T)	Arthroskopie	Syndemose Lig. Delt.	V chronisch
Esmailian et al. (2021/Iran) [5]	Ultraschall (7,5MHz)	MRT (1,5T)	LTFA LCF LTFP	V akut
Baltes et al. (2020/Niederlande) [6]	Ultraschall (5-12MHz, dynamisch und statisch)	MRT (3,0T)	LTFA LCF LTIFA	V, Ru akut
Gün et al. (2013/Türkei) [8]	Ultraschall (7,5MHz)	MRT	LTFA	V akut
Oae et al. (2009/Japan) [12]	Ultraschall (9MHz) MRT (1,5T)	Arthroskopie	LTFA	V Akut und chronisch
Yong-Sang Kim et al. (2015/Süd-Korea) [13]	MRT (1,5T)	Arthroskopie	LTFA	V chronisch
Clanton et al. (2014/USA) [15]	MRT (3,0T)	Arthroskopie	LTIFA LTIFP LTIFI	V N/A
Ergün et al. (2022/Türkei) [17]	Ultraschall (5-12MHz)	MRT (1,5T)	LTFA LCF LTIFA	V akut

MRT: Magnetresonanztomographie N: normal; LTFA: Ligamentum talofibulare anterius; LCF: Ligamentum calcaneofibulare; LTFP: Ligamentum Talofibulare posterius; LTIFA: Ligamentum

Tibiofibulare anterius; LTIFP: Ligamentum tibiofibulare posterius; LTIFI: Ligamentum tibiofibulare interosseum; TR: Teilruptur; Ru: Ruptur; V: Verletzung (nicht näher definiert oder Zusammenlegung mehrerer Verletzungsmuster); Ver: Verstauchung; N/A: nicht angegeben

Tabelle 1b: Grundlegende Daten der inkludierten Studien Teil 2 [1-6,8,12,13,15,17].

Studie (Jahr/Land)	Anzahl der Teilnehmenden	Design	Alter (Mittelwert/Median)	Dauer
Wei-Tan et al. (2016/Singapur) [1]	82 (akut 40, chronisch 42)	Prospektiv	17-48 (25,3)	01/2012- 12/2014
Yan Xu et al. (2021/China) [2]	45	Prospektiv	18-58 (32,1)	02/2018- 04/2019
Ming Ni et al. (2022/China) [3]	1074 (130 im Test- Set) Eigengruppe 253 Fremdgruppe	Retro- spektiv	NA (31,5), Eigengruppe NA (32,3), Fremdgruppe	01/2015- 06/2021
Ka-Young Chun et al. (2015/Süd-Korea) [4]	50	Retro- spektiv	15-58 (35)	07/2011- 04/2014
Esmailian et al. (2021/Iran) [5]	31	Querschnitt -studie	20-40 (30)	10/2018- 03/2019
Baltes et al. (2020/Niederlande) [6]	91	Prospektiv	18-45 (25)	10/2017- 07/2019
Gün et al. (2013/Türkei) [8]	65	Prospektiv	18-72 (34,03)	01/2011- 12/2011
Oae et al. (2009/Japan) [12]	34 (19 akut, 15 chronisch)	Prospektiv	13-55 (29)	04/2004- 12/2006
Yong-Sang Kim et al. (2015/Süd-Korea) [13]	79	Kohorten- Studie	21-67 (34,6)	04/2012- 02/2013
Clanton et al. (2014/USA) [15]	21 (plus 10 gesunde Freiwillige)	Prospektiv	16-60 (35)	01/2010- 11/2013
Ergün et al. (2022/Türkei) [17]	30	Prospektiv	30 ± 6,4	27/06/2021 - 30/10/2021

Der Ablauf und Aufbau der Literaturrecherche wurde in Kapitel 6 „Material und Methoden“ beschrieben.

Insgesamt wurden 11 relevante Studien aus 8 verschiedenen Ländern gefunden [1-6,8,12,13,15,17].

7 Studien untersuchten dabei die MRT [1-4,12,13,15]. 5 Studien untersuchten die Sonographie [5,6,8,12,17]. Nur eine Studie untersuchte beide Verfahren [12].

Als Referenzstandard dienten in einem Fall intraoperative Befunde, dabei wurde die MRT untersucht [1]. In 5 Fällen wurde die Arthroskopie als Referenzstandard für die MRT allein gewählt [2-4,13,15]. Alle Studien, welche die Sonographie einzeln untersuchten, verwendeten die MRT als Referenzstandard [5,6,8,17]. Eine Studie untersuchte sowohl MRT als auch Sonographie, dabei wurde die Arthroskopie als Referenzstandard definiert [12].

Am häufigsten wurden die seitlichen Bänder untersucht, insbesondere das LTFA [1-6,8,12,13,15,17]. Dieses Band wurde in 8 Studien untersucht [1,2,5,6,8,12,13,17]. Das LCF wurde in 5 Studien untersucht [1,3,5,6,17]. Das LTFP wurde in einer Studie untersucht [5].

Verletzungen der Syndesmosebänder wurden in 4 Studien beurteilt [4,6,15,17]. Verletzungen des Ligamentum deltoideum kamen in einer Studie vor [4].

Insgesamt wurden die Daten von 1825 Teilnehmenden untersucht oder verwendet [1-6,8,12,13,15,17]. Ming Ni et al. hatten die meisten Teilnehmer (1327), davon wurden aber die Daten von 944 Teilnehmenden zum Trainieren des Algorithmus verwendet [3]. Die restlichen Studien kommen insgesamt auf 498 Teilnehmende [1,2,4-6,8,12,13,15,17]. Die geringste Teilnehmerzahl liegt bei 21 [15]. Der Median Wert für die Teilnehmerzahl aller Studien liegt bei 50 [1-6,8,12,13,15,17]. Das entspricht der Teilnehmerzahl von Ka-Young Chun et al. [4]. 7 Studien folgten einem prospektiven Design [1,2,6,8,12,15,17]. 2 Studien wurden retrospektiv durchgeführt [3,4]. Bei einer Studie handelte es sich um eine Querschnittstudie [5]. Eine weitere Studie wurde als Kohorten-Studie designt, es war allerdings nicht explizit angegeben, ob sie retrospektiv oder prospektiv durchgeführt wurde [13].

4 Studien beinhalteten ausschließlich akute Fälle [5,6,8,17]. 3 Studien fokussierten sich auf chronische Fälle [2,4,13]. 2 Studien behandelten akute und chronische Fälle [1,12]. Bei zwei Studien wurde nicht explizit erwähnt, ob akute und/oder chronische Fälle untersucht wurden [3,15].

3 Studien beinhalteten Daten zu den diagnostischen Eigenschaften in der Erkennung des Normalbefundes [1-3]. 7 Studien untersuchten die diagnostischen Eigenschaften in der Erkennung von Verletzungen [3-6,8,13,17]. Als „Verletzung“

wird hierbei eine Zusammenlegung mehrerer Verletzungsmuster, etwa teilweiser mit komplettem Bänderriss, bezeichnet oder wenn die genaue Art der untersuchten Verletzung nicht explizit gegeben war [3-6,8,13,17]. Vollständige Rupturen wurden in 5 Studien untersucht [1-3,6,15]. Teilrupturen wurden in 2 Studien untersucht [1,2]. In einer Studie wurden Verstauchungen untersucht [2]. Das mittlere oder mediane Alter der Teilnehmenden der inkludierten Studien reicht von 25-35 Jahre [1-6,8,12,13,15,17]. Das jüngste explizit erwähnte Alter war 13 Jahre [12]. Das höchste explizit erwähnte Alter lag bei 72 Jahren [8]. Die kürzeste Studie dauerte etwa 4 Monate [17]. Die längste Studie erstreckte sich über etwa 6,5 Jahre [3]. Im Schnitt dauerten die Studien 2 Jahre und 3,5 Monate [1-6,8,12,13,15,17].

7.2. Die MRT in der Diagnose von Bänderverletzungen des Sprunggelenkes

7.2.1. Seitenbänder

Wei Tan et al. untersuchte die diagnostische Genauigkeit der MRT verglichen mit intraoperativen Befunden bei einer Arthroskopie [1]. Für diese prospektiven Studie wurden 114 Betroffene evaluiert, die einer Wiederherstellung der Seitenbänder im Zeitraum von Jänner 2012 bis Dezember 2014 unterzogen wurden [1].

Die Inklusionskriterien für die Teilnehmenden umfassten:

1. Personen mit akuter Sprunggelenksverletzung [1].
2. Personen mit bleibender Symptomatik trotz konservativer Therapie über einen Zeitraum von 6 Wochen [1].
3. Personen mit positiven klinischen Befunden, die auf eine Verletzung der Seitenbänder des Sprunggelenks hindeuten [1].
4. Durchführung einer MRT-Untersuchung vor der Operation [1]
5. Wiederherstellung des LTFA und/oder des LCF mittels modifizierter Broström-Methode [1].

Ausgeschlossen wurden:

1. Personen mit früheren Sprunggelenks-Operationen [1].
2. Personen mit bereits diagnostizierter Bänderverletzung bei Vorstellung [1].

3. Personen mit einer neuen Verletzung im Zeitraum zwischen MRT und Operation [1].
4. Personen, an denen keine MRT durchgeführt wurde [1].
5. Personen, bei denen mittels MRT andere Verletzungen als LTFA/LCF-Verletzungen diagnostiziert wurden [1].

Somit waren 82 von 114 Personen für diese Studie geeignet [1].

Die Teilnehmenden wurden in eine akute und eine chronische Gruppe unterteilt [1]. Der Zeitpunkt zur Abgrenzung zwischen akuter und chronischer Gruppe lag bei 3 Monaten nach Verletzung [1]. In der akuten Gruppe fanden sich 40 und in der chronischen Gruppe 42 Teilnehmende [1]. Zwischen diesen beiden Gruppen wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt [1].

Die Bandverletzungen wurden folgendermaßen unterteilt:

1. Normalbefund [1].
2. Komplette Ruptur [1].
3. Teilruptur [1].

Bei allen Teilnehmenden wurde eine MRT-Untersuchung mit einem 3T-Magneten durchgeführt [1].

In dieser Studie konnten keine Verletzungen des LTFP festgestellt werden, deswegen können für dieses Band keine diagnostischen Werte angegeben werden [1].

Die ermittelten diagnostischen Werte finden sich in Tabelle 2 [1].

Tabelle 2: Diagnostische Kennzahlen der MRT bei verschiedenen Verletzungsgraden des LTFA und LCF, Wei-Tan et al. [1].

Verletzungsgrad	Ligament	Sensitivität (95%-KI)	Spezifität (95%-KI)	PPW (95%-KI)	NPW (95%-KI)	Genauigkeit (95%-KI)
Normal	LTFA	0% (0-94%)	86% (77-93%)	0% (0-32%)	99% (91-100%)	85% (N/A)
	LCF	85% (65-91%)	56% (42-69%)	49% (34-64%)	89% (72-96%)	66% (N/A)
Teilruptur	LTFA	64% (49-78%)	86% (70-95%)	85% (68-94%)	67% (51-79%)	74% (N/A)
	LCF	41% (25-58%)	87% (73-94%)	71% (48-88%)	64% (51-76%)	66% (N/A)
Komplette Ruptur	LTFA	78% (60-89%)	80% (66-90%)	76% (58-88%)	82% (67-91%)	79% (N/A)
	LCF	61% (36-81%)	95% (86-99%)	79% (49-94%)	90% (79-95%)	88% (N/A)

LTFA: Ligamentum talofibulare anterius; LCF: Ligamentum calcaneofibulare; 95%-KI: 95%-Konfidenzintervall; PPW: positiv prädiktiver Wert; NPW: negativ prädiktiver Wert; N/A: nicht angegeben.

Yan Xu et al. verglich die 2D MRT mit der 3D MRT in ihrer Genauigkeit in der Diagnose von Verletzungen der Seitenbänder in einer prospektiven Studie [2]. Die Arthroskopie diente hierbei als Referenzstandard [2].

Zu den Inklusionskriterien gehörten:

1. Persistierende Schmerzen und Schwellungen an der Außenseite des Sprunggelenks nach konservativer Therapie für mindestens 6 Wochen [2].
2. Positive klinische Testergebnisse, etwa vorderer Schubladentest oder Talus-Kippung [2].
3. Druckschmerz auf der lateralen Seite des Sprunggelenkes [2].
4. Verletzungen, die mindestens 6 Monate zuvor geschehen sind [2].
5. Wiederkehrende Verstauchungen oder mindestens 2 Verstauchungen desselben Sprunggelenkes [2].

Zu den Exklusionskriterien gehörten:

1. Bereits erfolgte Sprunggelenks-Operation [2].
2. Fraktur des Sprunggelenkes [2].

3. Rheumatischen Erkrankungen [2].

Im Zeitraum von Februar 2018 bis April 2019 wurden anhand dieser Kriterien 45 Personen im Alter von 18-58 Jahren in die Studie aufgenommen [2].

Alle Teilnehmenden wurden in Rückenlage mit dem Sprunggelenk in neutraler Stellung mit einer 3T MRT untersucht [2]. Dabei wurde jeweils eine 2D und eine 3D-Sequenz angefertigt [2]. Die Bilder wurden von 2 ärztlichen Fachkräften für Radiologie mit 11 bzw. 13 Jahren an Erfahrung in muskuloskelettaler Radiologie befundet, ohne dass klinische Hinweise bekannt waren [2].

Eine chirurgische Fachkraft mit 17 Jahren Erfahrung führte die Arthroskopie [2].

Die Befunde wurden in 4 Kategorien eingeteilt:

1. Normalbefund [2].
2. Verstauchung [2].
3. Teilruptur [2].
4. Komplette Ruptur [2].

Die Arthroskopie konnte 8 normale, 7 verstauchte, 14 inkomplett gerissene und 16 komplette Risse des LTFA feststellen [2].

In dieser Studie konnte ein signifikanter Unterschied zwischen 2D und 3D-MRT zugunsten der 3D-MRT in der Diagnose von Verstauchungen und Teilrupturen festgestellt werden [2].

Alle ermittelten diagnostischen Werte dieser Studien finden sich in Tabelle 3 [2]. Konfidenzintervalle wurden nicht angegeben [2].

Tabelle 3: Diagnostische Kennzahlen der 2D-MRT und 3D-MRT bei verschiedenen Verletzungsgraden des LTFA, Yan-Xu et al. [2].

Verletzungsgrad	Methode	Sensitivität (95%-KI)	Spezifität (95%-KI)	PPW (95%-KI)	NPW (95%-KI)	Genauigkeit (95%-KI)
Normal	2D-MRT	50% (N/A)	97% (N/A)	88% (N/A)	81% (N/A)	82% (N/A)
	3D-MRT	89% (N/A)	100% (N/A)	100% (N/A)	97% (N/A)	98% (N/A)
Verstauchung	2D-MRT	75% (N/A)	93% (N/A)	43% (N/A)	97% (N/A)	89% (N/A)
	3D-MRT	100% (N/A)	97% (N/A)	86% (N/A)	100% (N/A)	98% (N/A)
Teilruptur	2D-MRT	70% (N/A)	80% (N/A)	50% (N/A)	90% (N/A)	78% (N/A)
	3D-MRT	78% (N/A)	100% (N/A)	100% (N/A)	87% (N/A)	91% (N/A)
Komplette Ruptur	2D-MRT	41% (N/A)	68% (N/A)	44% (N/A)	66% (N/A)	58% (N/A)
	3D-MRT	83% (N/A)	82% (N/A)	63% (N/A)	93% (N/A)	82% (N/A)

2D-MRT: 2D-Magnetresonanztomographie; 3D-MRT: 3D-Magnetresonanztomographie; 95%-KI: 95%-Konfidenzintervall; PPW: positiv prädiktiver Wert; NPW: negativ prädiktiver Wert; N/A: nicht angegeben.

Ming Ni et al. führten 2023 eine retrospektive Studie durch, die den Einsatz eines Deep-Learning-Algorithmus (LeNet-5) zur Diagnose von Verletzungen des LCF anhand von MRT-Bildern untersuchen sollte [3]. Dazu wurden Daten von 1160 Betroffenen ausgewählt, die im Zeitraum von Jänner 2015 bis Juni 2021 sowohl eine MRT als auch eine Arthroskopie erhalten hatten [3].

Eingeschlossen wurden:

1. Daten von Personen, bei denen eine MRT-Untersuchung 3 Monate vor der Arthroskopie durchgeführt wurde [3].
2. Daten von Personen, bei denen die chirurgischen Aufzeichnungen der Arthroskopie vollständig waren [3].

Ausgeschlossen wurden:

1. Daten von Personen mit rheumatoider Arthritis oder lokalen Tumoren [3].
2. Daten von Personen mit vorangegangener Sprunggelenks-Operation [3].
3. Daten von Personen mit Frakturen [3].
4. Bilder von schlechter Qualität [3].

Nach Anwendung dieser Kriterien blieben die Daten von 1074 Personen übrig [3]. Basierend auf den arthroskopischen Befunden wurden die Befunde der Teilnehmenden in 3 Klassen eingeteilt:

1. Klasse 0: Normalbefund [3].
2. Klasse 1: degenerierte, verstauchte und inkomplett rupturierte Bänder [3].
3. Klasse 2: komplette Ruptur des LCF [3].

Anschließend wurden die Daten der Eigengruppe für den Algorithmus in ein Trainings-Set ein Validierungs-Set und ein Test-Set im Verhältnis 8:1:1 aufgeteilt [3].

Zusätzlich wurde eine Fremdgruppe aus 2 anderen Spitälern inkludiert [3]. Diese Fremdgruppe bestand aus 253 weiteren Betroffenen [3].

Die Ein- und Ausschlusskriterien sowie der Zeitraum der Datenextraktion in der Fremdgruppe waren ident zu denen der Eigengruppe [3].

Ziel dieser Fremdgruppe war es den Algorithmus auf seine Anwendbarkeit außerhalb der Eigengruppe zu überprüfen [3].

Die MRT-Bilder der Eigengruppe wurden mit einem 3T-MRT-Gerät angefertigt, die der Fremdgruppe mit einem 1,5T- und einem 3T-MRT-Gerät [3]. Die Bilder in beiden Gruppen wurden in identer Ansicht und Sequenz erstellt [3].

Die Bilder beider Gruppen wurden von 2 ärztlichen radiologischen Fachkräften mit jeweils 15 Jahren Erfahrung und 2 ärztlichen radiologischen Fachkräften mit jeweils 5 Jahren Erfahrung in MSK-Radiologie befundet [3].

Zur Bestimmung der diagnostischen Werte wurden einerseits das Test-Set der Eigengruppe (130 Betroffene) sowie die Fremdgruppe verwendet [3].

Der Algorithmus konnte die MRT-Bilder der Eigengruppe innerhalb von 28,6s und die Bilder der Fremdgruppe innerhalb von 68,31s befunden [3].

Das radiologische Fachpersonal benötigten zur Befundung der Eigengruppe zwischen 3,9 und 4,6h sowie 7,7-9,4h für die Befundung der Fremdgruppe [3].

Konfidenzintervalle waren in dieser Studie nicht gegeben [3].

Zwischen dem Algorithmus und allen radiologischen Fachkräften besteht in der Eigengruppe ein signifikanter Unterschied [3]. Der Algorithmus konnte dabei die besseren Ergebnisse erzielen [3]. Die diagnostischen Werte zur Eigengruppe finden sich in Tabelle 4 [3].

Tabelle 4: Diagnostische Werte des Deep-Learning Algorithmus und der 4 ärztlichen radiologischen Fachkräfte bei verschiedenen Verletzungen des LCF in der Eigengruppe, Ming-Ni et al. [3].

Auswertende	Klasse	Sensitivität (95%-KI)	Spezifität (95%-KI)	Genauigkeit (95%-KI)
LeNet-5	0	89% (N/A)	99% (N/A)	95% (N/A)
	1	97% (N/A)	97% (N/A)	97% (N/A)
	2	97% (N/A)	95% (N/A)	96% (N/A)
Radiologische Fachkraft 1	0	90% (N/A)	95% (N/A)	93% (N/A)
	1	86% (N/A)	93% (N/A)	92% (N/A)
	2	92% (N/A)	99% (N/A)	95% (N/A)
Radiologische Fachkraft 2	0	85% (N/A)	96% (N/A)	92% (N/A)
	1	82% (N/A)	90% (N/A)	88% (N/A)
	2	88% (N/A)	94% (N/A)	92% (N/A)
Radiologische Fachkraft 3	0	83% (N/A)	94% (N/A)	90% (N/A)
	1	68% (N/A)	85% (N/A)	82% (N/A)
	2	80% (N/A)	91% (N/A)	86% (N/A)
Radiologische Fachkraft 4	0	77% (N/A)	90% (N/A)	85% (N/A)
	1	68% (N/A)	87% (N/A)	84% (N/A)
	2	80% (N/A)	89% (N/A)	85% (N/A)

95%-KI: 95%-Konfidenzintervall; Klasse 0: Normalbefund; Klasse 1: degenerierte, verstauchte und inkomplett gerissen; Klasse 2: komplett gerissen; N/A: nicht angegeben.

Zwischen dem Algorithmus und den weniger erfahrenen radiologischen Fachkräften besteht ein signifikanter Unterschied in der Diagnose der Bilder der Fremdgruppe [3].

Das Deep-Learning-Modell eignet sich in der Fremdgruppe besser zur Diagnose als die radiologischen Fachkräfte mit wenig Erfahrung, während die Ergebnisse des Algorithmus vergleichbar waren mit denen der erfahrenen radiologischen Fachkräfte [3].

Die diagnostischen Werte der Fremdgruppe finden sich in Tabelle 5 [3].

Tabelle 5: Diagnostische Kennzahlen des Deep-Learning Algorithmus und der 4 ärztlichen radiologischen Fachkräften bei verschiedenen Verletzungen des LCF in der Fremdgruppe, Ming-Ni et al. [3].

Auswertende	Klasse	Sensitivität (95%-KI)	Spezifität (95%-KI)	Genauigkeit (95%-KI)
LeNet-5	0	91% (N/A)	98% (N/A)	97% (N/A)
	1	82% (N/A)	97% (N/A)	91% (N/A)
	2	93% (N/A)	86% (N/A)	89% (N/A)
Radiologische Fachkraft 1	0	83% (N/A)	98% (N/A)	95 % (N/A)
	1	88% (N/A)	91% (N/A)	90% (N/A)
	2	90% (N/A)	92% (N/A)	91% (N/A)
Radiologische Fachkraft 2	0	80% (N/A)	95% (N/A)	92% (N/A)
	1	89% (N/A)	90% (N/A)	90% (N/A)
	2	88% (N/A)	96% (N/A)	92% (N/A)
Radiologische Fachkraft 3	0	74% (N/A)	92% (N/A)	89% (N/A)
	1	81% (N/A)	86% (N/A)	84% (N/A)
	2	82% (N/A)	91% (N/A)	87% (N/A)
Radiologische Fachkraft 4	0	70% (N/A)	95% (N/A)	90% (N/A)
	1	82%(N/A)	83% (N/A)	83% (N/A)
	2	78% (N/A)	87% (N/A)	83% (N/A)

95%-KI: 95%-Konfidenzintervall; Klasse 0: Normalbefund; Klasse 1: degenerierte, verstauchte und inkomplett gerissen; Klasse 2: komplett gerissen.

Kazunori Oae et al. untersuchten 2009 MRT, Ultraschall und Stress-Radiographie als diagnostische Mittel zur Erkennung einer Verletzung des LTFA [12]. Dabei diente die Arthroskopie als Goldstandard [12].

Die Studie wurde prospektiv an 34 Personen durchgeführt, die zwischen April 2004 und Dezember 2006 untersucht und behandelt wurden [12].

Alle Teilnehmenden benötigten dabei eine Operation [12].

Fälle, in denen Frakturen vorlagen, wurden ausgeschlossen [12].

Das mittlere Alter betrug 29 Jahre, die Spannweite 13-55 Jahre [12].

Die Teilnehmenden wurden in eine akute und eine chronische Gruppe aufgeteilt [12]. Als akut galt ein Verletzungszeitpunkt innerhalb einer Woche vor Vorstellung

im Krankenhaus [12]. Als chronisch wurden mindestens 4 Wochen alte Verletzungen definiert [12]. Verletzungen, die zwischen 1 und 4 Wochen alt waren, wurden als subakut definiert und ausgeschlossen [12].

Insgesamt gab es 19 Fälle in der akuten Gruppe und 15 Fälle in der chronischen Gruppe [12].

Die Bildgebung wurde jeweils vor der Operation durchgeführt [12]. Eine ärztliche radiologische Fachkraft mit über 10 Jahren an Erfahrung in MSK-Radiologie befundete die MRT-Bilder blind gegenüber der jeweiligen Anamnese und den Ergebnissen der klinischen Untersuchung [12].

Die MRT-Untersuchungen wurden mittels 1,5T MRT-Gerät durchgeführt [12]. Es wurden axiale, koronale und sagittale Aufnahmen in Neutralstellung angefertigt [12]. Für die Diagnose von Verletzungen des LTFA zeigte die axiale Schnittführung die genauesten Ergebnisse [12].

Das Band musste mindestens eines der folgenden Kriterien in den MRT-Bildern aufweisen, um als verletzt zu gelten:

1. Diskontinuität [12].
2. Wellige oder kurvige Kontur [12].
3. Verstärkte Intensität des Signals im Band [12].

In der akuten Gruppe gab es keine falsch-positiven Ergebnisse für die MRT [12].

In der chronischen Gruppe gab es 12 richtig-positive, 2 richtig-negative, 0 falsch-positive und 1 falsch-negative Diagnose [12].

Die diagnostischen Werte finden sich in Tabelle 6 [12]. Konfidenzintervalle waren nicht angegeben [12].

Tabelle 6: Die diagnostischen Werte der MRT bei Verletzungen des LTFA, Oae et al. [12].

Verletzungsart	Sensitivität (95%-KI)	Spezifität (95%-KI)	Genauigkeit (95%-KI)
Akut	100% (N/A)	100% (N/A)	100% (N/A)
Chronisch	92% (N/A)	100% (N/A)	93% (N/A)
Insgesamt	97% (N/A)	100% (N/A)	97% (N/A)

95%-KI: 95%-Konfidenzintervall; N/A: nicht angegeben.

Yong Sang Kim et al. veröffentlichten 2015 eine Studie über die diagnostische Genauigkeit der MRT bei Verletzungen des LTFA [13]. In dieser Studie wurde die Arthroskopie als Gold-Standard verwendet [13].

79 Personen, die zwischen April 2012 und Februar 2013 eine MRT-Untersuchung sowie eine Arthroskopie erhalten hatten, wurden in diese Studie aufgenommen [13].

Die Arthroskopie musste dabei innerhalb von 50 Tagen nach der MRT-Untersuchung stattgefunden haben [13].

Ausgeschlossen wurden:

1. Personen mit vorangegangenen Operationen [13].
2. Personen mit Os fibulare [13].
3. Personen, die vor der Operation bereits primär konservativ behandelt wurden [13].

Für die MRT wurde ein 1,5T-MRT-Gerät verwendet [13]. Die Bilder wurden anschließend von 2 ärztlichen Fachkräften für MSK-Radiologie mit 8 bzw. 5 Jahren an Erfahrung beurteilt [13]. Dabei waren sie blind gegenüber der Anamnese und den Befunden der klinischen Untersuchung [13].

Als Diagnosekriterien für eine Verletzung mittels MRT galten:

1. Nicht-Sichtbarkeit des Bandes [13].
2. Diskontinuität des Bandes [13].
3. Wellige oder kurvige Erscheinung des Bandes sowie [13].
4. Verstärkte Signal-Intensität im Band [13].

Zusätzlich wurde in dieser Studie die Übereinstimmung der beiden radiologischen Fachkräfte bestimmt [13]. Diese liegt bei 91,5% (95%-KI: 86,7-94,6%, $p < 0,001$), und liegt damit im exzellenten Bereich [13]. Die Daten aus dieser Studie sind in Tabelle 7 abgebildet [13].

Tabelle 7: Diagnostische Werte der MRT bei Verletzungen des LTFA, Yong-Sam Kim et al. [13].

Auswertende	Sensitivität (95%-KI)	Spezifität (95%-KI)	PPW (95%-KI)	NPW (95%-KI)	Genauigkeit (95%-KI)
Radiologische Fachkraft A	83,6% (71,2-92,2%)	91,7% (73,0-99,0%)	95,8% (85,7-99,5%)	71% (51,6-86,0%)	86,1% (78,3-94,0%)
Radiologische Fachkraft B	76,4% (63,0-86,8%)	83,3% (62,6-95,3%)	91,3% (79,2-97,6%)	60,6% (42,1-77,1%)	78,5% (66,3-85,8%)

95%-KI: 95%-Konfidenzintervall; PPW: positiv prädiktiver Wert; NPW: negativ prädiktiver Wert

7.2.2. Syndesmosebänder

Ka-Young Chun et al. untersuchten 2015 die diagnostische Genauigkeit der MRT in der Erkennung von Verletzungen der Syndesmose und des Ligamentum deltoideum [4]. Zusätzlich wurde in dieser Studie die Prävalenz von Verletzungen dieser beiden Bänder bei chronischer lateraler Instabilität im OSG untersucht [4]. Die Arthroskopie diente als Referenzstandard [4].

Die Studie begann mit 56 Personen, die zwischen Juli 2011 und April 2014 wegen chronischer Instabilität des OSG operiert wurden und von denen eine präoperative MRT-Untersuchung durchgeführt wurde [4].

Eine Broström-OP sowie eine Arthroskopie wurde bei allen Teilnehmenden durchgeführt [4].

6 Personen wurden exkludiert [4]. Gründe dafür waren:

1. Vorgegangene Operationen des betroffenen Sprunggelenkes [4].
2. Frakturen [4].
3. Infektionen oder eine systemische Pathologie (z.B. inflammatorische Arthritis) [4].

Schlussendlich wurden 50 Personen zur Teilnahme an der Studie zugelassen [4].

Für die MRT wurde ein 3T-MRT-Gerät verwendet [4]. Die Teilnehmenden wurden dabei in Rückenlage mit dem Sprunggelenk in Neutralposition untersucht [4]. Zur Bildgebung wurden mehrere Sequenzen und Schnittführungen verwendet [4].

Die MRT-Bilder wurden von 2 ärztlichen radiologischen Fachkräften mit 11 bzw. 3 Jahren an Erfahrung befundet [4]. Sie hatten kein Wissen über die Symptome oder über die chirurgischen Befunde der Teilnehmenden [4].

Die Arthroskopie wurde von 2 ärztlichen orthopädischen Fachkräften durchgeführt, welche sich auf Fuß- und Sprunggelenkseingriffe spezialisiert haben [4]. Es wurden jeweils die Seitenbänder, die distale tibiofibuläre Syndesmose und die medialen Bänder beurteilt [4].

Kriterien zur Erkennung einer Verletzung in der MRT umfassten:

1. Verdicktes oder ausgedünntes Band [4].
2. Diskontinuität [4].
3. Nicht-Sichtbarkeit [4].
4. Signaländerung [4].
5. Schlaaffe Bandstruktur [4].

Die Daten aus dieser Studie sind in Tabelle 8 abgebildet [4]. Konfidenzintervalle waren nicht gegeben [4].

Tabelle 8: Diagnostische Kennzahlen der MRT in der Diagnose von Verletzungen der Syndesmose, Ka-Young Chun et al. [4].

Ligament	Sensitivität (95%-KI)	Spezifität (95%-KI)	Genauigkeit (95%-KI)
LTIFA	91% (N/A)	100% (N/A)	N/A

LTIFA: Ligamentum tibiofibulare anterius; 95%-KI: 95%-Konfidenzintervall; N/A: nicht angegeben.

Clanton et al. untersuchten die MRT in der Diagnose von Verletzungen der Syndesmose [15]. Zusätzlich wurde auch eine asymptomatische Gruppe untersucht, um die physiologische Anatomie in der MRT darstellen zu können [15]. Die Studie wurde 2014 veröffentlicht [15]. Die Arthroskopie diente als Goldstandard [15].

21 Personen, welche zwischen Jänner 2010 und November 2013 aufgrund einer Verletzung der Syndesmose operieren ließen, wurden in diese Studie aufgenommen [15].

Zuvor musste eine präoperative MRT-Untersuchung durchgeführt worden sein [15]. Eine einzelne ärztliche orthopädische Fachkraft operierte alle Teilnehmenden [15]. Eine einzelne ärztliche radiologische Fachkraft befundete alle Bilder [15]. Bei allen bis auf einer teilnehmenden Person wurde die arthroskopische Operation höchstens 2 Monate nach dem MRT-Termin durchgeführt [15]. Bei der Ausnahme fand die Arthroskopie 4 Monate nach der MRT statt [15].

Für die Untersuchung der physiologischen Anatomie wurden 10 Freiwillige rekrutiert [15]. Nachdem keiner dieser Freiwilligen eine Arthroskopie benötigte, wurden die Daten der Freiwilligen in der Endbeurteilung nicht berücksichtigt [15]. Die Betroffenen sowie die Freiwilligen wurden einer 3,0T-MRT Untersuchung unterzogen [15]. Die Untersuchungen fanden in Rückenlage statt [15].

Um die Therapie der Betroffenen nicht zu beeinträchtigen, wurde die operierende Fachkraft gegenüber den Ergebnissen der MRT nicht verblindet [15].

Für die Diagnose eines Bänderrisses mittels MRT, musste mindestens eines der folgenden Kriterien zutreffen:

1. Diskontinuität [15].
2. Nicht-Sichtbarkeit auf Höhe des Tibiaplafond [15].

Verstauchungen oder Narben wurden folgendermaßen definiert:

1. Irreguläre Ränder [15].
2. Verstärktes Signal [15].
3. Verlängerter Kontur [15].

Konfidenzintervalle waren nicht gegeben [15]. Die diagnostischen Werte aus dieser Studie finden sich in Tabelle 9 [15]. Aufgrund einer zu geringen Anzahl an arthroskopisch bestätigten Verletzungen des LTIFP konnte die Sensitivität nicht berechnet werden [15].

Tabelle 9: Diagnostische Werte der MRT bei Verletzungen der Syndesmosebänder, Clanton et al. [15].

Ligament	Sensitivität (95%-KI)	Spezifität (95%-KI)	PPW (95%-KI)	NPW (95%-KI)	Genauigkeit (95%-KI)
LTIFA	87,5% (N/A)	100% (N/A)	100% (N/A)	71,4 % (N/A)	90,5% (N/A)
LTIFP	N/A	95,2 % (N/A)	0,0% (N/A)	100% (N/A)	95,2 % (N/A)
LTIFI	66,7% (N/A)	86,7 % (N/A)	66,7 % (N/A)	86,7 % (N/A)	81,0% (N/A)

LTIFA: Ligamentum tibiofibulare anterius; LTIFP: Ligamentum tibiofibulare posterius; Ligamentum tibiofibulare interosseum; 95%-KI: 95%-Konfidenzintervall; N/A: nicht angeben; PPW: positiv prädiktiver Wert; NPW: negativ prädiktiver Wert

7.2.3. Ligamentum deltoideum

Ka-Young Chun et al. untersuchten 2015 die MRT in der Diagnose von Verletzungen des Ligamentum deltoideum [4]. Diese Studie wird im Kapitel 7.1.2. beschrieben. Konfidenzintervalle waren nicht gegeben [4]. Die ermittelten diagnostischen Daten dieser Studie befinden sich in Tabelle 10 [4].

Tabelle 10: Diagnostische Kennzahlen der MRT in der Diagnose von Verletzungen des Ligamentum deltoideum, Ka-Young Chun et al. [4].

Sensitivität (95%-KI)	Spezifität (95%-KI)	Genauigkeit (95%-KI)
84% (N/A)	93,5% (N/A)	N/A

95%-KI: 95%-Konfidenzintervall; N/A: nicht angegeben.

7.3. Die Sonographie in der Diagnose von Bänderverletzungen des Sprunggelenkes

7.3.1. Seitenbänder

2021 untersuchten Esmailian et al. die Sonographie in der Diagnose von Sprunggelenksverletzungen [5]. Als Referenzstandard wurde die MRT verwendet [5].

Zwischen Oktober 2018 und März 2019 wurden 31 Personen in diese Studie aufgenommen [5].

Die Inklusionskriterien wurden folgend definiert:

1. Personen über 18 mit traumatischer Sprunggelenksverletzung [5].
2. Personen, bei denen keine Suchterkrankung vorliegt [5].
3. Untersuchung mit MRT und Sonographie [5].

Ausgeschlossen wurden:

1. Personen, bei denen die Bildgebung nicht in der ersten Woche nach Verletzung stattfand [5].
2. Personen, bei denen nur eine Form der Bildgebung durchgeführt wurde [5].
3. Personen, bei denen die Berichte zu MRT oder Ultraschall nicht aussagekräftig waren [5].

In dieser Studie wurden das LTFA, das LCF und das LTFP untersucht [5]. Vor der MRT-Untersuchung wurden die Teilnehmenden mittels Sonographie untersucht [5]. Dabei wurde eine Linearsonde mit einer Frequenz von 7,5MHz verwendet [5].

Das LTFP wurde in Rückenlage, flektiertem Knie und flach aufliegender plantarer Fläche des Fußes untersucht [5]. Das LTFA wurde mit leichter Inversion des Fußes beurteilt und das LCF in Innenrotation [5].

Für die MRT wurde ein 1,5T Gerät verwendet [5].

Rupturen und Teilrupturen wurden als Verletzung definiert [5].

Die ärztlichen radiologischen Fachkräfte welche die MRT- und Ultraschallbilder befundeten, waren gegenüber den Ergebnissen der jeweils anderen Bildgebung blind [5]. Eine weitere ärztliche radiologische Fachkraft befundete 10% der Ultraschall-Bilder blind gegenüber den initialen Ergebnissen [5]. Bei den MRT-Bildern wurde ebenso vorgegangen [5].

Weiters wurde ein Kappa-Test für die Übereinstimmung der beiden Verfahren ausgeführt [5]. Er ergab einen Wert von 0,51 für das LTFA, 0,35 für das LTFP und 0,63 für das CFL [5]. Der p-Wert für die Kappa-Tests war jeweils unter 0,05 [5]. Die ermittelten Daten dieser Studie finden sich in Tabelle 11 [5]. Konfidenzintervalle wurden nicht angegeben [5].

Tabelle 11: Diagnostische Werte der Sonographie in der Diagnose von Verletzungen der Seitenbänder, Esmailian et al. [5].

Ligament	Sensitivität (95%-KI)	Spezifität (95%-KI)	PPW (95%-KI)	NPW (95%-KI)	Genauigkeit (95%-KI)
LTFA	66,67% (N/A)	92,86% (N/A)	50,0% (N/A)	96.30% (N/A)	N/A
LCF	100% (N/A)	93.10% (N/A)	50,0% (N/A)	100% (N/A)	N/A
LTFP	50,0% (N/A)	93.10% (N/A)	33.33% (N/A)	96.43% (N/A)	N/A

LTFA: Ligamentum talofibulare anterius; LCF: Ligamentum calcaneofibulare; LTFP: Ligamentum talofibulare posterius; 95%-KI: 95%-Konfidenzintervall; PPW: positiv prädiktiver Wert; NPW: negativ prädiktiver Wert; N/A: nicht angegeben

Baltes et al. untersuchte 2020 die diagnostische Genauigkeit der Sonographie in der Diagnose von Verletzungen und kompletten Rissen des LTFA, des LCF und des LTIFA [6].

Alle Teilnehmenden wurden zwischen Oktober 2017 und Juli 2019 in einem auf Orthopädie und Sportmedizin spezialisierten Krankenhaus vorstellig [6]. Die MRT wurde als Referenz-Standard verwendet [6].

Die Einschlusskriterien waren:

1. Akute Verletzung des Sprunggelenkes beim Sport [6].
2. Alter über 18 Jahre [6].
3. Vorstellung innerhalb von 7 Tagen nach Verletzung [6].

Die Exklusionskriterien beinhalteten:

1. Frakturen [6].
2. MRT- oder Ultraschall-Untersuchung nicht innerhalb von 10 Tagen nach der Verletzung [6].

Schlussendlich wurden 92 Personen inkludiert [6].

Eine ärztliche radiologische Fachkraft mit 13 Jahren Erfahrung in MSK-Radiologie führte alle Ultraschall-Untersuchungen durch [6]. Für die Untersuchungen wurde ein Linearschallkopf mit einer Frequenz von 5-12MHz verwendet [6]. Die

Teilnehmenden wurden alle in Rückenlage mit 90° flektiertem Knie untersucht [6].

Für die MRT wurde ein 3T Gerät verwendet [6]. Es wurden sagittale, axiale und koronare Schnitte in verschiedenen Sequenzen angefertigt [6].

Eine einzelne ärztliche radiologische Fachkraft befundete die Ultraschall- und MRT-Bilder blind gegenüber der Klinik der Teilnehmenden [6]. Die MRT-Bilder wurden mindestens 28 Tagen nach der Ultraschall-Untersuchung beurteilt, um so eine Verblindung zu ermöglichen [6].

Jedes einzelne Band wurde anhand des Beurteilungsschemas nach Schneck beurteilt [6,7]. Um die diagnostische Wertigkeit bei kompletter Ruptur zu beurteilen, wurde dieses Beurteilungsschema in 2 Kategorien eingeteilt [6].

1. Keine komplette Ruptur (Schneck 0,1,2) [6,7].
2. Komplette Ruptur (Schneck 3) [6,7].

Um eine Analyse der diagnostischen Werte bei Verletzung der Bänder durchzuführen, wurde dasselbe Schema folgendermaßen eingeteilt:

1. Keine Verletzung (Schneck 0,1) [6,7].
2. Verletzung (Schneck 2,3) [6,7].

Die ermittelten Daten aus dieser Studie finden sich in Tabelle 12 [6].

Tabelle 12: Diagnostische Kennzahlen der Sonographie für verschiedene Verletzungen der Seitenbänder (LTFA & LCF), Baltes et al. [6].

Verletzungsgrad	Ligament	Sensitivität (95%-KI)	Spezifität (95%-KI)	PPW (95%-KI)	NPW (95%-KI)	Genauigkeit (95%-KI)
Kompletter Riss	LTFA	87% (74-95%)	69% (53-82%)	75% (61-85%)	84% (68-94%)	N/A
	LCF	29% (10-56%)	92% (83-97%)	45% (17-77%)	85% (76-92%)	N/A
Verletzung (allgemein)	LTFA	89% (77-95%)	87% (69-96%)	93% (82-98%)	79% (62-91%)	N/A
	LCF	49% (34-64%)	91% (79-97%)	85% (64-95%)	65% (52-76%)	N/A

LTFA: Ligamentum talofibulare anterius; LCF: Ligamentum calcaneofibulare; 95%-KI: 95%-Konfidenzintervall; PPW: positiv prädiktiver Wert; NPW: negativ prädiktiver Wert; N/A: nicht angegeben

Cem Gün et al. untersuchten 2011 die diagnostische Genauigkeit der Bedside-Sonographie in der Diagnose des LTFA [8]. Die MRT wurde hier als Referenzstandard verwendet [8].

Zwischen Jänner und Dezember 2011 wurden 65 Personen in die Studie aufgenommen [8].

Folgende Inklusionskriterien wurden definiert:

1. Alter über 18 Jahre [8]
2. Klinischer Verdacht einer LTFA-Verletzung [8].

Ausgeschlossen wurden:

1. Personen mit Frakturen oder offenen Wunden [8].
2. Minderjährige [8].

Die Ultraschall-Bilder wurden mit einer 7,5MHz Linearsonde erstellt [8].

Unverletzte Bänder wurden als hyperechogene Strukturen definiert [8].

Verletzungen wurden mindestens anhand eines der folgenden Kriterien definiert:

1. Diskontinuität des Bandes [8].
2. Hypoechogene Läsion im Band [8].

Die Sonographie erkannte 30 verletzte Bänder, welche alle von der MRT bestätigt wurden [8]. Von den 35 mittels Sonographie als unauffällig befundeten Bändern, wurden 2 in der MRT als verletzt erkannt [8].

Weiters schließt diese Studie, dass sich Bedside-Sonographie und MRT in der diagnostischen Genauigkeit nicht signifikant unterscheiden [8].

Die ermittelten diagnostischen Daten aus dieser Studie finden sich in Tabelle 13 [8].

Tabelle 13: Diagnostische Werte des Bedside-US in der Diagnose von Verletzungen des LTFA, Cem Gün et al. [8].

Sensitivität (95%-KI)	Spezifität (95%-KI)	PPW (95%-KI)	Genauigkeit (95%-KI)
93,8% (79,2-99,2%)	100% (89,4-100%)	100% (88,4-100%)	N/A

95%-KI: 95%-Konfidenzintervall; PPW: positiv prädiktiver Wert; N/A: nicht angegeben

Oae et al. untersuchte 2009 MRT, Ultraschall und Stress-Radiographie in der Diagnose von Verletzungen des LTFA [12]. Der Aufbau dieser Studie wird im Kapitel 7.2.1 beschrieben.

Die Ultraschall-Untersuchungen wurden mit einem 9MHz Linear-Schallkopf durchgeführt [12]. Der Schallkopf wurde sequenziell über dem LTFA und parallel

zur Fußsohle platziert, der Fuß wurde dabei leicht invertiert und plantar flektiert [12].

Eines der folgenden Kriterien musste zutreffen, um eine Verletzung zu diagnostizieren:

1. Diskontinuität des Bandes [12].
2. Hypoechogene Läsion im Band [12].

In der akuten Gruppe konnten 17 richtig-positive, 1 richtig-negative, 1 falsch-positive und 0 falsch negative Diagnosen gestellt werden [12].

In der chronischen Gruppe gab es 13 richtig-positive, 0 richtig-negative, 2 falsch-positive und 0 falsch-negative Diagnosen [12].

Die ermittelten Daten dieser Studien finden sich in Tabelle 14 [12]. Konfidenzintervalle wurden nicht angegeben [12].

Tabelle 14: Die diagnostischen Werte der Sonographie bei LTFA-Verletzungen, Oae et al. [12].

Verletzungsart	Sensitivität (95%-KI)	Spezifität (95%-KI)	Genauigkeit (95%-KI)
Akut	100%(N/A)	50% (N/A)	95% (N/A)
Chronisch	100% (N/A)	0% (N/A)	87% (N/A)
Insgesamt	100% (N/A)	33% (N/A)	91% (N/A)

95%-KI: 95%-Konfidenzintervall; N/A: nicht angegeben.

Ergün et al. untersuchten die diagnostischen Eigenschaften der Sonographie bei akuten Bänder-Verletzungen des Sprunggelenks [17]. Dabei wurde die MRT als Referenzstandard verwendet [17].

Alle Personen welche zwischen 27.6.2021 und 30.12.2021 zwischen 8:00 und 16:00 Uhr im Krankenhaus, in dem die Studie durchgeführt wurde, vorstellig wurden, wurden auf ihre Tauglichkeit für diese Studie beurteilt [17].

Folgende Inklusionskriterien wurden definiert:

1. Erstvorstellung innerhalb von 48h nach Verletzung [17].
2. Schmerzen, Schwellung oder Empfindlichkeit des Sprunggelenks [17].
3. Personen ab 18 Jahren [17].
4. Personen ohne chronische Instabilität und ohne neurovaskuläre Schäden [17].
5. Verletzung im Alltag oder beim Sport [17].

Folgende Exklusionskriterien wurden definiert:

1. Vorstellung 72 Stunden nach Verletzung [17].
2. Ablehnung der Teilnahme [17].
3. Ultraschall und/oder MRT waren nicht möglich [17].
4. Radiographische Verdacht einer Fraktur [17].

Insgesamt wurden so 30 Personen inkludiert [17].

Die Sonographie wurde sofort durchgeführt und die MRT-Untersuchung noch am selben Tag [17].

Eine einzelne ärztliche radiologische Fachkraft führte alle Ultraschall-Untersuchungen durch [17]. Diese Fachkraft hatte 2 Jahre an Erfahrung in MSK-Sonographie und war gegenüber den Ergebnissen der klinischen Untersuchungen blind [17]. Für die Untersuchungen wurde ein 5-12MHz Linear-Schallkopf verwendet [17]. Das LTFA, LCF und LTIFA wurden dabei untersucht [17]. Die Bänder wurden dabei in 4 Grade eingeteilt:

1. Grad 0: normal [17].
2. Grad 1: Ödem/verdickt [17].
3. Grad 2: teilweise gerissen [17].
4. Grad 3: komplett gerissen [17].

Für die Auswertung der diagnostischen Eigenschaften wurden die Grade 0 als normal und die Grade 1-3 als pathologisch eingestuft [17].

Die MRT wurde mit einem 1,5T Gerät durchgeführt [17]. Die Sequenzen und die Schnitte entsprachen dem Standard des Krankenhauses [17].

Eine weitere radiologische Fachkraft mit 5 Jahren Erfahrung in MSK-Radiologie befundete die MRT-Bilder [17]. Diese Fachkraft hatte keinen Zugang zu den Ergebnissen der Ultraschall-Untersuchung [17]. Auch hier wurden die Bänder anhand der oben genannten Einteilung beurteilt [17].

Die Korrelation zwischen Sonographie und MRT betrug für das LTFA 87,5% und für das LCF 87,9% [17].

Die ermittelten Daten aus dieser Studie finden sich in Tabelle 15 [17]. Konfidenzintervalle waren nicht gegeben [17].

Tabelle 15: Diagnostische Kennzahlen der Sonographie bei Verletzungen des LCF und LTFA, Ergün et al. [17].

Ligament	Sensitivität (95%-KI)	Spezifität (95%-KI)	PPW (95%-KI)	NPW (95%-KI)	Genauigkeit (95%-KI)
LTFA	95,4% (N/A)	75% (N/A)	91,3% (N/A)	85,7% (N/A)	N/A
LCF	76,9% (N/A)	100% (N/A)	100% (N/A)	85% (N/A)	N/A

LTFA: Ligamentum talofibulare anterius; LCF: Ligamentum calcaneofibulare; 95%-KI: 95%-Konfidenzintervall; PPW: positiv prädiktiver Wert; NPW: negativ prädiktiver Wert; N/A: nicht angegeben.

7.3.2. Syndesmosebänder

Baltes et al. untersuchte die Sonographie in der Diagnose von Rupturen und Verletzungen des LTIFA [6]. Die MRT wurde als Referenzstandard verwendet [6]. Auf den Aufbau dieser Studie wird in Kapitel 7.2.1 eingegangen.

Die ermittelten Daten dieser Studie finden sich in Tabelle 16 [6].

Tabelle 16: Diagnostische Kennzahlen der Sonographie für komplette Risse und Verletzungen des LTIFA der Syndesmose, Baltes et al [6].

Verletzung	Sensitivität (95%-KI)	Spezifität (95%-KI)	PPW (95%-KI)	NPW (95%-KI)	Genauigkeit (95%-KI)
Komplette Risse	100% (74-100%)	100% (95-100%)	100% (74-100%)	100% (95-100%)	N/A
Verletzung	86% (56-97%)	100% (94-100%)	100% (70-100%)	98% (90-100%)	N/A

95%-Konfidenzintervall; PPW: positiv prädiktiver Wert; NPW: negativ prädiktiver Wert; N/A: nicht angegeben.

Für die dynamische Messung wurden Aufnahmen in Neutralposition, Außen- und Innenrotation durchgeführt [6]. Dabei wurde der tibiofibuläre Abstand beurteilt [6]. Die Differenz zwischen Neutralposition und Innen- sowie Außenrotation ergaben die dynamischen Werte [6]. Die Messungen wurden am unverletzten und verletzten Sprunggelenk durchgeführt, um einen Seitenvergleich zu ermöglichen [6]. Es wurden einerseits der tibiofibuläre Abstand am verletzten Gelenk und die Differenz des tibiofibulären Abstandes zwischen unverletztem und verletztem Gelenk beurteilt [6].

Die Messungen wurden an 83-89 (von 92) Teilnehmenden durchgeführt [6].

Die Teilnehmenden wurden anhand ihrer MRT-Befunde in 2 Gruppen eingeteilt: Gruppe A (kein kompletter Riss des LTIFA) und Gruppe B (kompletter Riss des LTIFA) [6].

Man konnte feststellen, dass die Seitendifferenz in Außenrotation die besten Ergebnisse in der dynamischen Sonographie ergibt [6]. Weiters schließt man, dass dynamischer Ultraschall schlechtere diagnostische Werte als Standard-Ultraschall erzielt [6].

In der Studie von Ergün et al. wurde weiters die Sonographie in der Diagnose von Verletzungen des LTIFA untersucht [17]. Diese Studie wird im Kapitel 7.3.1. detailliert beschrieben.

Die Korrelation zwischen Sonographie und MRT betrug 85,8% [17]. Die ermittelten Daten aus dieser Studie finden sich in Tabelle 17 [17]. Konfidenzintervalle wurden nicht angegeben [17].

Tabelle 17: Die diagnostischen Werte der Sonographie bei Verletzungen des LTIFA, Ergün et al. [17].

Sensitivität (95%-KI)	Spezifität (95%-KI)	PPW (95%-KI)	NPW (95%-KI)	Genauigkeit (95%-KI)
100% (N/A)	35% (N/A)	43,4% (N/A)	100% (N/A)	N/A

95%-KI: 95%-Konfidenzintervall; PPW: positiv prädiktiver Wert; NPW: negativ prädiktiver Wert; N/A: nicht angegeben.

7.3.3. Ligamentum deltoideum

Es konnten keine Open-Access Quellen gefunden werden, die den Einschlusskriterien dieser Diplomarbeit entsprachen.

7.4. Deskriptive Synthese von Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit von MRT und Sonographie bei Verletzungen der Bänder im OSG

7.4.1. QUADAS-2 Assessment

Abbildung 1: QUADAS-2-Assessment der inkludierten Studien [1-6,8,12,13,15,17,41].

Studie	Risiko für Bias				Bedenken der Anwendbarkeit		
	Auswahl der Teilnehmenden	Testverfahren	Referenz-Standard	Fluss und Timing	Auswahl der Teilnehmenden	Testverfahren	Referenzstandard
Wei-Tan et al. (2016) [1]							
Yan-Xu et al. (2021) [2]							
Ming-Ni et al. (2022) [3]							
Ka-Young Chun et al. (2015) [4]							
Esmailian et al. (2021) [5]							
Baltes et al. (2020) [6]							
Cem Gün et al. (2013) [8]							
Oae et al. (2009) [12]							
Yong-Sam Kim et al. (2015) [13]							
Clanton et al. (2014) [15]							
Ergün et al. (2022) [17]							
	Niedriges Risiko		Unklares Risiko		Hohes Risiko		

1. Auswahl der Teilnehmenden [41].

- a) Wurde eine konsekutive oder zufällige Auswahl der Teilnehmenden getroffen [41]?

Wei-Tan et al. verwendeten eine willkürliche Stichprobe [1]. Die restlichen inkludierten Studien wählten die Teilnehmenden zufällig oder konsekutiv aus [2-6,8,12,13,15,17].

- b) Wurde ein Fall-Kontroll-Design vermieden [41]?

Keine der inkludierten Studien verwendete ein Fall-Kontroll-Design [1-6,8,12,13,15,17]. In allen Studien wurden alle Teilnehmenden mit dem Testverfahren und dem Referenzstandard untersucht [1-6,8,12,13,15,17].

- c) Wurden unangemessene Exklusionen von Teilnehmenden vermieden [41]?

Baltes et al. inkludierte ausschließlich Betroffene, die Sport betreiben [6]. Die restlichen Studien vermieden unangemessene Exklusionen [1-5,8,12,13,15,17].

- d) Sind die Kriterien für die Teilnahme an den jeweiligen Studien auf diesen Literaturreview anwendbar [41]?

Die Ein- und Ausschlusskriterien der jeweiligen Studien befinden sich im Rahmen der Ein- und Ausschlusskriterien dieser Diplomarbeit [1-6,8,12,13,15,17].

Wei-Tan et al. und Baltes et al. beantworteten jeweils eine Frage ablehnend, somit ist hier von einem hohen Risiko für Bias auszugehen [1,6,41]. Alle anderen Studien beantworteten alle Fragen positiv, was für ein niedriges Risiko für Bias in

dieser Kategorie spricht [2-6,8,12,13,15,17,41]. Alle Studien sind gut auf diese Diplomarbeit anwendbar [1-6,8,12,13,15,17,41].

2. Testverfahren [41].

- a) Wurden die Befunde des Testverfahrens ohne Kenntnisse der Befunde des Referenzstandard interpretiert [41]?

Wei-Tan et al. und Ming-Ni et al. erwähnen nicht, ob eine Verblindung stattfand [1,3]. Cem Gün et al. berichten, dass keine Verblindung gegenüber der Symptomatik der Betroffenen stattfand [8]. In den restlichen Studien fand eine Verblindung des Testverfahrens statt [2,4,5,6,12,13,15,17].

- b) Falls eine Schwelle benutzt wurde, wurde sie vordefiniert [41]?

Yan-Xu et al. verwendeten vordefinierte Kriterien für den Referenzstandard, es ist aber unklar, ob diese auch auf das Testverfahren angewandt wurden [2]. Die restlichen Studien verwendeten vordefinierte Kriterien zur Erkennung von Verletzungen [1,3-6,8,12,13,15,17].

- c) Ist das verwendete Testverfahren auf diesen Literaturreview anwendbar [41]?

Alle Studien untersuchten zumindest eines der beiden relevanten Verfahren, MRT und Sonographie, für diese Diplomarbeit [1-6,8,12,13,15,17]. Damit sind alle Studien anwendbar [1-6,8,12,13,15,17,41].

Wei-Tan et al., Yan-Xu et al., Ming-Ni et al. und Esmailian et al. konnten jeweils eine Frage in dieser Kategorie nicht deutlich beantworten, was insgesamt zu unklarem Risiko für Bias führt [1-3,5,41]. Cem Gün et al. beantworteten eine Frage ablehnend, was einem hohen Risiko für Bias entspricht [8,41]. Die restlichen Studien beantworteten alle Fragen zustimmend, was einem niedrigen Risiko für Bias entspricht [4-6,12,13,15,17,41]. Alle Studien sind in dieser Kategorie gut auf diese Diplomarbeit anwendbar [1-6,8,12,13,15,17,41].

3. Referenz-Standard [41].

- a) Ist der Referenz-Standard geeignet, um die gesuchte Pathologie zu erkennen [41]?

Arthroskopie wird als der Goldstandard in der Beurteilung von Gelenksstrukturen angesehen, weil sie einen direkten Blick auf die betroffenen Strukturen ermöglicht [44]. Die MRT wird als exzellentes Mittel angesehen, um anatomische Strukturen in Gelenken darzustellen und weist eine hohe Korrelation mit der Arthroskopie auf

[44]. Alle Studien verwendeten somit adäquate Referenz-Standards [1-6,8,12,13,15,17,44].

b) Wurden die Befunde des Referenzstandards ohne Kenntnis der Befunde des Testverfahrens interpretiert [41]?

Wei-Tan et al., Yan-Xu et al., Ming-Ni et al., Ka-Young Chun et al., Gün et al., Oae et al., Kim et al., erwähnen nicht, ob eine Verblindung des Referenzstandards stattfand [1-4,8,12,13]. Die restlichen Studien beinhalteten eine Verblindung des Referenzstandards [5,6,17]. Clanton et al. führten keine Verbindung des Referenzstandards durch [15].

c) Ist der Referenzstandard auf diesen Literaturreview anwendbar [41]?

Die verwendeten Referenzverfahren der jeweiligen Studien, intraoperative Befunde, Arthroskopie und MRT, sind deckungsgleich mit den Testverfahren, die in dieser Diplomarbeit als Referenzstandard akzeptiert werden [1-6,8,12,13,15,17].

Esmailian et al., Baltes et al. und Ergün et al. beantworteten alle Fragen in dieser Kategorie zustimmend, was einem niedrigen Risiko für Bias entspricht [5,6,17,41]. Clanton et al. beantworteten eine Frage ablehnend, dies entspricht einem hohen Risiko für Bias [15,41]. Die restlichen Studien beantworteten jeweils eine Frage nicht eindeutig, was hier zu einem insgesamt unklaren Risiko für Bias führt [1-4,8,12,13]. Alle Studien sind auf diese Diplomarbeit anwendbar [1-6,8,12,13,15,17,41].

4. Fluss und Timing [41].

a) Wurde ein angemessenes Intervall zwischen den Untersuchungen mit dem Testverfahren und dem Referenzstandard eingehalten [41]?

Wei-Tan et al., Yan-Xu et al., Ming-Ni et al., Esmailian et al. und Oae et al. geben kein Intervall zwischen MRT und Operation/Arthroskopie nicht an [1-3,5,12]. Man kann davon ausgehen, dass der Heilungsprozess von Bändern im OSG mindestens 6 Wochen bis 3 Monate beträgt, zu einem großen Teil auch bis zu einem Jahr [45]. Anhand dessen kann man von maximal 3 Monaten als angemessenes Intervall zwischen der Untersuchung mit dem Testverfahren und dem Referenzstandard ausgehen [41,45]. Alle restlichen Studien halten dieses Intervall ein [4,6,8,13,15,17].

b) Wurden alle Teilnehmenden mit demselben Referenzstandard untersucht [41]?

In allen inkludierten Studien wurden die Teilnehmenden mit dem jeweils selben Referenzstandard untersucht [1-6,8,12,13,15,17].

c) Wurden alle Teilnehmenden in die finale Analyse inkludiert [41]?

Baltes et al. inkludierten ihre Teilnehmenden teilweise vollständig [6]. Bei bis zu 4 Personen waren die jeweiligen dynamischen Messungen nicht durchführbar [6]. Die Frage wurde trotzdem als zustimmend bewertet, weil dynamische Messungen in dieser Diplomarbeit nicht im Hauptfokus liegen und der Hauptteil der betreffenden Studie konventionelle Schnitte beschreibt, in denen jeweils alle Teilnehmenden beurteilt wurden [6]. Die restlichen Studien inkludierten alle Teilnehmenden in die finale Analyse [1-5,8,12,13,15,17].

Wei-Tan et al., Yan-Xu et al. und Esmailian et al. konnten eine Frage nicht genau beantworten, was insgesamt zu einem unklaren Risiko für Bias führt [1,2,5,41]. Die restlichen Studien beantworteten alle Fragen zustimmend, was einem niedrigen Risiko für Bias in dieser Kategorie entspricht [3,4,6,8,12,13,15,17,41]. Das Protokoll findet sich im Anhang (Kapitel 10).

7.4.2. Deskriptive Synthese der diagnostischen Werte von MRT und Sonographie bei Verletzungen des LTFA

Die MRT zeigt je nach Studie eine Sensitivität von 0-89%, eine Spezifität von 86-100% und eine Genauigkeit von 82-98% in der Erkennung des Normalbefunds [1,2]. In der Erkennung von Verletzungen des LTFA erreicht die MRT in den gefundenen Studien eine Sensitivität von 80-97%, eine Spezifität von 87,5-100% und eine Genauigkeit von 82,3-100% [12,13].

Bei der Erkennung des Normalzustandes gibt es sehr wenig Ähnlichkeit zwischen den Studien [1,2]. Allerdings ist das 95%-KI von Wei-Tan et al. hier sehr breit und der Wert bezieht sich darauf, dass die einzige gesunde Person als verletzt diagnostiziert worden ist [1].

Die restlichen Werte ähneln sich in beiden Gruppen gut [1,2,12,13].

Die Details finden sich in Tabelle 18 [1,2,12,13,38].

Tabelle 18: Diagnostische Werte der MRT bei Verletzungen bzw. bei Erkennen des Normalzustandes des LTFA [1,2,12,13,38].

Verletzungsgrad	Studie	Sensitivität (95%-KI)	Spezifität (95%-KI)	Genauigkeit (95%-KI)
Normalzustand	Wei-Tan et al. (2016) [1]	0% (0-94%)	86% (77-93%)	85% (77,3-92,7%)*
	Yan-Xu et al. (2021), 2D MRT [2]	50% (15,4-84,6%)*	97% (n.b.)	82% (71-93%)*
	Yan-Xu et al. (2021), 3D MRT [2]	89% (n.b.)	100% (n.b.)	98% (n.b.)
Verletzung	Kazunori Oae et al. (2009) Insgesamt (akut & chronisch) [12]	97% (n.b.)	100% (n.b.)	97% (n.b.)
	Yong-Sam Kim et al. (2015)** [13]	80% (69,4-90,6%)*	87,5% (n.b.)	82,3% (73,6-90,4%)*

95%-KI: 95%-Konfidenzintervall; n.b.: Anhand der angegebenen Formeln nicht (sinnvoll) berechenbar [37,38]; *: anhand der angegebenen Formeln berechnet [37,38] **: Durchschnitt aus den Ergebnissen von 2 ärztlichen radiologischen Fachkräften;

Für Verletzungen des LTFA ergaben sich für die Sonographie eine Sensitivität von 66,67-100%, eine Spezifität von 33-100% und eine Genauigkeit von 88,3-96,9% [5,6,8,12,17,37]. Oae et al. ist hier die einzige Studie, welche die Sonographie mit der Arthroskopie vergleicht [12].

Ohne Oae et al. liegt die Sensitivität bei 66,67%- 95,4%, die Spezifität bei 75-100%, während die Werte zur Genauigkeit unverändert bleiben [5,6,8,12,17,37].

Die Werte der Genauigkeit ähneln sich, unabhängig von der Inklusion von Oae et al., sehr stark [5,6,8,12,17,37]. Bei den Werten zur Sensitivität weicht Esmailian et al. von den anderen Studien ab [5,6,8,12,17]. Oae et al. weicht in der Berechnung zur Spezifität stark und Ergün et al. leicht ab [5,6,8,12,17].

Die Details finden sich in Tabelle 19 [5,6,8,12,17,37,38].

Tabelle 19: Diagnostische Werte der Sonographie bei Verletzungen des LTFA [5,6,8,12,17,37,38].

Verletzungsgrad	Studie	Sensitivität (95%-KI)	Spezifität (95%-KI)	Genauigkeit (95%-KI)
Verletzung	Esmailian et al. (2021) [5]	66,67% (n.b.)	92,86% (n.b.)	90,3%* (n.b.)
	Baltes et al. (2020) [6]	89% (77-95)	87% (69-96%)	88,3%* (81,7-94,9%)*
	Cem Gün et al. (2011) [8]	93,8% (79,2-99,2%)	100% (89,4-100%)	96,9%* (n.b.)
	Kazunori Oae et al. (2009)** Insgesamt (akut & chronisch) [12]	100% (n.b.)	33% (n.b.)	91% (n.b.)
	Ergün et al. (2022) [17]	95,4% (n.b.)	75% (n.b.)	90%* (n.b.)

95%-KI: 95%-Konfidenzintervall; n.b.: Anhand der angegebenen Formeln nicht (sinnvoll) berechenbar [37,38]; *: anhand der angegebenen Formeln berechnet [37,38]; **: abweichender Referenzstandard

7.4.3. Deskriptive Synthese der diagnostischen Werte von MRT und Sonographie bei Verletzungen des LCF

Die MRT konnte den Normalbefund des LCF mit einer Sensitivität von 76,75-91%, einer Spezifität von 56-98% und einer Genauigkeit von 66-97% erkennen [1,3].

Wei-Tan et al. weicht in den Daten zur Spezifität und Genauigkeit ab, bei den Daten zur Sensitivität gibt es Ähnlichkeiten [1,3].

Die Details finden sich in Tabelle 20 [1,3,38].

Tabelle 20: Diagnostische Werte der MRT in der Erkennung des Normalzustandes des LCF [1,3,38].

Verletzungsgrad	Studie	Sensitivität (95%-KI)	Spezifität (95%-KI)	Genauigkeit (95%-KI)
Normalbefund	Wei-Tan et al. (2016) [1]	85% (65-91%)	56% (42-69%)	66% (55,7-76,3%)*
	Ming-Ni et al. (2022), LeNet-5, Fremdgruppe [3]	91% (n.b.)	98% (n.b.)	97% (94,9-99,1%)*
	Ming-Ni et al. (2022), Personal, Fremdgruppe [3]	76,75%** (n.b.)	95%** (n.b.)	91,5%** (87,6-94,4%)*

95%-KI: 95%-Konfidenzintervall; n.b.: Anhand der angegebenen Formeln nicht (sinnvoll) berechenbar [37,38]; *: anhand der angegebenen Formeln berechnet [38]; **: Durchschnitt aus den Ergebnissen von 4 ärztlichen radiologischen Fachkräften

Für Verletzungen des LCF ergaben sich für die Sonographie nach Studie eine Sensitivität von 49-100%, eine Spezifität von 91-100% und eine Genauigkeit von 70,5-93,5% [5,6,17,37].

Die Daten zur Spezifität ähneln sich in den 3 Studien [5,6,17]. Bei den Daten zur Sensitivität gibt es wenig Ähnlichkeiten [5,6,17]. Baltes et al. weicht in der Berechnung der Genauigkeit ab [6,37].

Die Details finden sich in Tabelle 21 [5,6,17,37,38].

Tabelle 21: Diagnostische Werte der Sonographie bei Verletzungen des LCF [5,6,17,37,38].

Verletzungsgrad	Studie	Sensitivität (95%-KI)	Spezifität (95%-KI)	Genauigkeit (95%-KI)
Verletzung	Esmailian et al. (2021) [5]	100% (n.b.)	93.10% (n.b.)	93,5%* (n.b.)
	Baltes et al. (2020) [6]	49% (34-64%)	91% (79-97%)	70,5%* (61,2-79,8%)*
	Ergün et al. (2022) [17]	76,9% (n.b.)	100% (n.b.)	90%* (n.b.)

95%-KI: 95%-Konfidenzintervall; n.b.: Anhand der angegebenen Formeln nicht (sinnvoll) berechenbar [37,38]; *: anhand der angegebenen Formeln berechnet [37,38]

7.4.4. Deskriptive Synthese der diagnostischen Werte von MRT und Sonographie bei Verletzungen des LTIFA

Es zeigte sich für Verletzungen des LTIFA eine Sensitivität von 87,5-91%, eine Spezifität von 100% und eine Genauigkeit von 90,5-96,2% für die MRT [4,15,37]. Bei Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit gibt es hier starke Ähnlichkeiten [4,15,37].

Die Details finden sich in Tabelle 22 [4,15,37,38].

Tabelle 22: Diagnostische Werte der MRT bei Verletzungen des LTIFA [4,15,37,38].

Verletzungsgrad	Studie	Sensitivität (95%-KI)	Spezifität (95%-KI)	Genauigkeit (95%-KI)
Verletzung	Ka-Young Chun et al. (2015) [4]	91% (n.b.)	100% (n.b.)	96,20%* (n.b.)
	Thomas Clanton et al. (2014) [15]	87,5% (n.b.)	100% (n.b.)	90,5%* (n.b.)

95%-KI: 95%-Konfidenzintervall; n.b.: Anhand der angegebenen Formeln nicht (sinnvoll) berechenbar [37,38]; *: anhand der angegebenen Formeln berechnet [37,38]

Die gefundenen Studien geben bei Verletzungen des LTIFA eine Sensitivität von 86-100%, eine Spezifität von 35-100% sowie eine berechnete Genauigkeit von 56,7-97,9% für die Sonographie an [6,17,37].

In den Daten zur Sensitivität gibt es Ähnlichkeiten, während die Daten zur Spezifität und Genauigkeit abweichen [6,17,37].

Die Details finden sich in Tabelle 23 [6,17,37,38].

Tabelle 23: Diagnostische Werte der Sonographie bei Verletzungen des LTIFA [6,17,37,38].

Verletzungsgrad	Studie	Sensitivität (95%-KI)	Spezifität (95%-KI)	Genauigkeit (95%-KI)
Verletzung	Baltes et al. (2020) [6]	86% (56-97%)	100% (94-100%)	97,9%* (n.b.)
	Ergün et al. (2022) [17]	100% (n.b.)	35% (14,1-55,9%)*	56,7%* (42-71,4%)*

95%-KI: 95%-Konfidenzintervall; n.b.: Anhand der angegebenen Formeln nicht (sinnvoll) berechenbar [37,38]; *: anhand der angegebenen Formeln berechnet [37,38]

8. Diskussion

8.1. Antworten auf die Forschungsfragen

8.1.1. Wie gut eignen sich MRT und Ultraschall in der Diagnostik von Bandverletzungen im oberen Sprunggelenk?

Die MRT zeigt je nach Studie eine Sensitivität von 0-89%, eine Spezifität von 86-100% und eine Genauigkeit von 82-98% in der Erkennung des Normalbefunds des LTFA [1,2]. In der Erkennung von Verletzungen des LTFA erreicht die MRT in den gefundenen Studien eine Sensitivität von 80-97%, eine Spezifität von 87,5-100% und eine Genauigkeit von 82,3-100% [12,13].

Die MRT konnte den Normalbefund des LCF mit einer Sensitivität von 76,75-91%, einer Spezifität von 56-98% und einer Genauigkeit von 66-97% erkennen [1,3].

Es zeigte sich für Verletzungen des LTIFA eine Sensitivität von 87,5-91%, eine Spezifität von 100% und eine Genauigkeit von 90,5-96,2% für die MRT [4,15,37].

Für Verletzungen des LTFA ergaben sich für die Sonographie eine Sensitivität von 66,67-100%, eine Spezifität von 33-100% und eine Genauigkeit von 88,3-96,9% [5,6,8,12,17,37]. Oae et al. ist hier die einzige Studie, welche die Sonographie mit der Arthroskopie vergleicht [12]. Ohne Oae et al. liegt die Sensitivität bei 66,67%- 95,4%, die Spezifität bei 75-100%, während die Werte zur Genauigkeit unverändert bleiben [5,6,8,12,17,37].

Für Verletzungen des LCF ergaben sich für die Sonographie nach Studie eine Sensitivität von 49-100%, eine Spezifität von 91-100% und eine Genauigkeit von 70,5-93,5% [5,6,17,37].

Die gefundenen Studien geben bei Verletzungen des LTIFA eine Sensitivität von 86-100%, eine Spezifität von 35-100% sowie eine berechnete Genauigkeit von 56,7-97,9% für die Sonographie an [6,17,37].

Für das Deltaband wurde nur eine Studie gefunden, diese gibt eine Sensitivität von 84% und eine Spezifität von 93,5% für die Erkennung von chronischen Verletzungen an [4]. Die Autoren schlussfolgern, dass die MRT für die Erkennung dieser Verletzungen ein hilfreiches Diagnosemittel ist [4].

Wei-Tan et al., Yan-Xu et al. und Oae et al. kommen zu dem Ergebnis, dass die MRT ein zuverlässiges und genaues Verfahren zur Diagnose von Verletzungen des LTFA ist [1,2,12].

Yong-Sam Kim et al. berichten, dass die MRT aufgrund niedriger Sensitivität und einem niedrigen NPV nicht geeignet ist, um Verletzungen des LTFA bei symptomatischen Betroffenen auszuschließen [13].

Wei-Tan et al. schreiben der MRT eine hohe Spezifität, aber geringe Sensitivität in der Diagnose von Verletzungen des LCF zu [1].

Ming-Ni et al. gaben keine Beurteilung zur Beurteilung der MRT als Methode ab [3]. Der Fokus dieser Arbeit lag auf dem Algorithmus [3].

Clanton et al. sprechen von der MRT als Verfahren mit exzellenter Genauigkeit in der Diagnose von Verletzungen der Syndesmose [15].

Ka-Young Chun et al. schätzen die MRT als hilfreich in der Diagnose dieser Verletzungen ein [4].

Oae et al. beurteilt die Sonographie als nützliches Verfahren zur Erkennung von Verletzungen des LTFA [12].

Esmailian et al. ist die einzige gefundene Studie, die Verletzungen des LTFA beurteilt [5]. Die Sonographie erreichte dabei eine Sensitivität von 50% und eine Spezifität von 93,5% [5]. Esmailian et al. schätzt die Sonographie als nützlich in der Erkennung von Verletzungen des LTFA und des LCF ein [5]. Für das LTFA wurden niedrigere diagnostische Werte als für die anderen beiden Bänder erzielt, trotzdem kann die Sonographie auch hier zum Einsatz kommen [5]. Eine Untersuchung mittels Sonographie nützt am meisten, wenn eine MRT nicht möglich ist [5].

Ultraschall eignet sich sehr gut für die Diagnose von kompletten Rissen des LTFA und des LTIFA der Syndesmose [6]. Ultraschall kann im Screening von Verletzungen dieser beiden Bänder verwendet werden [6]. Dynamische Ultraschall-Messungen liefern schlechtere Ergebnisse [6].

Bed-side Ultraschall in der Notaufnahme kann Verletzungen des LTFA mit hoher Genauigkeit erkennen [8].

Ergün et al. beurteilt die Sonographie als verlässliche und einfach verfügbare Methode in der Diagnose von Verletzungen des LTFA, LCF und LTIFA [17]. Weiters kann die Sonographie als Triage-Mittel zur Zuweisung zur MRT verwendet werden,

wenn der Verdacht auf zusätzliche Verletzungen besteht [17]. Weiters wird auf eine hohe Korrelation zwischen den Ergebnissen der Sonographie und der MRT hingewiesen [17].

Die Synthese der jeweiligen diagnostischen Daten und die Schlussfolgerungen der inkludierten Studien lassen darauf schließen, dass die MRT und die Sonographie genaue Diagnosemittel zur Erkennung von Bandverletzungen im Sprunggelenk sind [1-6,8,12,13,15,17].

8.1.2. Können Schlüsse gezogen werden, welches Verfahren sich besser zur Diagnose eignet, bezogen auf Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit?

Ein direkter Vergleich war nicht möglich, weil fast alle Publikationen zur Sonographie die MRT als Goldstandard verwendeten, während die Studien zur MRT die Arthroskopie oder chirurgische Befunde dazu benutzten [1-6,8,12,13,15,17].

Nur eine Studie beurteilte MRT und Sonographie mit demselben Referenzstandard [12]. Dabei wurden chronische und akute Verletzungen des LTFA untersucht [12]. Eine Zusammenlegung der akuten und chronischen Fälle wurde ebenfalls durchgeführt [12]. Die Spezifität der MRT war dabei jeweils deutlich höher als die der Sonographie [12]. Die Werte für die Sensitivität waren bei der Sonographie jeweils um wenige Prozentpunkte höher als die der MRT [12]. Die MRT kann jeweils um wenige Prozentpunkte genauer beurteilen [12]. Beide Verfahren werden als zufriedenstellend beurteilt [12].

Ein weiteres Hindernis für einen genauen Vergleich ist, dass die Daten der MRT zum LTFA teilweise und zum LCF vollständig auf der Erkennung des Normalbefundes basieren [1-3]. Die Studien zur Sonographie basieren hingegen auf den Daten zur Erkennung von Verletzungen [5,6,8,12,17].

Die MRT eignet sich sehr gut zur Erkennung von Verletzungen der Bänder im oberen Sprunggelenk, während die Sonographie ähnliche Ergebnisse erzielen kann [1-6,8,12,13,15,17].

Ein genaueres Urteil ist aufgrund der verschiedenen verwendeten Goldstandards und der unterschiedlichen diagnostizierten Zustände in den Studien zu MRT und Sonographie nur schwer möglich [1-6,8,12,13,15,17].

8.1.3. Gibt es sonstige interessante Schlüsse, die aus einzelnen Studien hervorgehen?

Yong-Sang-Kim berichten, dass alle falsch-negativen Diagnosen der MRT-Untersuchung an der talaren und fibularen Ansatzstelle des LTFA beobachtet wurden [13].

Yan-Xu et al. kommen zum Schluss, dass eine 3D-MRT Distorsionen und Teilrisse des LTFA signifikant besser erkennen kann als eine 2D-MRT [2].

Der Deep-Learning-Algorithmus aus Ming-Ni et al. erbrachte ähnliche Leistungen wie erfahrene und bessere als unerfahrene radiologische Fachkräfte in der Fremdgruppe [3]. In der Eigengruppe konnte der Algorithmus bessere Ergebnisse als das gesamte radiologische Fachpersonal erzielen [3]. Man empfiehlt den Algorithmus als Assistenzmittel [3].

Wei-Tan et al. kamen zum Schluss, dass die MRT bei akuten Verletzungen (Untersuchung 3 Monate nach Verletzung) zu genaueren Diagnosen fähig ist als bei chronischen Verletzungen [1].

Oae et al. berichten, dass die axiale Schnittführung bei einer MRT-Untersuchung die genauesten Ergebnisse bei Verletzungen des LTFA erzielt [12].

8.2. Vergleichende Erläuterungen

Eine Metaanalyse von Barini et al. untersuchte die diagnostische Wertigkeit der MRT bei akuten Verletzungen des LTFA [40]. Insgesamt 7 Studien aus dem Zeitraum von 1991-2020 wurden dabei untersucht [40].

Dabei ergab sich eine Sensitivität von 100% (95%-KI: 58-100%) sowie eine Spezifität von 90% (95%-KI: 79-96%) [40]. Dies deutet auf eine hohe Genauigkeit in der Diagnose dieser Verletzungen hin [40].

Cao et al. analysierten in ihrer Metaanalyse MRT und Sonographie in der Diagnose von chronischen Verletzungen des LTFA und des LCF [18]. Weiters wurden Belastungsrontgen und Arthrographie analysiert [18]. Insgesamt wurden 15 Studien analysiert [18].

Für die MRT wurde bei chronischen Verletzungen des LTFA eine Sensitivität von 83% (95%-KI: 78-87%) und eine Spezifität von 79% (95%-KI: 69-87%) festgestellt [18]. Für das LCF konnte für die MRT eine Sensitivität von 56% (95%-KI: 46-66%) und eine Spezifität von 88% (95%-KI: 82-93%) gezeigt werden [18].

Die Sonographie kam in der Metaanalyse bei chronischen Verletzungen des LTFA auf eine Sensitivität von 99% (95%-KI: 96-100%) und eine Spezifität von 91% (95%-KI: 82-97%) [18]. Bei chronischen Verletzungen des LCF erreichte die Sonographie eine Sensitivität von 94% (95%-KI: 85-98%) und eine Spezifität von 91% (95%-KI: 80-97%) [18].

Man schließt daraus, dass sich die Sonographie besser eignet, um chronische Verletzungen der Seitenbänder zu diagnostizieren als die MRT [18].

Die Metaanalyse von Colo et al. untersuchte Sonographie und MRT in der Diagnose von Verletzungen des LTFA [11]. Insgesamt wurden dabei 9 Studien inkludiert [11]. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Sensitivität der Sonographie bei fixed Effects 96,88% (95%-KI: 94-99%) und bei random Effects 97% (95%-KI: 94-99%) und die der MRT bei fixed Effects 88,5% (95%-KI: 85-91%) und bei random Effects 86,98% (95%-KI: 77-94%) beträgt [11].

Für die Spezifität ergaben sich für den Ultraschall bei fixed Effect 88,34% (95%-KI: 83-92%) und bei random Effects 84,45% (95%-KI: 55-99%) und für die MRT bei fixed Effects 81,38% (95%-KI: 77-85%) und bei random Effects 82,55 (95%-KI: 67-97%) [11].

Die Genauigkeit der Sonographie lag bei 93,5% (95%-KI: 61,73-99,1%) und für die MRT bei 92,66% (95%-KI: 87,08-98,24%) [11].

Dong-il Chun et al. führten eine Metaanalyse über die diagnostische Wertigkeit von MRT, Röntgen und CT bei Verletzungen der Syndesmose durch [14]. Die Sonographie wurde nicht in die Metaanalyse inkludiert, weil sich nur eine Studie fand [14]. Insgesamt wurden 8 Studien analysiert, 4 davon beinhalteten die MRT [14].

Die MRT erreichte eine Sensitivität von 92,9% (95%-KI: 83,7-93,1%) und eine Spezifität von 86,5% (95%-KI: 75,3-93,1%), damit war sie signifikant sensibler als Röntgen und CT [14]. In der Spezifität konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden [14]. Die Genauigkeit der MRT ist ähnlich zu der des Goldstandards Arthroskopie [14].

Die gefundene Studie über die Sonographie zeigte eine Sensitivität von 88,6% (95%-KI: 75,5-97,4%) und eine Spezifität von 96,7% (95%-KI: 88,6-100%) [42]. Diese Studie wurde nicht in den Hauptteil dieser Diplomarbeit inkludiert, weil sie vor dem 1.1.2001 veröffentlicht wurde [42].

8.3. Schlussfolgerungen

Aus der Synthese der Daten, den Schlussfolgerungen der inkludierten Studien und bereits veröffentlichten Literaturreviews geht hervor, dass die MRT und die Sonographie im Allgemeinen sehr verlässliche und sehr genaue diagnostische Verfahren zur Erkennung von Verletzungen des LTFA, LCF und der Syndesmose sind [1-6,8,11-15,17,18,40].

Ein direkter Vergleich der Sonographie mit der MRT ist anhand der extrahierten Daten aus den gefundenen Studien, mangels einheitlichem Referenzstandard und teilweiser verschiedener Klassifikationen, schwer möglich [1-6,8,12,13,15,17].

Schwächen der MRT liegen aber bei der Diagnose von chronischen Verletzungen des LCF und des LTFA [18]. Weiters hat die MRT eine Schwäche durch die hohen Kosten [12,40]. Daten zur Beurteilung des LTFA liegen für die MRT in dieser Arbeit nicht vor.

Die Sonographie dürfte sich aber bei der Beurteilung chronischer Verletzungen des LCF besser als die MRT eignen [18]. In der Diagnose von Verletzungen des LTFA ist sie Gleichwertig zur MRT [12]. Weiters könnte die Sonographie eine höhere Sensitivität in der Diagnose von Verletzungen des LTFA haben [11].

Es liegen in dieser Arbeit keine Quellen vor, welche die Sonographie in der Diagnose von Verletzungen des Deltabandes untersuchen.

Als Fehlerquelle der MRT in der Diagnostik von Verletzungen des LTFA konnten die talaren und fibularen Ansätze des Bandes ausgemacht werden [13].

3D MRT können Distorsionen und Teilrisse besser beurteilen als 2D MRTs [2].

Deep-Learning-Algorithmen sind in der Lage radiologisches Fachpersonal zu übertreffen oder gleichwertige Ergebnisse zu erzielen [3].

Axiale Schnitte eignen sich am besten, um das LTFA in der MRT zu beurteilen [12].

8.4. Kritische Reflexion und Einschränkungen zu Inhalt und Methode

Es wurden ausschließlich Publikationen beurteilt, zu deren Vollversion man als Student der medizinischen Universität Graz Zugang hat. Dadurch ist es wahrscheinlich, dass weitere relevante und aussagekräftige Studien fehlen.

Weiters wird in dieser Diplomarbeit auf CT und Röntgen als weitere radiologische Verfahren zur Diagnose keine Rücksicht genommen. Somit konnten die diagnostischen Werte dieser Verfahren nicht ermittelt und beurteilt werden.

Weiters wird hier auch nur auf isolierte Bänderverletzungen im oberen Sprunggelenk Rücksicht genommen. Somit fehlen etwa weitere Verletzungen des Sprunggelenks, wie Frakturen oder andere Weichteilverletzungen. Weiters wurden Verletzungen im unteren Sprunggelenk nicht berücksichtigt. Kombinationsverletzungen wurden ebenfalls nicht berücksichtigt.

Zeitlich wurde diese Diplomarbeit auf das 21. Jahrhundert beschränkt. Beabsichtigt wurde damit den aktuellen Stand der Forschung wiederzugeben. Allerdings konnten dadurch auch Daten aus älteren, möglicherweise relevante, Quellen nicht in die Beurteilung einfließen.

Nachdem alle berücksichtigten Quellen dieser Diplomarbeit in Englisch verfasst wurden, können Fehler oder Ungenauigkeiten bei der Übersetzung ins Deutsche ebenfalls nicht ausgeschlossen werden.

Ein exakter Vergleich zwischen MRT und Sonographie ist nicht möglich. Der Grund liegt darin, dass die MRT-Studien in dieser Diplomarbeit als Goldstandard die Arthroskopie verwendeten, während die Studien über die Sonographie, bis auf eine, die MRT als Goldstandard verwenden [1-6,8,12,13,15,17].

Teilweise beinhalten die MRT-Studien auf der Erkennung des Normalbefundes, während die Studien zur Sonographie die Erkennung von Verletzungen beinhalten [1-3,5,6,8,12,17].

Weiters wurden akute und chronische Verletzungen einheitlich betrachtet.

Eine weitere potenzielle Fehlerquelle ist die geringe Anzahl an inkludierten Personen in den jeweiligen Studien [1,2,4-6,8,12,13,15,17]. Nur eine Studie untersuchte mehr als 100 Personen [3].

Weiters ist jede einzelne Studie für sich selbst mit jeweils eigenen Fehlerquellen und Potenzial für Verzerrung behaftet, siehe QUADAS-2 Assessment [1-6,8,12,13,15,17,41].

8.5. Implikationen für Theorie und Praxis

Eine starke Empfehlung kann nicht abgegeben werden. Für das Deltaband und das LTFP wurden zu wenige Daten gefunden, um eine Schlussfolgerung ziehen zu können.

Aus den extrahierten Daten und den Schlussfolgerungen der einzelnen Studien, sowie der gefundenen Metaanalysen kann man davon ausgehen, dass die Sonographie und die MRT in der Diagnose von Bandverletzungen im OSG genaue Ergebnisse erzielen [1-3,5,6,8,11-13,17,18,40]. Schwächen der MRT liegen in der Erkennung von chronischen Verletzungen des LTFA und LCF [1,18].

Die Sonographie ist das billigere Verfahren [12,39]. Sie ist ebenfalls leicht verfügbar [12,17,39].

Diese Umstände bedenkend, erscheint es sinnvoll bei Bandverletzungen im OSG primär eine sonographische Untersuchung durchzuführen [1-6,8,11-13,15,17,18,39,40]. Bei Unklarheiten oder Verdacht auf eine komplizierte oder schwere Verletzung sollen die Betroffenen an eine MRT-Untersuchung überwiesen werden [1-6,8,11-13,15,17,18,39,40].

Man kann davon ausgehen, dass etwa 26,5% bis 46,5% des ärztlichen Personals die Sonographie zur Diagnose von Verletzungen der Seitenbänder im Sprunggelenk verwenden [34,35]. Bei Verdacht auf komplizierte Verletzungen verwenden 90% eine MRT [35].

83% der ärztlichen Fachkräfte verwenden die MRT und 28% der ärztlichen Fachkräfte verwenden die Sonographie zur Diagnose von Verletzungen der Syndesmose [36].

Eine häufigere Verwendung der Sonographie in der klinischen Praxis erscheint anhand der dargebrachten Ergebnisse sinnvoll [1-6,8,11-15,17,18,34-36].

3D-MRT könnte hilfreich sein, Verletzungen im Detail zu erkennen [2].

Weiters könnten in Zukunft Deep-Learning-Algorithmen als Assistenzmittel verwendet werden [3].

Als Fehlerquelle der MRT wurden Risse an den Ansätzen des LTFA ausgemacht und Untersuchende sind angehalten dies zu bedenken [13].

Axiale Schnitte in der MRT liefern die besten diagnostischen Werte für die Erkennung von Verletzungen des LTFA [12].

Weitere Forschung ist dennoch nötig, um diese Implikationen zu bestätigen.

8.6. Ausblick und Anregungen für weiterführende Arbeiten

Um eine exakte Gegenüberstellung von MRT und Sonographie zu erreichen, bräuchte es Arbeiten, die beide Verfahren mit einem einheitlichen Referenzstandard beurteilen. Diesbezüglich wurde nur eine Studie in diesem Literaturreview gefunden [12].

Weiters wurden 3 Literaturreviews mit Metaanalyse gefunden, die Studien mit MRT und Sonographie beurteilten [11,14,18]. Teilweise wurde dabei ignoriert, dass die einzelnen Studien verschiedene Referenzstandards verwendeten [11]. Einer dieser Reviews mit Metaanalyse exkludierte die Sonographie, weil man hier zu wenige Studien fand [14].

Die einzigen Quellen, welche einen direkten Vergleich erlaubten, handelten ausschließlich über Verletzungen der Seitenbänder [11,12,18].

Im Allgemeinen ist die Studienlage zur Diagnose von Verletzungen der Seitenbänder ausreichend.

Die Ausnahme bildet hier das LTFP. Hier konnte nur eine relevante Studie gefunden werden [5].

Die Anzahl der verfügbaren Studien über die Diagnose von Verletzungen der Syndesmose ist bei beiden Verfahren gering.

Über Verletzungen des Deltabandes konnte nur eine relevante Studie gefunden werden [4]. Die meisten gefundenen Publikationen berichten hierbei über Kombinationsverletzungen aus Band und Fraktur. Nachdem solche Kombinationsverletzungen aber als Ausschlusskriterium für diese Diplomarbeit gelten, wurden solche Quellen nicht berücksichtigt.

Bei Verletzungen der Syndesmose und des Deltabandes ist somit noch weitere Forschung nötig, um die diagnostische Wertigkeit von MRT und Sonographie besser beurteilen zu können. Dabei soll ein einheitlicher Referenzstandard verwendet werden.

Weiterführende Arbeiten zur Diagnose von Verletzungen der Seitenbänder wären ebenso sinnvoll, insbesondere bei Verletzungen des LTFP.

Ming-Ni et al. lieferten vielversprechende Ergebnisse zu Deep-Learning Algorithmen [3]. In naher Zukunft könnte es relevant sein solche Algorithmen oder KI-Programme in ihrer Fähigkeit zur Beurteilung bildgebender Verfahren zu erforschen.

Methoden wie das 3D-MRT sollen ebenfalls weiter erforscht werden [2]. Hier kann man beispielsweise die Erkenntnisse von Yan-Xu et al. als Grundlage für weitere Forschung verwenden [2].

Weiters ist es von Nutzen, Schwachstellen oder Stärken der einzelnen Verfahren ebenfalls zu erforschen, während man sie auf ihre diagnostische Genauigkeit untersucht [1,12,13].

9. Literaturverzeichnis

1. Tan DW, Teh DJW, Chee YH. Accuracy of magnetic resonance imaging in diagnosing lateral ankle ligament injuries: A comparative study with surgical findings and timings of scans. *Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol*. 2016 Nov 20;7:15-20. doi: 10.1016/j.asmart.2016.09.003. PMID: 29264269; PMCID: PMC5721913.
2. Xu Y, He L, Han Y, Duan D, Ouyang L. Evaluation of 3-Dimensional Magnetic Resonance Imaging (3D MRI) in Diagnosing Anterior Talofibular Ligament Injury. *Med Sci Monit*. 2021 Jan 16;27:e927920. doi: 10.12659/MSM.927920. PMID: 33453097; PMCID: PMC7816539.
3. Ni M, Zhao Y, Wen X, Lang N, Wang Q, Chen W, Zeng X, Yuan H. Deep learning-assisted classification of calcaneofibular ligament injuries in the ankle joint. *Quant Imaging Med Surg*. 2023 Jan 1;13(1):80-93. doi: 10.21037/qims-22-470. Epub 2022 Oct 13. PMID: 36620152; PMCID: PMC9816759.
4. Chun KY, Choi YS, Lee SH, Kim JS, Young KW, Jeong MS, Kim DJ. Deltoid Ligament and Tibiofibular Syndesmosis Injury in Chronic Lateral Ankle Instability: Magnetic Resonance Imaging Evaluation at 3T and Comparison with Arthroscopy. *Korean J Radiol*. 2015 Sep-Oct;16(5):1096-103. doi: 10.3348/kjr.2015.16.5.1096. Epub 2015 Aug 21. PMID: 26356649; PMCID: PMC4559781.
5. Esmailian M, Ataie M, Ahmadi O, Rastegar S, Adibi A. Sensitivity and specificity of ultrasound in the diagnosis of traumatic ankle injury. *J Res Med Sci*. 2021 Feb 27;26:14. doi: 10.4103/jrms.JRMS_264_20. PMID: 34084193; PMCID: PMC8106407.
6. Baltes TPA, Arnáiz J, Geertsema L, Geertsema C, D'Hooghe P, Kerkhoffs GMMJ, Tol JL. Diagnostic value of ultrasonography in acute lateral and syndesmotic ligamentous ankle injuries. *Eur Radiol*. 2021 Apr;31(4):2610-2620. doi: 10.1007/s00330-020-07305-7. Epub 2020 Oct 7. PMID: 33026501; PMCID: PMC7979658.
7. Schneck CD, Mesgarzadeh M, Bonakdarpour A (1992) MR imaging of the most commonly injured ankle ligaments. Part II. Ligament injuries. *Radiology* 184:507-512. <https://doi.org/10.1148/radiology.184.2.1620856>

8. Gün C, Unlüer EE, Vandenberg N, Karagöz A, Sentürk GO, Oyar O. Bedside ultrasonography by emergency physicians for anterior talofibular ligament injury. *J Emerg Trauma Shock*. 2013 Jul;6(3):195-8. doi: 10.4103/0974-2700.115340. PMID: 23960377; PMCID: PMC3746442.
9. Duale Reihe Anatomie. Aust G, Engele J, Kirsch J, Mayerhofer A, Mense S, Salvetter J, Schulte E, Schultz C, Wennemuth G et al., Seiten 398-400, Hrsg. 6., vollständig überarbeitete Auflage. Stuttgart: Thieme; 2024. doi:10.1055/b0000000824
10. <https://linkedata.cochrane.org/pico-ontology>, zuletzt zugegriffen am 25.10.2024
11. Colò G, Bignotti B, Costa G, Signori A, Tagliafico AS. Ultrasound or MRI in the Evaluation of Anterior Talofibular Ligament (ATFL) Injuries: Systematic Review and Meta-Analysis. *Diagnostics (Basel)*. 2023 Jul 10;13(14):2324. doi: 10.3390/diagnostics13142324. PMID: 37510068; PMCID: PMC10378286.
12. Oae K, Takao M, Uchio Y, Ochi M. Evaluation of anterior talofibular ligament injury with stress radiography, ultrasonography and MR imaging. *Skeletal Radiol*. 2010 Jan;39(1):41-7. doi: 10.1007/s00256-009-0767-x. PMID: 19685050.
13. Kim YS, Kim YB, Kim TG, Lee SW, Park SH, Lee HJ, Choi YJ, Koh YG. Reliability and Validity of Magnetic Resonance Imaging for the Evaluation of the Anterior Talofibular Ligament in Patients Undergoing Ankle Arthroscopy. *Arthroscopy*. 2015 Aug;31(8):1540-7. doi: 10.1016/j.arthro.2015.02.024. Epub 2015 Apr 14. PMID: 25882180.
14. Chun DI, Cho JH, Min TH, Park SY, Kim KH, Kim JH, Won SH. Diagnostic Accuracy of Radiologic Methods for Ankle Syndesmosis Injury: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*. 2019 Jul 3;8(7):968. doi: 10.3390/jcm8070968. PMID: 31277316; PMCID: PMC6678834.
15. Clanton TO, Ho CP, Williams BT, Surowiec RK, Gatlin CC, Haytmanek CT, LaPrade RF. Magnetic resonance imaging characterization of individual ankle syndesmosis structures in asymptomatic and surgically treated cohorts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016 Jul;24(7):2089-102. doi: 10.1007/s00167-014-3399-1. Epub 2014 Nov 15. PMID: 25398368.
16. Jungmann PM, Lange T, Wenning M, Baumann FA, Bamberg F, Jung M. Ankle Sprains in Athletes: Current Epidemiological, Clinical and Imaging Trends. *Open*

Access J Sports Med. 2023 May 22;14:29-46. doi: 10.2147/OAJSM.S397634. PMID: 37252646; PMCID: PMC10216848.

17. Ergün T, Peker A, Aybay MN, Turan K, Muratoğlu OG, Çabuk H.

Ultrasonography view for acute ankle injury: comparison of ultrasonography and magnetic resonance imaging. Arch Orthop Trauma Surg. 2023 Mar;143(3):1531-1536. doi: 10.1007/s00402-022-04553-8. Epub 2022 Jul 22. PMID: 35867114.

18. Cao S, Wang C, Ma X, Wang X, Huang J, Zhang C. Imaging diagnosis for chronic lateral ankle ligament injury: a systemic review with meta-analysis. J Orthop Surg Res. 2018 May 22;13(1):122. doi: 10.1186/s13018-018-0811-4. PMID: 29788978; PMCID: PMC5964890.

19. Ficklscherer Andreas, 31 - Verletzungen des Bandapparats am Sprunggelenk und Achillessehnenruptur, BASICS Orthopädie und Unfallchirurgie (7. Auflage), edited by Ficklscherer Andreas, 2023, Pages 76-77, ISBN 978-3-437-41119-9, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-3-437-41119-9.60031-5>.

(<https://www.clinicalkey.com/student/content/book/3-s2.0-B9783437411199600315>)

20. Fong, D.TP., Hong, Y., Chan, LK. *et al.* A Systematic Review on Ankle Injury and Ankle Sprain in Sports. *Sports Med* 37, 73-94 (2007).

<https://doi.org/10.2165/00007256-200737010-00006>

21. Waterman BR, Owens BD, Davey S, Zacchilli MA, Belmont PJ Jr. The epidemiology of ankle sprains in the United States. J Bone Joint Surg Am. 2010 Oct 6;92(13):2279-84. doi: 10.2106/JBJS.I.01537. PMID: 20926721.

22. Bridgman SA, Clement D, Downing A, Walley G, Phair I, Maffulli N.

Population based epidemiology of ankle sprains attending accident and emergency units in the West Midlands of England, and a survey of UK practice for severe ankle sprains. Emerg Med J. 2003 Nov;20(6):508-10. doi: 10.1136/emj.20.6.508. PMID: 14623833; PMCID: PMC1726220.

23. Fallat L, Grimm DJ, Saracco JA. Sprained ankle syndrome: prevalence and analysis of 639 acute injuries. J Foot Ankle Surg. 1998 Jul-Aug;37(4):280-5. doi: 10.1016/s1067-2516(98)80063-x. PMID: 9710779.

24. https://forschung.medunigraz.at/fodok/suchen/publikationen_suchergebnis, zuletzt aufgerufen am 12.12.2025, Suchbegriff: „Sprunggelenk“

25.

https://muniverse.medunigraz.at/uploads/rl_erstellung_diplomarbeit_masterarbeit_92301757c9.pdf, zuletzt aufgerufen am 12.3.2025

26. Panagiotakis E, Mok KM, Fong DT, Bull AMJ. Biomechanical analysis of ankle ligamentous sprain injury cases from televised basketball games: Understanding when, how and why ligament failure occurs. *J Sci Med Sport*. 2017 Dec;20(12):1057-1061. doi: 10.1016/j.jsams.2017.05.006. Epub 2017 May 25. PMID: 28587794.

27. Wei F, Post JM, Braman JE, Meyer EG, Powell JW, Haut RC. Eversion during external rotation of the human cadaver foot produces high ankle sprains. *J Orthop Res*. 2012 Sep;30(9):1423-9. doi: 10.1002/jor.22085. Epub 2012 Feb 10. PMID: 22328337.

28. Mait AR, Forman JL, Nie B, Donlon JP, Mane A, Forghani AR, Anderson RB, Cooper MT, Kent RW. Propagation of Syndesmotic Injuries During Forced External Rotation in Flexed Cadaveric Ankles. *Orthop J Sports Med*. 2018 Jun 27;6(6):2325967118781333. doi: 10.1177/2325967118781333. PMID: 30090832; PMCID: PMC6077923.

29. Debieux P, Wajnsztein A, Mansur NSB. Epidemiology of injuries due to ankle sprain diagnosed in an orthopedic emergency room. *Einstein (Sao Paulo)*. 2019 Sep 23;18:eAO4739. doi: 10.31744/einstein_journal/2020AO4739. PMID: 31553355; PMCID: PMC6905160.

30. Swenson DM, Collins CL, Fields SK, Comstock RD. Epidemiology of U.S. high school sports-related ligamentous ankle injuries, 2005/06-2010/11. *Clin J Sport Med*. 2013 May;23(3):190-6. doi: 10.1097/JSM.0b013e31827d21fe. PMID: 23328403; PMCID: PMC3640618.

31. Mauntel TC, Wikstrom EA, Roos KG, Djoko A, Dompier TP, Kerr ZY. The Epidemiology of High Ankle Sprains in National Collegiate Athletic Association Sports. *Am J Sports Med*. 2017 Jul;45(9):2156-2163. doi: 10.1177/0363546517701428. Epub 2017 Apr 19. PMID: 28423285.

32. Kopec TJ, Hibberd EE, Roos KG, Djoko A, Dompier TP, Kerr ZY. The Epidemiology of Deltoid Ligament Sprains in 25 National Collegiate Athletic Association Sports, 2009-2010 Through 2014-2015 Academic Years. *J Athl Train*.

- 2017 Apr;52(4):350-359. doi: 10.4085/1062.6050-52.2.01. Epub 2017 Mar 20. PMID: 28318315; PMCID: PMC5402533.
33. Gregersen MG, Fagerhaug Dalen A, Nilsen F, Molund M. The Anatomy and Function of the Individual Bands of the Deltoid Ligament-and Implications for Stability Assessment of SER Ankle Fractures. *Foot Ankle Orthop.* 2022 Jun 14;7(2):24730114221104078. doi: 10.1177/24730114221104078. PMID: 35722175; PMCID: PMC9201323.
34. Lichte P, Weber C, Otto M, Bläsius F, Gutteck N, Hildebrand F, Arbab D. Aktuelle Diagnostik und Behandlung der Sprunggelenks-Distorsion in Deutschland [Current diagnostics and treatment of ankle sprains in German]. *Unfallchirurgie (Heidelb).* 2024 Jun;127(6):449-456. German. doi: 10.1007/s00113-024-01428-y. Epub 2024 Apr 18. PMID: 38634870; PMCID: PMC11133181.
35. Yokoe T, Tajima T, Yamaguchi N, Morita Y, Chosa E. The current clinical practice of general orthopaedic surgeons in the treatment of lateral ankle sprain: a questionnaire survey in Miyazaki, Japan. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021 Jul 24;22(1):636. doi: 10.1186/s12891-021-04527-8. PMID: 34303350; PMCID: PMC8310605.
36. Mutschler M, Naendrup JH, Pfeiffer TR, Jaecker V, Arbab D, Shafizadeh S, Buchhorn T. Current status of the management of isolated syndesmotic injuries in Germany. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023 Apr;143(4):2019-2026. doi: 10.1007/s00402-022-04423-3. Epub 2022 Apr 11. PMID: 35403865; PMCID: PMC10030432.
37. Zhu, W., Zeng, N., & Wang, N. (2010). Sensitivity, specificity, accuracy, associated confidence interval and ROC analysis with practical SAS implementations. *NESUG proceedings: health care and life sciences, Baltimore, Maryland, 19*, 67.
38. Carlin, J. B., & Doyle, L. W. (2001). Comparison of means and proportions using confidence intervals. *Journal of paediatrics and child health, 37*(6), 583-586.
39. Duale Reihe Radiologie. Reiser M, Kuhn F, Debus J, Hrsg. 4., vollständig überarbeitete Auflage. Seiten 82/83/91/92/96/102. Stuttgart: Thieme; 2017. doi:10.1055/b-004-132212

40. Barini M, Zagaria D, Licandro D, Pansini S, Airolti C, Leigh M, Carriero A. Magnetic Resonance Accuracy in the Diagnosis of Anterior Talo-Fibular Ligament Acute Injury: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Diagnostics (Basel)*. 2021 Sep 28;11(10):1782. doi: 10.3390/diagnostics11101782. PMID: 34679480; PMCID: PMC8534480.
41. Whiting PF, Rutjes AW, Westwood ME, Mallett S, Deeks JJ, Reitsma JB, Leeflang MM, Sterne JA, Bossuyt PM; QUADAS-2 Group. QUADAS-2: a revised tool for the quality assessment of diagnostic accuracy studies. *Ann Intern Med*. 2011 Oct 18;155(8):529-36. doi: 10.7326/0003-4819-155-8-201110180-00009. PMID: 22007046.
42. Christodoulou G, Korolessis P, Giarmenitis S, Dimopoulos P, Sdougos G. The use of sonography for evaluation of the integrity and healing process of the tibiofibular interosseous membrane in ankle fractures. *J Orthop Trauma*. 1995 Apr;9(2):98-106. doi: 10.1097/00005131-199504000-00002. PMID: 7776043.
43. Hilgers, RD., Heussen, N., Stanzel, S. (2019). Prävalenz. In: Gressner, A.M., Arndt, T. (eds) *Lexikon der Medizinischen Laboratoriumsdiagnostik*. Springer Reference Medizin. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-48986-4_2499
44. Braun HJ, Dragoo JL, Hargreaves BA, Levenston ME, Gold GE. Application of advanced magnetic resonance imaging techniques in evaluation of the lower extremity. *Radiol Clin North Am*. 2013 May;51(3):529-45. doi: 10.1016/j.rcl.2012.12.001. Epub 2013 Mar 9. PMID: 23622097; PMCID: PMC3639445.
45. Hubbard TJ, Hicks-Little CA. Ankle ligament healing after an acute ankle sprain: an evidence-based approach. *J Athl Train*. 2008 Sep-Oct;43(5):523-9. doi: 10.4085/1062-6050-43.5.523. PMID: 18833315; PMCID: PMC2547872.
46. Loozen L, Veljkovic A, Younger A. Deltoid ligament injury and repair. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2023 May-Aug;31(2):10225536231182345. doi: 10.1177/10225536231182345. PMID: 37449811.

10. Anhang

1. QUADAS-2 Protokoll [1-6,8,12,13,15,17,41]

	Wei-Tan (2016) [1]	Yan-Xu (2021)	Ming-Ni (2022) [3]	Chun (2015) [4]	Esmailian (2021) [5]	Battes (2020) [6]	Gün (2013) [8]	Oae (2009) [12]	Kim (2015) [13]	Clanton (2014) [14]	Egün (2022) [17]
Patienten-Auswahl											
Zufällige oder konsekutive Auswahl?	Red										
Fall-Kontroll Design vermieden?											
Unangemessene Exklusionen vermieden?						Red					
Anwendbarkeit											
Testverfahren											
Blind gegenüber Referenzstandard/Symptomatik?							Red				
Schwelle vordeliert (falls benutzt)?											
Anwendbarkeit											
Referenzstandard											
Kann Referenzstandard gesuchte Kondition verlässlich erkennen?											
Blind gegenüber Testverfahren?										Red	
Anwendbarkeit											
Fluss und Zeitpunkt											
Angemessenes Intervall zwischen Testverfahren und Referenzstandard?											
Wurden alle inkludierten mit einem Referenzstandard untersucht?											
Wurde immer derselbe Referenzstandard verwendet?											
Wurden alle inkludierten in die Analyse miteinbezogen?											
Anwendbarkeit											
	Ja		Unklar:		Nein						

