Chirurgische Universitätsklinik Ulm

Abteilung für Unfall-, Extremitäten-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie

Ärztlicher Direktor

Prof. Dr. L. Kinzl

Computergestützte 2D- und 3D- Bildgebung und Messung des Calcaneus nach Rekonstruktion bei Calcaneusfraktur

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin der Medizinischen Fakultät der Universität Ulm

Vorgelegt von

Evgenios Tzifris

Ludwigsburg 2004

Amtierender Dekan:	Prof. Dr. Klaus-Michael Debatin
1. Berichterstatter:	Prof. Dr. F. Gebhard
2. Berichterstatter:	Prof. Dr. A. Aschoff
Tag der Promotion:	21.10.2005

Inhalt

1 Einleitung **Seite**

1.1 Anatomie des Calcaneus..... 6
1.2 Frakturmechanismus..... 8
1.3 Diagnostik der Calcaneusfraktur mittels
CT und 3D-Bildgebung..... 9
1.4 Ziel der Arbeit..... 10

2 Material und Methoden

2.1 Patienten und Datenerhebung..... 11
2.2 Klassifikation der Fersenbeinfrakturen..... 12
2.3 Hardware..... 14
2.4 Die Computerprogramme..... 14
2.4.1 VG-Sudio Max..... 15
2.4.2 A-Studio..... 15
2.5 Die Messungen..... 15
2.5.1 Die CT-Bilder..... 16
2.5.2 Die Röntgenbilder..... 18
2.6 Statistik..... 18

3 Ergebnisse **Seite**

3.1	Alter- und Geschlechtsverteilung.....	19
3.2	Auswertung der CT-Bilder.....	19
3.2.1	Frakturlokalisation.....	19
3.2.2	Länge der Calcanei.....	20
3.2.3	Breite der Calcanei.....	20
3.2.4	Höhe der Calcanei.....	21
3.2.5	Tubergelnkwinkel.....	22
3.2.6	Varus-Valgusdeformität.....	22
3.3	Vergleich der CT-Bilder mit den konventionellen Röntgenbildern.....	24
3.3.1	Vergleich der Länge der Calcanei.....	24
3.3.2	Vergleich der Breite der Calcanei.....	24
3.3.3	Vergleich ds Tubergelenkwinkels.....	25

4 Diskussion

4.1	Vergleich Alter- und Geschlechtsverteilung.....	26
4.2	Vergleich des Patientenkollektivs.....	27
4.3	Bewertung der Ergebnisse.....	27
4.4	Visualisierung der Fersenbeinfraktur mittels CT...	31

5 Zusammenfassung..... 34

6 Literaturverzeichnis..... 36

Abkürzungsverzeichnis

a	Alter
CT	Computertomographie
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
Fa.	Firma
max	Maximum
min	Minimum
mm	Millimeter
MOD	Magneto-Optical Disc
n	Anzahl
OP	Operation
2D	2 Dimensional
3D	3 Dimensional

1. EINLEITUNG

1.1 Anatomie des Calcaneus

Der Calcaneus ist der größte Fußwurzelknochen und bildet somit den knöchernen Stützpfeiler des Fußgewölbes. Von seiner Hauptmasse gehen drei knöcherne Fortsätze, das Sustentaculum tali, das Tuber calcanei als Ansatzpunkt der M.triceps-surae Sehne und die laterale Trochlea peronealis, die die Überdachung für die Peronealsehne bildet, ab. Der Calcaneus artikuliert mit dem Talus über die Facies articularis talaris posterior, media und anterior und mit dem cuboid über die Facies articularis cuboidea. Um den Tuber calcanei ist das Federkissen, eine Fettschicht in starken Bindegewebsfächern angeordnet, welches die Ferse beim gehen abfedert [20,26,29].
Man unterscheidet außerdem die vordere und die hintere Gelenkkammer, welche durch den Sinus tarsi und das ligamentum interosseum getrennt sind. Das hintere untere Sprunggelenk (Articulatio talocalcanearis) und das vordere untere Sprunggelenk (Articulatio talocalcaneonavicularis) bilden eine funktionelle Einheit mit um 180° gegenläufigen Gelenkflächen. Der physiologische Bewegungsablauf in diesen drei Gelenken ist durch Bewegungen um drei Führungsachsen gekennzeichnet. Während des Stehens wird das Körpergewicht auf den Tuber calcanei und den Vorfuß übertragen. Beim Gehen ist der Fersenauftritt der betonte Auftakt des Gangzyklus[19].
Die Kortikalis des Calcaneus hat die Besonderheit nur im Tuber calcanei und Sustentaculum tarsi dick zu sein, ansonsten ist sie dünn ausgeprägt. Die typische spongiöse Matrix des Calcaneus besteht aus Zug- und Drucktrabekel, die so angeordnet sind, dass der zwischen ihnen liegende Raum ein kräfteneutrales Dreieck bildet (sogenannter kritischer Winkel). Über diesem Dreieck kommt lateral die Spitze des keilförmigen Processus lateralis tali zu liegen und zielt auf diesen kritischen Winkel nach Gissane, der aus der Fläche des hinteren, subtalaren Gelenkes und dem Processus anterior des Fersenbeines gebildet wird und somit ein kreuzförmiges Aussehen hat.
Eine weitere wichtige anatomische Struktur, die man radiologisch erfassen kann ist der so genannte Böhler-Winkel. Dieser liegt beim Gesunden zwischen 20-40°und wird gebildet aus zwei Linien. Die eine Linie zieht vom höchsten Punkt des Processus

anterior des Calcaneus zum höchsten Punkt der posterioren Facette. Tangential dazu und ausgehend vom superioren Anteil des Tuber calcanei verläuft die zweite Linie [17,23,24,35,39,44].

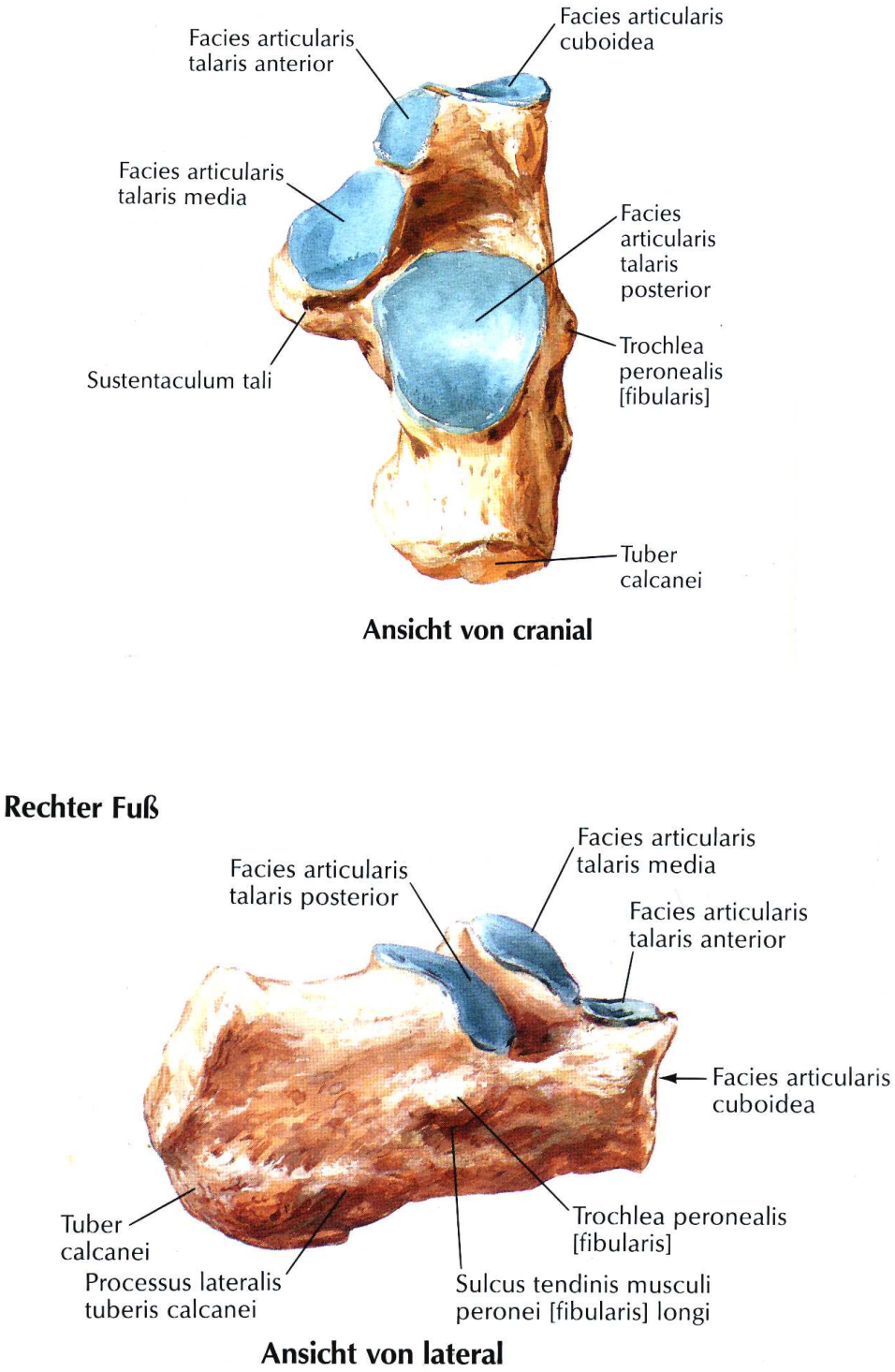
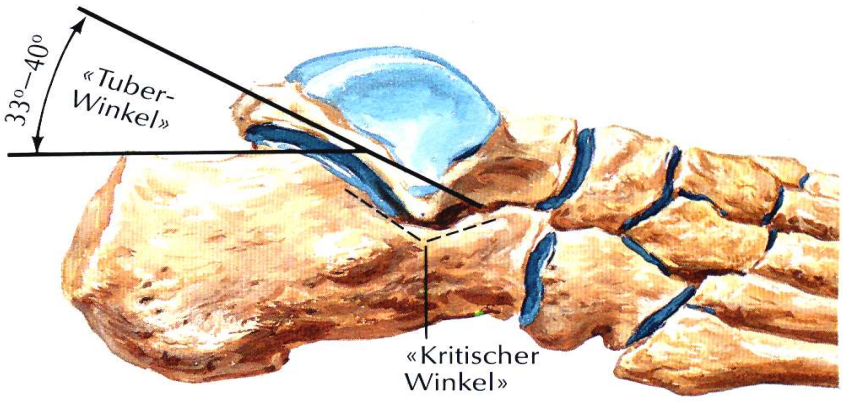


Abb.1: Anatomie des Fersenbeines. Ansicht von cranial und lateral [41].



Funktionell relevante Winkel am Calcaneus

Abb.2: Anatomie des Fersenbeines. Tubergelenkwinkel nach Böhler und kritischer Winkel nach Gissane [41].

1.2 Frakturmechanismus

Fersenbeinfrakturen entstehen in der Regel durch Stauchung bei Sturz auf die Ferse oder durch äußere direkte Gewalteinwirkung. Als Unfallursache sind meist Stürze aus großer Höhe, Suizidversuche, Arbeitsunfälle sowie Sport- und Freizeitunfälle zu finden. Die Stellung des Fußes, sowie die Krafteinwirkung und die Knochenqualität beim Unfall sind dabei eine wesentliche Komponente für die Schwere der Verletzung [44,48]. Die Fersenbeinfrakturen machen 60% der Frakturen des Rückfußes aus und gehören mit einer Häufigkeit von 1-2% zu den häufigsten Frakturen der Fußwurzelknochen [49]. Die Frakturform wird durch die Stellung des Fußes zum Zeitpunkt der Krafteinwirkung beeinflusst. Beim Sturz und axialer Krafteinwirkung wird die Spitze des Processus lateralis tali wie ein Keil in den sogenannten kritischen Winkel von Gissane getrieben. So entsteht eine vertikale Fraktur, die bei weiterer Krafteinwirkung das Fersenbein in ein antero-mediales Fragment mit dem Sustentaculum tali als Hauptfragment und in ein postero-laterales Fragment spaltet. Je nachdem, ob der Fuß beim Aufprall proniert, in Neutralstellung oder supiniert ist, verläuft die primäre Frakturlinie hinter, durch oder vor der posterioren Gelenk-fläche. Ist die Stauchungsenergie nicht verbraucht, so entstehen sekundäre Frakturlinien. Das

Sustentaculum tali bleibt dabei in annähernd normaler Position, weil es durch starke Bänder mit dem Talus verbunden ist.
Der Böhler-Winkel kann je nach Unfallhergang und Krafteinwirkung abnehmen und in der lateralen Röntgen- oder CT-Aufnahme gemessen werden [6,11,13,19,26,39,44].

1.3 Diagnostik der Calcaneusfraktur mittels CT und 3-D Bildgebung

Um eine Behandlungsrichtlinie festzulegen, ist es wichtig die Fersenbeinfraktur genau zu diagnostizieren und das exakte Ausmaß des Schadens zu erfassen.
Präoperativ muss der Chirurg den Grad der Dislokation, der Gelenkbeteiligung, der Gelenkflächenimpression und der Anzahl und Größe der Fragmente exakt beurteilen um die richtige Behandlungs-Strategie festzulegen.
In der Vergangenheit schien deshalb, die Behandlungsstrategie bei Fersenbeinfrakturen eng an die jeweiligen diagnostischen Möglichkeiten angelehnt zu sein. Seit Einführung der Computertomographie und ihrer Weiterentwicklung zur Spiral-CT mit optimierten multiplanaren und dreidimensionalen Rekonstruktionen haben sich die Darstellungsmöglichkeiten von komplizierten Frakturen, wie bei Calcaneusfrakturen, erheblich erweitert. Im Gegensatz zu konventionellen Röntgenbildern lassen sich hier genaue Aussagen über die Fragmentdislokation, sowie über Sub- oder Luxationsstellung des Gelenkes, der Trümmerzone und der Impressionen machen.
In Kombination mit 3D-Rekonstruktionen ermöglichen sie die räumliche Darstellung der Calcaneusfraktur aus allen Blickwinkeln. Durch zusätzliche Subtraktion des Fersenbeines vom restlichen Fuß wird eine genaue Evaluation der Gelenkflächen sowie eine räumliche Vorstellung des Frakturverlaufs ermöglicht. Dies kann man sich auch postoperativ zu nutze ziehen um den Erfolg der chirurgischen Rekonstruktion zu beurteilen [12].

1.5 Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist es die diagnostischen Möglichkeiten bei der postoperativen Betrachtung und Auswertung von Calcaneusfrakturen mittels CT und 2D- bzw. 3D-Bildgebung aufzuzeigen um eine noch präzisere Aussage über den Behandlungserfolg nach operativer Rekonstruktion der Calcaneusfraktur zu ermöglichen.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1 Patienten und Datenerhebung

Aus dem Behandlungszeitraum von 1984 bis 1998 wurden in der unfallchirurgischen Abteilung der Universität Ulm 16 Patienten mit 18 Calcaneusfrakturen (darunter 2 beidseitige, 8 linksseitige und 6 rechtsseitige) für diese Studie evaluiert.
Die Patienten wurden im Rahmen der ambulanten Nachkontrolle einer Computertomographischen Untersuchung (MX 8000, Fa. Philips) unterzogen, die vom 19.04.1999 – 26.04.1999 in der Abteilung für Röntgendiagnostik der Universität Ulm stattfand.

Das Alter der Patienten lag zum Untersuchungszeitraum bei durchschnittlich 49 Jahren. Der jüngste Patient war 26 Jahre, der älteste 67 Jahre alt. Es handelte sich um 14 Männer und 2 Frauen.

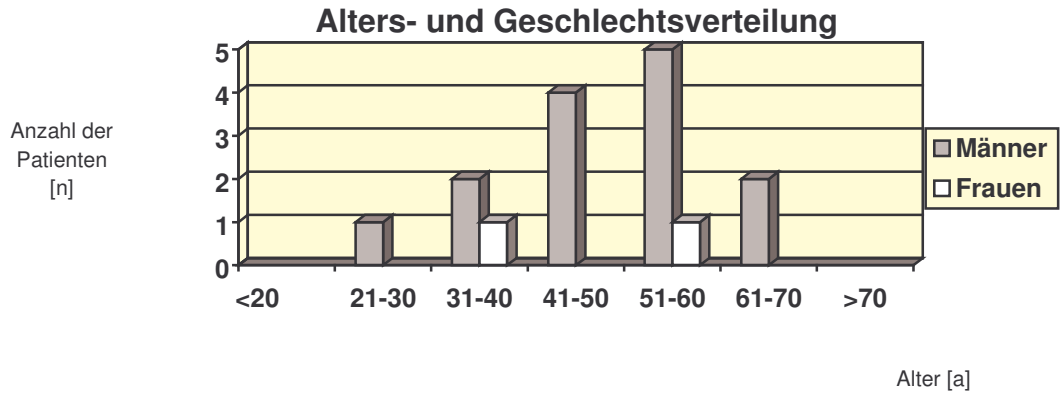


Abb.3: Alters- und Geschlechtsverteilung der Patienten (n=16).

Von den 18 Frakturen wurden 14 Frakturen plattenosteosynthetisch versorgt, 1 Fraktur mit einem Fixateur externe, 1 mit autologer und homologer Spongiosaplastik, 1 erhielt eine zusätzliche subtalare Arthrodese und bei einem Patienten wurde die Fraktur konservativ ohne Operation behandelt.

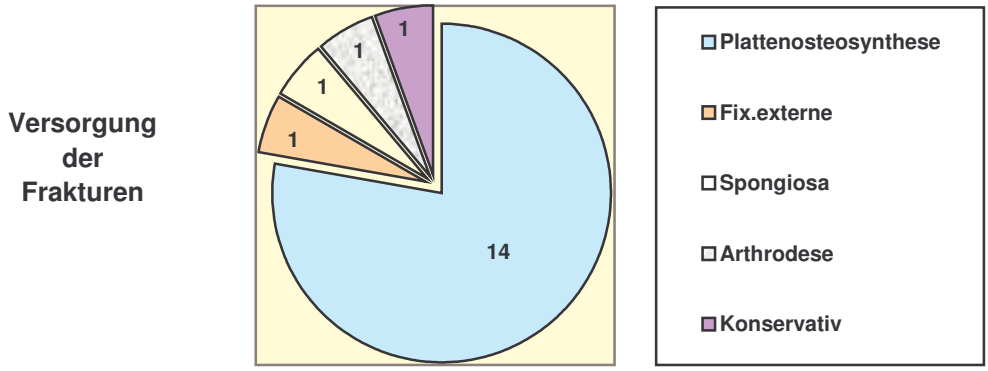


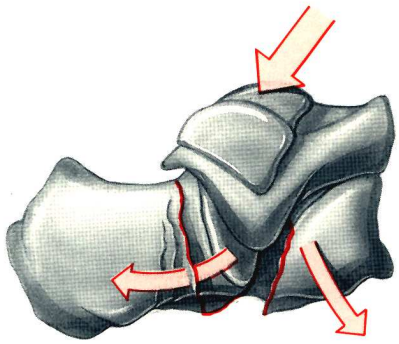
Abb. 4: Therapeutische Versorgung der Calcaneusfrakturen dieser Studie.

Die Patienten wurden alle im gleichen Computertomographen mit dem gleichen Protokoll untersucht. Es handelte sich dabei um ein Spiral-CT der Firma Philips (MX 8000).
Die CT-Daten beider Calcanei wurden auf einer MOD als DICOM Datensatz gespeichert.
Außerdem wurden die vorhandenen Röntgenbilder ausgewertet. Dabei handelte es sich um Standardaufnahmen des Calcaneus in zwei Ebenen (axial und seitlich), die während der stationären bzw. ambulanten Behandlung der Patienten angefertigt wurden. Es konnten 11 Röntgenbilder ausgewertet werden. Bei 5 Patienten fehlten die Röntgenaufnahmen.

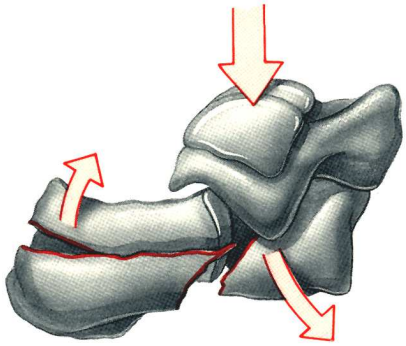
2.2 Klassifikation der Fersenbeinfrakturen

Die Klassifikation der Fersenbeinfraktur beginnt im Jahre 1843 mit Malgaigne, der als erster zwischen 2 Arten der Calcaneusfraktur differenzierte. Im Jahre 1930 gelang es Böhler eine anatomische Klassifikation der Fersenbeinfraktur durchzuführen. Er berücksichtigte das pathologisch-anatomische Substrat und unterschied 8 Gruppen von Calcaneusfrakturen [6,7,15].
Die wohl wichtigste und am meisten angewandte Klassifikation stammt von Essex-Lopresti aus dem Jahre 1952. Er unterscheidet 2 Frakturformen: einen „tongue-type“ mit einer Fraktur der Tuberositas und Bildung eines Fragments und einen „joint-

depression-type“mit Fehlen dieses Fragments. Bei dorsal flektiertem Fuß entsteht die „joint-depression-Fraktur“, wobei es zu einem keilförmigen Eindringen des Talus in den Calcaneus kommt und im Sinne einer Rotation das posterolaterale Fragment impaktiert wird. Bei der „tongue-type“ Fraktur, kommt es zusätzlich zu einer Horizontalfraktur des Calcaneus bei der die Frakturlinie bis in das Tuber calcanei nach dorsal reicht und die Gelenkfacette zusammen mit dem „Zungenfragment“ rotiert ist. Somit entsteht hier eine Vertikalverschiebung der subtalaren Gelenkregion [19,28,48].



Frakturmechanismus der intraartikulären Kalkaneusfraktur vom „Joint depression type“: keilförmiges Eindringen des Talus.



Frakturmechanismus der intra-artikulären Kalkaneusfraktur vom „Tongue type“: keilförmiges Eindringen des Talus bei Horizontalfraktur des Kalkaneuskörpers.

Abb.5: Frakturmechanismus der Calcaneusfraktur nach Essex-Lopresti [38].

Mit Einführung der Computertomographie brach ein neues Zeitalter für die genauere Betrachtung und des Verständnisses der Calcaneusfraktur ein. Zwipp et al. waren die Ersten, die Calcaneusfrakturen mittels CT einteilten. Ihre Klassifikation richtet sich nach der Zahl der Hauptfragmente (Max. 5) und die Zahl der von der Fraktur betroffenen Gelenke (Max. 3).Heute findet sie in der klinischen Praxis eine breite Anwendung und wird somit zur Klassifikation der CT-Befunde bei Calcaneusfrakturen herangezogen [31,51].

Im Laufe der Jahre erkannte man die Vorteile der Computertomographie und so wurde sie zum diagnostischen Standard bei Calcaneusfrakturen. Die überlagerungsfreie Abbildung der therapierelevanten anatomischen Strukturen ist nur mittels CT möglich. Außerdem ist die Beurteilung der umgebenen Weichteile, insbesondere der lateral

verlaufenden Peronealsehne, wie auch der Nachweis eines Hämatoms bei drohendem Kompartmentsyndrom präzise möglich [8,15,26,30].
Mit dem Fortschritt der Technik ist es heutzutage möglich, die CT-Datensätze zu rekonstruieren und ein 3-Dimensionales Bild der Fraktur zu erhalten. Der Operateur kann sowohl prä-, intra-, als auch postoperativ diese Bilder für seine Therapieplanung und weiteren Behandlung nutzen.

Ziel der Klassifikationen ist es, eine therapeutische und prognostische Aussage der Fraktur zu erhalten. Weiterhin die Indikation zur operativen Versorgung und die Wahl des Osteosynthesematerials zu stellen sowie die verschiedenen Behandlungsverfahren miteinander zu vergleichen.

Allerdings gibt es heutzutage keine einheitliche und allgemein anerkannte Einteilung. Jeder Operateur wird die für ihn am wichtigsten erscheinende Klassifikation benutzen.

2.3 Hardware

Bei dem verwendeten Computer handelte es sich um einen SMP Computer mit vier CPU Pentium III Xeon 500 Mhz Prozessoren und 2MB cash, 1 Gigabyte RAM Speicher, 9 Gigabyte Festplatte, MODrive mit 2,6 GB Kapazität.
Das Betriebssystem war Linux.

2.4 Die Computerprogramme

Für die Auswertung der CT-Bilder wurden zwei Softwareprogramme verwendet. Diese waren das VG-Studio Max 1.0 und das A-Studio. Mit dem VG-Studio Max wurden die Messungen für die Länge, Breite, Varus/Valgus-Deformität sowie die Bestimmung des Tubergelenk Winkels durchgeführt. Das A-Studio Programm wurde ausschließlich für die Volumenbestimmung verwendet.

2.4.1 VG-Studio Max

Das VG-Studio Max 1.0 Programm ist ein auf Volumen- und Voxeldaten basierendes Softwareprogramm. Als Voxel bezeichnet man die kleinste Volumeneinheit.
Bisher bedeutete das Arbeiten mit Volumendatensätzen oder Voxeldaten ein Arbeiten nur mit 2D Bildern. Man musste Bild für Bild entlang einer axialen Aufnahme fahren um eine 3D Impression von diesem Datensatz zu bekommen. Mit der neuen Technologie ist es möglich geworden die Bilder mittels einer Multiplanaren Rekonstruktion (MPR) nicht nur entlang einer Achse, sondern entlang aller drei Achsen eines Voxeldatensatzes zu betrachten. Somit verfügt es über eine 3D Visualisierung und der Möglichkeit der funktionellen Betrachtung von CT-Bildern. Die eingegebenen CT-Bilder können in den drei Hauptebenen (axial, sagittal und frontal) betrachtet werden oder als 3D visualisiertes Bild dargestellt werden.

2.4.2 A-studio

Das A-Studio Programm läuft nach dem Prinzip der Pixelbearbeitung. Es ist somit ein 2Dimensionales Bildbearbeitungsprogramm. Es arbeitet mit DICOM, RAW und ULM Dateien. Die Hauptaufgabe dieses Programms liegt, in der mathematischen Berechnung und Auswertung von Strukturen in den CT-Bildern.

2.5 Die Messungen

Alle Daten wurden in der Abteilung für Röntgendiagnostik der Universität Ulm von röntgenologisch Technischen Assistenten (RTA) erhoben. Die CT-Daten wurden auf einem speziellen Medium gespeichert. Es handelte sich um eine Magneto-Optical-Disc mit einer Kapazität von 2,3 Gigabyte. Somit waren die CT-Bilder jederzeit abrufbar. Des weiteren wurden Röntgenbilder in der Abteilung angefertigt. Die Bilder verblieben anschließend im Röntgenarchiv der gleichen Abteilung.

2.5.1 Die CT-Bilder

Von der MOD wurden die CT-Bilder auf die Festplatte gespeichert um sie anschließend auszuwerten. Man erhielt im Programm VG-StudioMax ein 3D-Bild beider Füße, sowie jeweils eine axiale, eine sagittale und eine frontale Aufnahme. Für die Bestimmung des Volumens, der Länge, der Breite sowie der Varus/Valgus Deformität war die axiale Aufnahme maßgebend. Für die Bestimmung des Tubergelenk-Winkels die sagittale Aufnahme.

Das Programm verfügt über einen Distanzmesser bestehend aus zwei Trennzeichen die sich durch eine Linie miteinander verbinden lassen. Man kann diese Trennzeichen überall platzieren und so die Distanz zwischen zwei angegebenen Punkten bestimmen. In diesem Fall wurde für die Längen- und Breitenbestimmung jeweils das CT-Bild mit der längsten Ausdehnung in axialer Aufnahme ausgewählt und vermessen. Für die Länge wurden die Trennzeichen im proximalen und distalen Anteil des Calcaneus platziert. Anatomisch gesehen war dies distal das Tuber Calcanei und proximal die Facies articularis cuboidea. Im gleichen CT-Bild wurde im rechten Winkel zur Längenbestimmung die Breite gemessen. Hier wurden die Trennzeichen medial und lateral des Calcaneus platziert. Dies war die Mitte zwischen Tuber calcanei und der Facies articularis cuboidea.
Es wurde jeder Fuß einzeln ausgewertet und dokumentiert. Das Programm gab als Maß eine Einheit in units an. Diese basieren auf virtuelle Voxel und müssen mit dem Pixel-Abstand multipliziert werden um eine metrische Einheit zu erhalten.

Die Varus/Valgus Deformität wurde auch in der axialen Aufnahme bestimmt. Das Programm verfügt hierfür über einen Winkelmesser. Er besteht aus drei Punkten die sich durch zwei Linien miteinander verbinden lassen. Für die Messung der Varus/Valgus Deformität wurde wieder die längste Ausdehnung des Calcaneus gewählt. Die Punkte für die Messung wurden so platziert, dass sie jeweils am Tuber calcanei, am Processus articularis cuboidea und in der Mitte zwischen diesen beiden Punkten, wo der Calcaneus sich verknickt, ansetzten. Die Linien die, diese drei Punkte

verbinden wurden jeweils parallel zum medialen Anteil des Calcaneus platziert. So erhielt man durch das Programm eine direkte Gradangabe für die Varus/Valgus Deformität.

Der Tubergelenk Winkel wurde ebenfalls mit dem Winkelmesser bestimmt. Für diese Bestimmung wurde die sagittale CT-Aufnahme verwendet. Der erste Punkt wurde am höchsten Vorsprung des anterioren Anteils des Calcaneus angesetzt, der zweite am höchsten Vorsprung der posterioren Facette und der dritte Punkt am höchsten Vorsprung des Tuber calcanei. Somit wurden diese drei Punkte durch zwei Linien verbunden die sich an der Tuberositas tangential schnitten und somit den Tubergelenk Winkel bildeten. Dieser wurde wiederum in Grad angegeben.

Bei der Volumenberechnung nahm man sich sowohl das VG-Studio Programm, wie auch das A-Studio Programm zur Hilfe. Zunächst wurde in der axialen Aufnahme im VG-Studio der Calcaneus vom übrigen Knochen segmentiert, das heißt herausgeschnitten. Man musste dabei jedes Bild einzeln abfahren und das Fersenbein vom übrigen Fuß abtrennen. Somit erhielt man den segmentierten Calcaneus mit seinen umgebenden Weichteilen als 3D-Bild. Anschließend wurden die Daten gespeichert und ins A-Studio exportiert und dort weiterverarbeitet. Die Bestimmung des Volumens wurde mit Hilfe eines Messwerkzeuges, dass das Programm bietet, durchgeführt. Mit diesem Messwerkzeug konnten die Weichteile herausgefiltert werden und das Volumen schließlich berechnet werden.

2.5.2 Die Röntgenbilder

Bei den Röntgenbildern handelte es sich um Standardaufnahmen des Calcaneus in zwei Ebenen, eine axiale und eine seitliche Aufnahme. Die Röntgenbilder wurden in der Abteilung für Röntgendiagnostik der Universität Ulm angefertigt während der post-operativen Phase sowie der ambulanten Wiedervorstellung der Patienten.
Bei 11 Patienten lagen vollständige Röntgenbilder vor. Bei 5 Patienten waren die Röntgenbilder nicht mehr vorhanden. Bei der Auswertung wurde in der seitlichen Aufnahme der Tubergelenk Winkel nach Böhler und die Länge des Fersenbeines gemessen. In der axialen Aufnahme wurde die Breite gemessen und dokumentiert um sie später mit den CT-Daten zu vergleichen.

2.6 Statistik

Die Patienten wurden deskriptiv ausgewertet. Es wurde stets der Median bestimmt, mit einer min/max Angabe.
Es wurde ebenfalls stetige Merkmale und Variablen bestimmt.

3.ERGEBNISSE

3.1 Alters- und Geschlechtsverteilung

Das durchschnittliche Alter der Patienten lag zum Untersuchungszeitpunkt bei 49 Jahren. Es handelte sich um 14 Männer und 2 Frauen, wobei das Alter nach Geschlechtern verteilt bei den Männern im Durchschnitt 49 und bei den Frauen 47 Jahre betrug.

3.2 Auswertung der CT-Bilder

Es wurden 16 Patienten postoperativ mittels Computertomographie und konventioneller Röntgenaufnahme untersucht.
In den folgenden Darstellungen werden zunächst die CT-Bilder ausgewertet. Es wird auf die Frakturlokalisation sowie auf die einzelnen Messparameter des Calcaneus eingegangen. Anschließend erfolgt ein Vergleich zwischen der frakturierten und der normalen Seite des Calcaneus. Letztendlich werden die CT-Bilder mit den Röntgenbildern verglichen.

3.2.1 Frakturlokalisation

Es handelte sich bei den Frakturen um 6 rechts-, 8 links- und 2 beidseitige Frakturen.

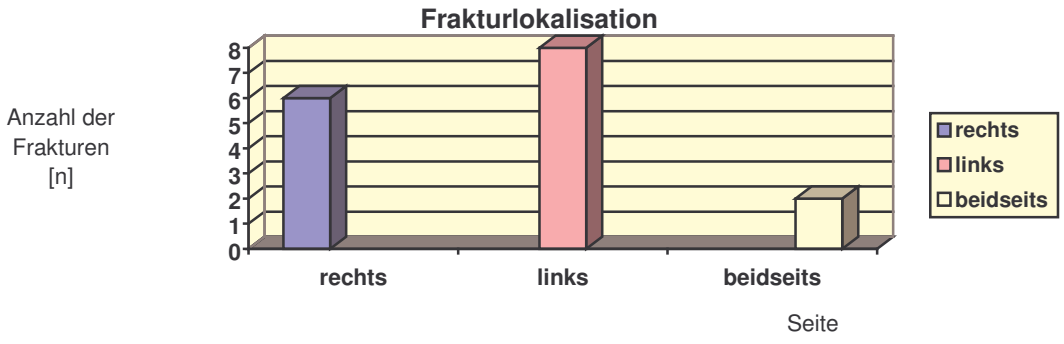


Abb. 6: Übersicht über die Seitenverteilung der Frakturen.

3.2.2 Länge der Calcanei

Bei der Längenbestimmung zeigte sich in der post-operativen Verlaufskontrolle ein minimaler Unterschied in der Länge zwischen der frakturierten und der normalen Seite. Es stellte sich heraus, dass die frakturierte Seite im Median 84,29 (min72, 89/max92,98) mm und die normale Seite im Median 84 (min74,46/max92,65) mm lang waren. Dies ergibt eine minimale Differenz von 0,29 mm im median zwischen der frakturierten und der gesunden Seite. Somit zeigte sich eine Verlängerung des frakturierten Calcaneus um 0,29 mm im median im Vergleich zur gesunden Gegenseite.

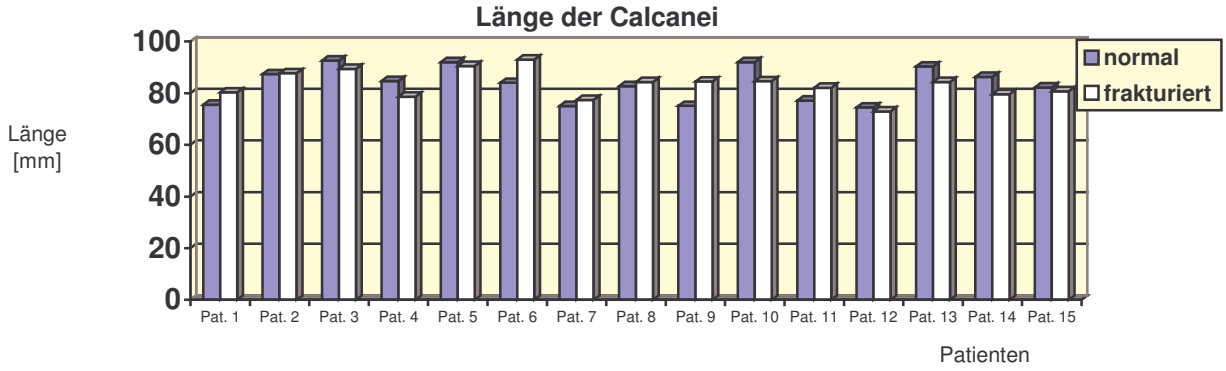


Abb. 7: Länge der Fersenbeine im Vergleich zwischen normalem und frakturiertem Fuß des Patienten.

3.2.3 Breite der Calcanei

Bei 14 von 15 Patienten lag eine Verbreiterung des Fersenbeines vor. Ein Patient mit beidseitiger Fraktur wurde nicht berücksichtigt. Im median betrug die normale, nicht frakturierte Seite 27,59 (min20,81/max37,91) mm. Die frakturierte Seite betrug im median 34,74 (min26,19/max 44,59) mm. Dies ergab somit eine Verbreiterung des Calcaneus um 7,15 mm im median im Vergleich zur gesunden Gegenseite.

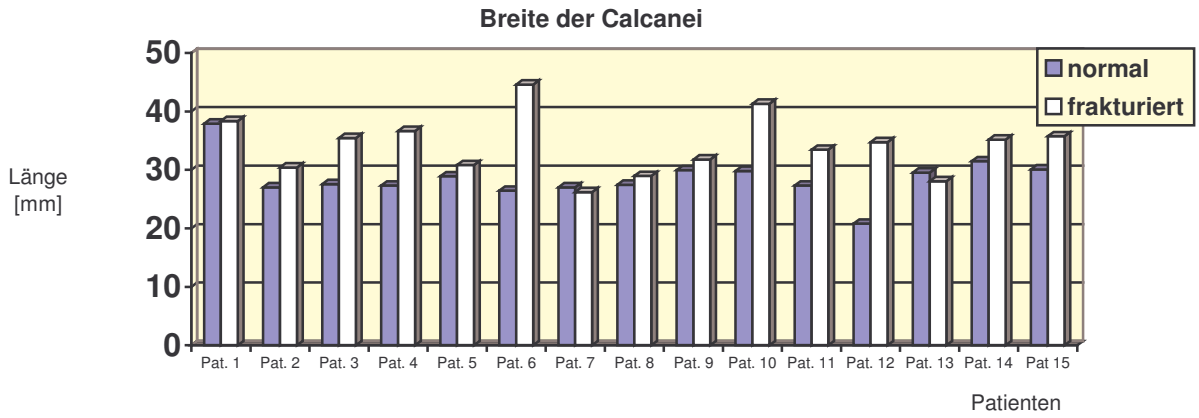


Abb. 8: Breite der Calcanei im Vergleich zwischen normalem und frakturiertem Fuß des Patienten.

3.2.4 Höhe der Calcanei

Bei 9 von 15 Patienten zeigte sich postoperativ eine Abnahme in der Höhe des frakturierten Fersenbeines. Die Höhe betrug auf der frakturierten Seite im median 32,15 (min23,50/max58,54) mm. Auf der gesunden Seite betrug sie im median 32,75 (min27,12/max58,37) mm. Somit kam es zu einer Abnahme der Höhe auf der frakturierten Seite von 0,6 mm im median.

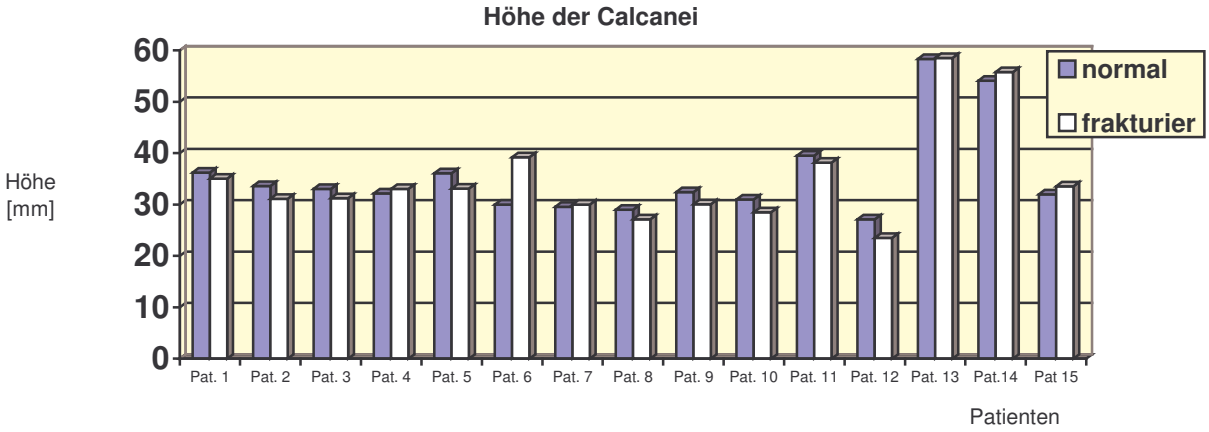


Abb. 9: Höhe der Calcanei im Vergleich zwischen normalem und frakturiertem Fuß des Patienten.

3.2.5 Tubergelenkwinkel

Der Tubergelenkwinkel nach Böhler liegt beim Gesunden zwischen 20 und 40 Grad. Bei Frakturen kann es zur Abflachung, Aufhebung oder sogar Negativierung des Tubergelenkwinkels kommen. Hier wurde er zunächst mittels CT und anschließender 3D-Visualisierung am Computer berechnet. Bei den 16 Patienten erfolgte eine Reposition mit Anhebung der imprimierten Gelenkfragmente und Wiederherstellung der Gelenkflächen. Der Tubergelenkwinkel betrug auf der frakturierten Seite 22° (min14°/max33°) im median und auf der gesunden Seite
26° (min19°/max36°).
Somit zeigte sich eine Abnahme des Winkels um 4° im Median im Vergleich zur gesunden Seite.
Bei 3 Patienten war er technisch nicht messbar.

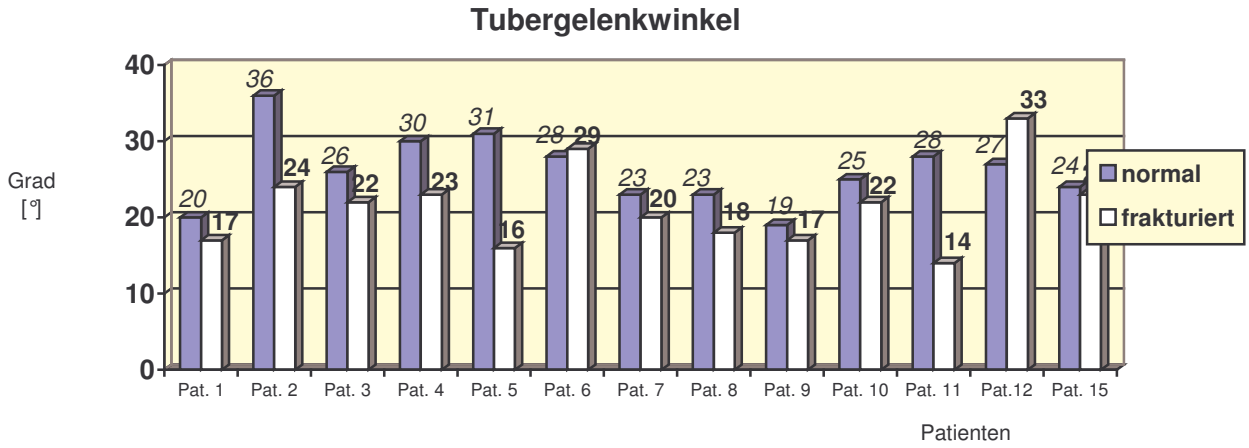


Abb. 10: Tubergelenkwinkel im Vergleich zwischen normalem und frakturiertem Fuß des Patienten.

3.2.5 Varus- Valgusdeformität

Normalerweise liegt ein physiologischer Valgus des Fersenbeines vor. Bei den meisten Frakturen kommt es zur Varisierung des Rückfußes.
Bei 12 Patienten lag auf der frakturierten Seite ein Valgus von 27,5°(min8°/max47°) vor. Bei den hier untersuchten Patienten betrug der Valgus des normales Fußes im median 29° (min10°/max44°).
Das ist eine Seitendifferenz von 1,5° im median.

Bei 3 Patienten lag ein Varus von 8° (min8°/max10°) vor.

Somit wurde das Fersenbein, durch die OP, der physiologischen Form fast immer angepasst.

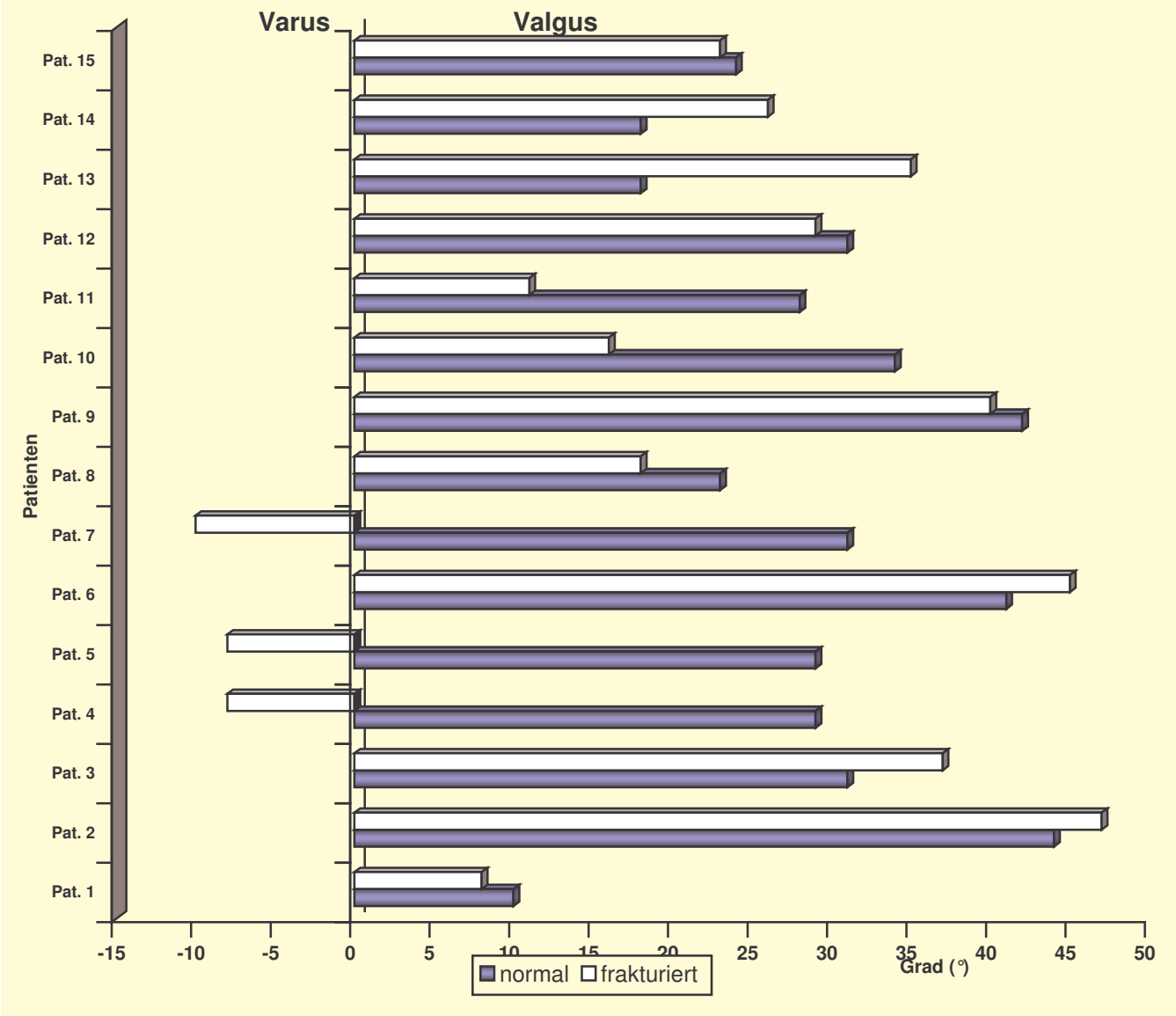


Abb. 11: Varus- und Valgusdeformität im Vergleich zwischen normalem und frakturiertem Fuß.

3.3 Vergleich der CT-Bilder mit den konventionellen Röntgenbildern

3.3.1 Vergleich der Länge der Calcanei

Es wurde die Länge der frakturierten Fersenbeine zwischen den CT-Bildern und den Röntgenbildern verglichen. Es fanden sich annähernd identische Werte für die Länge der Fersenbeine. Die Länge auf den CT-Bildern betrug 84,51 (min77,37/max91,99) mm im median und auf den Röntgen-Bildern 81 (min71/max91) mm. Somit ergibt sich eine Differenz von 2,49 mm im median. Somit war das Fersenbein auf den Röntgenbildern im median um 2,49 mm kürzer als auf den CT-Bildern.

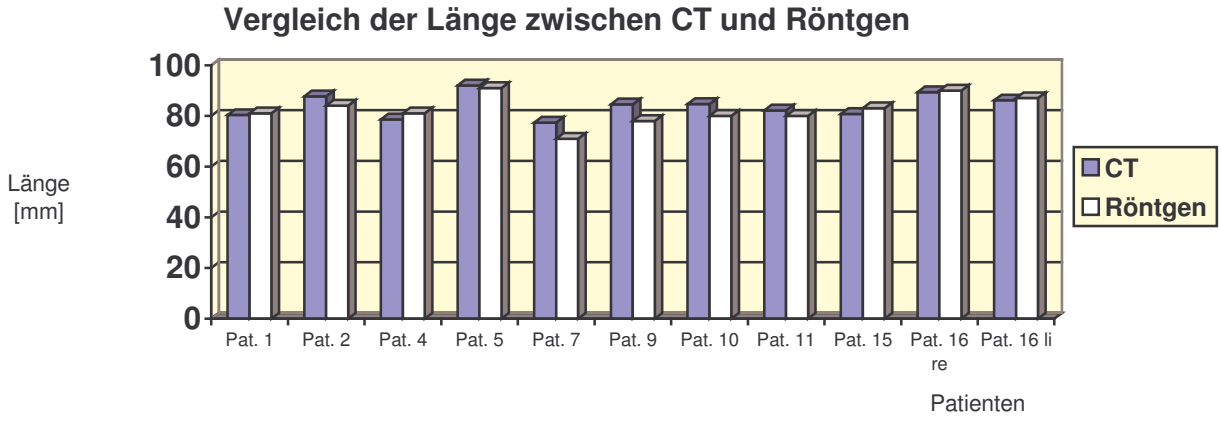


Abb. 12: Vergleich der Länge des frakturierten Fußes zwischen CT- und Röntgenbildern.

3.3.2 Vergleich der Breite Calcanei

Die Breite der frakturierten Seite betrug auf den CT-Bildern im median 33,46 (min27,03/max41,32) mm. Im Vergleich dazu betrug die Breite auf den Röntgenbildern 35 (min29/max42) mm. Somit zeigte sich eine Differenz von 1,54 mm im median zwischen den zwei Auswertungsverfahren (CT und konventionelles Röntgen).

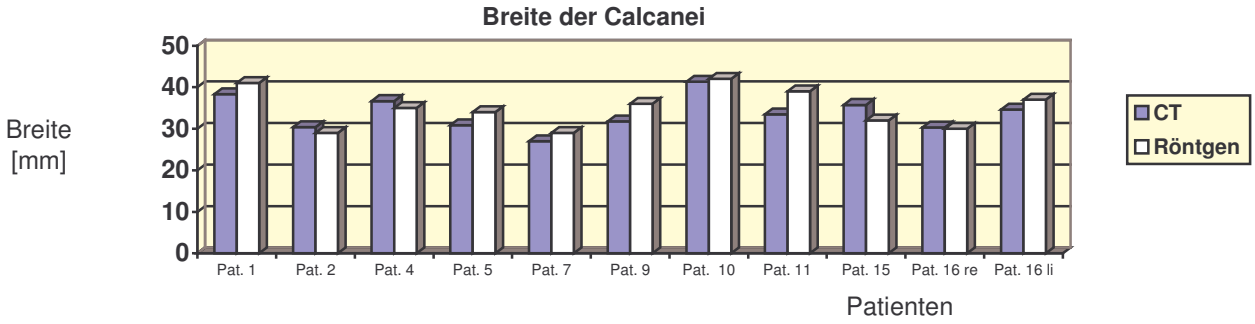


Abb. 13: Vergleich der Breite des frakturierten Fußes zwischen CT- und Röntgenbildern.

3.3.3 Vergleich des Tubergelenkwinkels

Beim untersuchten Kollektiv ergab sich auf den CT-Bildern ein Tubergelenkwinkel von 22° (min14°/max39°) im median. Die Röntgenbilder zeigten einen Winkel von 21° (min–15°/max40°) im median. Somit zeigt sich ein Unterschied von 1° im median zwischen den CT-und den Röntgenbildern.

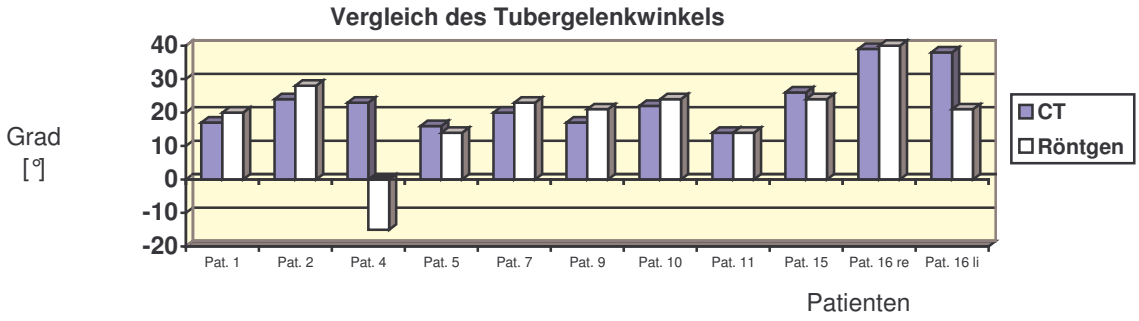


Abb. 14: Vergleich des Tubergelenkwinkels des frakturierten Fußes zwischen CT-und Röntgenbildern.

4 Diskussion

4.1 Vergleich Alters- und Geschlechtsverteilung

In der Studie von Rammelt et al.[41] wurden 314 Patienten mit einer Calcaneusfraktur untersucht, wobei das Durchschnittsalter dieser Patienten bei 42,3 Jahre lag.
Freund et al.[42] untersuchten 25 Patienten im Alter von 29-75 Jahren, mit einem Durchschnittalter von 50,8 Jahren.
In der Publikation von Asik et al.[40] beträgt das Durchschnittsalter des untersuchten Patientenkollektivs 28,3 (von 17-54) Jahre. Dabei handelte es sich um 15 Männer und 4 Frauen.
Bauer und Kinzl[2] untersuchten 35 Patienten mit einem Durchschnittalter von 46 Jahren (16-65 Jahren).

Diese Studie zeigte ebenfalls in der Geschlechtsverteilung, dass die Männer gegenüber den Frauen häufiger von einer Fersenbeinfraktur betroffen waren. Der prozentuelle Anteil lag dabei bei 87,5% bei den Männern und 12,5% bei den Frauen. Dies ist ein Verhältnis von 7:1.

Bei den meisten Autoren zeigte sich ein in der Frakturhäufigkeit ein Überwiegen des männlichen Geschlechts gegenüber dem weiblichen Geschlecht:

Asik et al. [40]	15 Männer (78,9%) zu 4 Frauen (21,1%)
Bauer et al. [2]	27 Männer (77,1%) zu 8 Frauen (22,8%)
Eigenes Kollektiv	14 Männer (87,5%) zu 2 Frauen (12,5%)

Die Verhältnisse in der Geschlechtsverteilung variieren in der Literatur:

Sieber et al.[43]	Männer zu Frauen 3,4:1
Kerr et al. [44]	Männer zu Frauen 6 :1

Speck et al. [29]	Männer zu Frauen 7,8 :1
Eigenes Kollektiv	Männer zu Frauen 7:1

Aus diesen Studien geht somit hervor, dass das männliche Geschlecht in der Frakturhäufigkeit vorwiegend überwiegt. Dabei ist zu bedenken, dass die meisten Fersenbeinfrakturen als Arbeitsunfälle durch Stürze aus großen Höhe entstehen (z.b. Bau- und Gerüstarbeiter) und somit meistens Männer im erwerbsfähigem Alter betroffen sind.

4.2 Vergleich des Patientenkollektivs

Bei dem hier untersuchten Kollektiv handelte es sich um 16 Patienten mit 14 unilateralen (6 rechts- und 8 linksseitige) und 2 bilateralen Frakturen.
Asik M. et al. [40] evaluierten für ihre Studie 19 Patienten, bei denen es sich um 12 unilaterale und 7 bilaterale Frakturen handelte.
Gupta et al.[46] untersuchten 32 Patienten mit 28 unilateralen und 2 bilateralen Frakturen.
Somit konnte ein vergleichbares Patientenkollektiv in dieser Studie untersucht und ausgewertet werden.

4.3 Bewertung der Ergebnisse

Ein wesentlicher Faktor für die Beurteilung der Ergebnisse ist die Wiederherstellung der anatomischen und physiologischen Gegebenheiten des Fersenbeines nach der Fersenbeinfraktur.
Hiernach sollte die Gelenkverletzung fugenlos rekonstruiert werden.
Daher sollten vor allem die klassischen Verformungskriterien wie Abnahme der Höhe, Abnahme der Länge, Zunahme der Breite, Abnahme des Tubergelenkwinkels rekonstruiert werden. Dies ermöglicht eine bessere Biomechanik des Rückfußes.

Die Bestimmung der Länge sowie der Breite der Calcanei erfolgte auf den CT-Bildern in der axialen Aufnahme, weil dort die Aussagekraft der Deformität am besten ist. Freund et al.[42] kamen zu dem selben Ergebnis. Sie stellten fest, dass der Nachweis einer Verbreiterung oder Verkürzung in den axialen Schnittbildern zu 92 bzw. 64% gegenüber anderen Ebenen am besten sind.
Die Calcaneusfraktur führt im Regelfall beim typischen Trauma durch axiale Stauchungsbelastung zu einer Verbreiterung sowie Verkürzung des Knochens und somit des ganzen Rückfußes. In der Studie von Andermahr et al. [45] wurden morphometrische Analysen durchgeführt anhand von CT-Untersuchungen, die unabhängig von einer Frakturklassifikationen waren. Es wurde stets die Gesunde mit der frakturierten Seite verglichen und es zeigte sich eine Verbreiterung sowie eine Verkürzung des Fersenbeines. Sie stellten fest, dass es zu einer Zunahme der Breite von 30,5 mm auf 40,6mm kam, also um 10,1mm.
Die Länge des Fersenbeines nahm von 76,5mm auf 72,9mm, also um 3,6mm ab.
Verglichen mit der hier vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass sowohl die Länge als auch die Breite, in den CT-Untersuchungen, zum größten Teil wiederhergestellt werden konnte. Es stellte sich postoperativ heraus, dass es zu einer Längenzunahme von nur noch 0,29 mm kam. Verglichen mit der Breite zeigte sich postoperativ eine Verbreiterung von nur
7,15 mm.
Pailey und Hall fanden heraus, dass eine Verbreiterung der Ferse mit schlechten Ergebnissen vergesellschaftet sei. Bei diesen Patienten zeigte sich bei der Nachuntersuchung eine posttraumatischen Arthrose.

Vergleicht man nun dazu die Ergebnisse der CT-Untersuchungen mit denen der Röntgenbilder für die Länge und die Breite, dann stellt man fest, dass es zu annähernd identischen Werte kommt.
Die Röntgenbilder zeigten eine Verkürzung des Fersenbeines um
2,49 mm und eine Verbreiterung um 1,54 mm.
Diese Messunterschiede ließen sich dadurch erklären, dass man die CT-Bilder mittels Computerprogramm genauer berechnen konnte. Die Trennzeichen, die für diese Messung herangezogen wurden, konnten millimetergenau platziert werden. Dieses ist

bei den Röntgenbildern nicht der Fall. Hier musste mit dem Lineal gemessen werden und dies führte oft zu ungenaueren Messungen. Das liegt daran das für die radiologische Beurteilung des Calcaneus bestimmte Einstelltechniken vorhanden sein müsse. Ein weiterer Faktor den man berücksichtigen muss, ist der Vergrößerungseffekt der bei Röngtenbildern entsteht [4].
Man muss ebenfalls berücksichtigen, dass Röntgenbilder und CT-Bilder nicht am selben Tag erstellt worden sind, so dass durch die Zeitspanne die dazwischen lag (Tage-Jahre) Umbauvorgänge am Knochen stattgefunden haben und dementsprechend Messfehler auftreten können. Der Knochen könnte dabei hypertrophiert oder hypotrophiert worden sein.
Die Bestimmung der Höhe erfolgte in den sagittalen Aufnahmen. Ein Nachweis der Höhenbestimmung des Fersenbeines ist in den axialen Aufnahmen aufgrund der Abbildungsgeometrie nicht möglich.
Es konnte gezeigt werden, dass bei 9 von 15 Patienten, also bei 60%, die Höhe im Vergleich zur gesunden Seite abnimmt. Dabei nahm die Höhe von 32,75 auf 32,15 mm ab. Dies ist eine Differenz von 0,6 mm.
Freund et al.[42] wählten ebenfalls für die Auswertung der Höhenabnahme diese Schnittebene. Sie zeigten ebenfalls, dass bei 56% ihrer Patienten eine Höhenabnahme resultierte.
Andermahr et al. [45] stellten bei ihren Patienten eine Höhenabnahme von 45,5 auf 37,9 mm ab, also im Mittel 7,6 mm.

Der Tubergelenkwinkel nach Böhler liegt normalerweise beim Gesunden zwischen 20 und 40°. Bei Frakturen nimmt dieser Winkel sehr stark ab und muss somit operativ aufgerichtet wird. Bei den hier untersuchten Patienten betrug er postoperativ auf der frakturierten Seite im median 22°. Die gesunde Gegenseite, die zum Vergleich dazu genommen wurde, zeigte einen Böhler-Winkel von 26°. Dies bedeutet, dass dieser Winkel beim hier vorliegenden Patientengut aufgerichtet werden konnte. Zunächst wurden hier die CT-Bilder ausgewertet.
Bei der Nachuntersuchung ihres Patientenguts stellten Schuh und Hausel [28] bei ihren Patienten einen Böhlerwinkel von 27,56° fest. Sie konnten zeigen, dass dieser Winkel nach operativ versorgten Calcaneusfrakturen um 22,13° aufgerichtet wurde. Dabei

wurden die postoperativ mit den präoperativ durchgeführte CT-Bildern des frakturierten Calcaneus verglichen.

Die Röntgenbilder zeigten im Vergleich dazu, dass der Böhler-Winkel auf 21° aufgerichtet werden konnte. Bei einem Patienten war der Winkel sogar negativ und somit nicht rekonstruierbar. Dies bedeutet, dass bei 91% der Patienten der Böhler-Winkel anatomisch rekonstruiert wurde. Thermann et al.[32] konnten bei 82% ihrer Patienten den Winkel anatomisch rekonstruieren.
Pailey und Hall fanden ebenfalls heraus, dass eine postoperativ extreme Verkleinerung des Böhler-Winkels mit schlechten Ergebnissen vergesellschaftet sei. Bei diesen Patienten kam es zu einer posttraumatischen Arthrose.
Vergleicht man nun den Tubergelenkwinkel in den Aufnahmen der CT-Bilder mit dem der Röntgen-Bilder, so kommt man zu einer Differenz von 1° zwischen den CT-Bildern und den Röntgenbildern.
Man sieht hier, dass die Messergebnisse fast identisch sind.

Die Bestimmung der Varus/Valgus-Deformität erfolgte ebenfalls in axialer Schnittebene. Freund et al. [42] führten diese Untersuchungen ebenfalls in axialer Schnittebene durch, wobei sie die Aussagekräftigsten Ergebnisse erhielten.
Die Varusdeformität konnte durch die operative Versorgung zum größten Teil behoben werde. Es zeigte sich bei 20% der Patienten eine varische Ausrichtung des Rückfußes.
Thermann et al.[32] stellten bei 13,2% ihrer Patienten einen eine annähernd ähnliche Häufigkeit eines Rückfußvarus fest.
Somit konnte gezeigt werden, dass bei 80% der Patienten die Ausrichtung des Rückfußes wiederhergestellt wurde. Dies ist sehr wichtig für die Statik des Fußes um Fehlbelastungen zu vermeiden und damit einer Arthrose in den angrenzenden Gelenken vorzubeugen [34]. In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass bei 12 der 15 Patienten eine prognostisch ungünstige Varusfehlstellung vermieden werden konnten.

Die Bestimmung des Volumens der Fersenbeine war mit dem hier verwendeten Softwareprogrammen nicht möglich. Das Programm konnte Hohlräume und Osteosynthesematerial vom übrigen Knochen nicht unterscheiden und somit nicht berechnen. Außerdem ließen sich die Pixelangaben für die Fersenbein nicht in einen metrischer Wert (cm, mm..) umwandeln.

4.4 Visualisierung der Fersenbeinfraktur mittels Computer

Mit Hilfe dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass die Auswertung der CT-Bilder mittels multiplanarer und dreidimensionaler Rekonstruktionen am Computer mit Hilfe einer speziellen Software sehr genau berechnet werden können.
Zwar führten die Röntgenbilder zu ähnlichen Ergebnissen, doch das richtige Ausmaß der Fraktur bzw. die erfolgreich durchgeführte Rekonstruktion des Fersenbeines nach einer Fraktur ließen sich am besten in den CT-Bildern beurteilen.

Burkhardt et al. [51] stellten fest, dass bei komplizierten Gelenkverletzungen die Visualisierung von Frakturen mittels CT, die Computertomographie eine bessere Darstellungsmöglichkeit als konventionelle Röntgenaufnahmen liefert. Durch die Multiplanaren und dreimensionalen Rekonstruktionen von komplizierten Frakturen lassen sich Fragmentdislokationen besser beurteilen. Außerdem liefern sie sehr genaue Informationen über Luxationsfehlstellungen des Gelenks, Trümmerzonen und Impressionen im Bereich der Fraktur. Dies führt neben einer erhöhten Qualität der Frakturlokalisation auch zu einem besseren Verständnis des Verletzungsmusters.
In diesem Sinne stellt Josten [31] fest, dass die differenzierte Therapie der Fersenbeinfraktur eine einheitliche Klassifikation voraussetzt. Die Nativröntgendiagnostik ist nicht ausreichend um diese Klassifikation und die weitere Therapieplanung festzulegen, so dass die Indikation zur Computertomographie großzügig zu stellen ist.

Kotsianos et al. [49] kamen zu dem selben Ergebnis. Sie konnten zeigen, dass zwar eine Fraktur des Fersenbeines in den konventionellen Röntgenaufnahmen erkannt wird, das Ausmaß der Fraktur aber mit diesem Verfahren nicht ausreichend klassifiziert werden kann.
Liow et al. [51] konnte die Überlegenheit der Schnittbilddiagnostik in der Frakturerkennung bei Multiplanaren Gelenkflächen im Vergleich zum konventionellen Röntgen aufzeigen. Außerdem ließen sich Randkonturen und trabekuläre Strukturen mit diesem Verfahren am besten erkennen.

Die spezielle Software, die hier verwendet wurde erstellt aus Schnittbilduntersuchungen im DICOM-Format einen Volumendatensatz, der durch beliebige 2D-Rekonstruktionen und 3D-Darstellungen visualisiert werden kann. Es stehen hier interaktive Messinstrumente, geometrische Orientierungshilfen und ein anatomisch definiertes Koordinatensystem zur Verfügung. Somit können diese für die Auswertung der CT-Bilder und der postoperativen Bewertung der Fersenbeinfraktur leicht genutzt werden.
Dahlen und Zwipp [52] führten eine Studie mit einer vergleichbaren Software durch. So war es Ziel Ihrer Arbeit eine virtuelle Planung von Operationen am Skelett festzulegen. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass der Operateur am eigenen Arbeitsplatz die jeweiligen Schnittbild-Untersuchungen selber auswerten kann und weder personell, zeitlich noch örtlich von den Gegebenheiten in einer Klinik abhängig ist. Außerdem zeigten sie, dass die Genauigkeit der Vermessung von CT-Bildern mit Hilfe dieser Software zur Operationsplanung sehr präzise ist und den konventionellen Röntgenbildern sehr überlegen ist.

Schlussfolgerung:

Die Ergebnisse dieser Studie konnten zeigen, dass in der Mehrzahl der Fälle die Rekonstruktion von Anatomie und Gelenkfläche des Calcaneus wiederhergestellt wurde. Diese sind wichtige prognostische Faktoren um Folgeschäden, wie z.B. eine Arthrose zu vermeiden.

Die konventionellen Röntgenaufnahmen sind für die exakte Klassifikation und Therapieplanung der Fersenbeinfraktur nicht ausreichend, so dass die Indikation zur CT besteht [1,31,48].

Mit Hilfe einer voxelbasierten Software lassen sich multiplanare Bilder und 3D-Rekonstruktionen leicht für den Operateur am Computer visualisieren [52]. Somit kann eine Operation besser geplant werden und das Ergebnis nach der Operation einfacher ausgewertet werden.

Hinsichtlich der Software sollte die Bedienoberfläche vereinfacht und dem jeweiligen Aufgabenbereich angepasst werden. So lässt sich eine Komplexität bei ihrer Bedienung verhindern und eine Übersicht und Handhabung erleichtern.

Man sollte ebenfalls ein Protokoll erstellen um Planungsabläufe zu standardisieren. Somit lassen sich bei verschiedenen Anwendern die Ergebnisse vergleichen.

Auch sollten die objektiven Ergebnisse mit dem subjektiven Empfinden des Patienten verglichen werden, um so ein vollständiges Bild des Behandlungserfolg der Fersenbeinfraktur zu bekommen.

Letztlich muss ein größeres Kollektiv untersucht werden, um die Ergebnisse zu validieren.

5 Zusammenfassung

Calcaneusfrakturen gehören zu den am meisten vorkommenden Frakturen des Fußes. Sie führen in den meisten Fällen zu einer pathologischen Veränderung der Anatomie des Rückfußes und somit zu einer erheblichen Funktions- und Bewegungs-Einschränkung des Patienten. Die Wahl der richtigen Behandlung ist ausschlaggebend um Spätfolgen zu vermeiden.

Die hier durchgeführte Studie untersuchte 16 Patienten mit 18 Calcaneusfrakturen. Die postoperativ durchgeführten radiologischen Aufnahmen, konventionelle Röntgenbilder und CT-Bilder der Calcanei, wurden ausgewertet um den Behandlungserfolg nach operativer Rekonstruktion des Calcaneus zu dokumentieren. Dabei wurde stets der frakturierte Calcaneus mit der gesunden Gegenseite verglichen. Die Frakturen wurden hauptsächlich plattenosteosynthetisch versorgt.

Für die Auswertung der CT-Bilder wurde ein spezielles Computerprogramm verwendet, das zweidimensionale und dreidimensionale Rekonstruktionen am Computer zulässt. Mit Hilfe dieser Software ließ sich das Fersenbein präzise vermessen und so eine genaue Aussage über den Behandlungserfolg machen.

Es konnte gezeigt werden, dass in der Mehrzahl der Fälle die anatomische Rekonstruktion des Fersenbeines nach einer Fraktur gelang. Dabei nimmt heutzutage die Anwendung der Computertomographie und der dreidimensionalen Visualisierung der Bilder eine zentrale Rolle in der Beurteilung von Frakturen ein.

Zur weiteren Anwendung des hier benutzten Softwareprogramms im alltäglichen klinischen Einsatz, sollte eine benutzerfreundliche und einfache Bedienoberfläche erstellt werden. Komplexe Vorgänge sollten vermieden werden und ein standarisiertes Verfahren zur Messung geschaffen werden. Somit könnten die Ergebnisse bei verschiedenen Anwendern verglichen werden.

6 Literaturverzeichnis

1. Andermahr J., Jesch B., Helling H-J., Jubel A.: CT-Morphometrie der Fersenbeinfraktur und Vergleich der Klassifikation von Zwipp und Sanders Z Orthop 140: 339-346 (2002)

2. Asik M., Sen C. :Surgical management of intraarticular fractures of the calcaneus. Arch Orthop Trauma Surg 122: 354-359 Apr 16 (2002)

3. Bauer G, Mutschler W, Heuchemer T, Lob G: Fortschritte in der Diagnostik der intraartikulären Calcaneusfrakturen durch die Computertomographie. Unfallchirurg 90: 496-501 (1987)

4. Bauer G, Kinzl L: „Low-contact-Platte“ zur Stabilisierung der dislozierten intraartikulären Calcaneusfrakturen. Chirurg 67: 1129-1134 (1996)

5. Bell C: Compound fracture of the os calcis. Edinburgh M J 27: 1100 (1882)

6. Böhler L: Diagnosis, pathology and treatment of fractures of the os calcis. J Bone Joint Surg. 13: 75-89 (1931)

7. Böhler L: Die Technik der Knochenbruchbehandlung. Bd.II 13.Aufl. Maudrich, Wien S. 15-18 (1977)

8. Bradley S, Davies AM: Computed tomographic assesment of soft tissue abnormalitities following calcaneal fractures. Brit. J. Radiol. 65: 105-111 (1992)

9. Brunner U, Kenn RW, Slawik J, Schweiberer L: Die intraartikuläre Kalkaneusfraktur:Klassifikation im CT als Voraussetzung zur Therapieentscheidung und zum quantitativen Vergleich. Unfallchirurg 95: 358-366 (1992)

10. Brunner U, Kenn RW, Slawik J, Schweiberer L: Die intraartikuläre Calcaneusfraktur:Therapierichtlinien im CT.Hefte Unfallchirurg 230: 245-250 (1993)

11. Brunner U, Schweiberer L: Verletzungen des Talus und des Kalkaneus.Unfallchirurg 99: 136-151 (1996)

12. Burkhardt M., Gänsslen A., Uder M., Pohlemann T.: Neue Möglichkeiten der Visualisierung von Frakturen mittels CT: Rekonstruktionen, 3D-Planungen. Schwierige Gelenkverletzungen – Modernes Management – Verbesserte Bildgebung und Operationsplanung bei Gelenkverletzungen Zentrallbl Chir 128: 34-39 (2003)

13. Carr JB: Mechanism and pathoanatomy of intraarticular calcaneal fracture. Clin Orthop 290: 36-40 (1993)

14. Clark L.G.: Fracture of the os calcis. Lancet 1:403 (1855)

15. Crosby LA, Fitzgibbons T: Computerized Tomography Scanning of Acute Intra Articular Fractures of the Calcaneus. J Bone Joint Surg 72-A: 852-859 (1990)

16. Crosby LA, Kamins P: The history of the calcaneus fracture. Ortop Rev 20: 501-509 (1991)

17. Dahlen C, Zwipp H: Computer-assistierte OP-Planung.3D-Software für den PC. Unfallchirurg 104: 466-479 (2001)

18. Debrunner HU : Biomechanik des Fußes. Bücherei des Orthopäden. Bd. 49 Enke. Stuttgart S. 35-40 (1985)

19. Essex-Lopresti P: The mechanism, reduction technique and results in fractures of the os calcis. Br J Surg 39: 395-419 (1952)

20. Forgon H, Zadravecz G: Anatomie der Ferse. Unfallheilkunde 200: 2-8 (1988).

21. Freund M., Hohendorff B., Zenker W. et al.: CT von Kalkaneusfrakturen: 3D-Rekonstruktionen mit elektronischer Desartikulation. Fortschr. Röntgenstr. 164: 189-195 (1996)

22. Fuchs M, Burchhardt H, Dresing K, Radebold T, Stürmer: Die Resektion des Fersenbeins als Therapieoption bei Osteitis nach offener Fersenbeinfraktur.Unfallchirurg 103: 602-606 (2000)

23. Gehr J, Schmidt A, Friedl W: Die Kalkaneuspseudarthrose, eine klinische Rarität. Unfallchirurg 103: 499-503 (2000)

24. Gissane W: Fractures of the os calcis. J Bone Joint Surgery 29: 254-255 (1947)

25. Gupta A., Ghalambor N, Nihal A, Trepman E.: The modified Palmer lateral approach for calcaneal fractures: wound healing and postoperative computed tomographic evaluation of fracture reduction. Foot Ankle Int 24: 744-753 (2003)

26. Häberle HJ, Minholz R, Bader C, et al.: CT-Klassifikationen intraartikulärer Kalkaneusfrakturen. Fortschr. Röntgenstr. 159: 48-554 (1993)

27. Harty M: Anatomic considerations in injuries of the calcaneus. Orthop. Clin. North America 4: 179-183 (1973)

28. Hasse FM, Nürnberger H.: Kalkaneusfraktur. In: Hasse FM, Nürnberger H (Hrsg.) Klinikleitfaden Chirurgie Urban&Fischer, München Jena S.869-870 (2002)

29. Henne-Bruns D, Dürig M, Kremer B: Kalkaneusfraktur. In: Henne-Bruns D, Dürig M, Kremer B (Hrsg.) Chirurgie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart S.1233-1235 (2001)

30. Heuchmer T, Bargon G, Bauer G, Mutschler W: Computertomographie nach intraartikulärer Kalkaneusfraktur.Unfallchirurg 95 : 31-36 (1992)

31. Josten Ch., Korner J.: Kalkaneusfrakturen. Trauma Berufskrankh. 3: 201-207 (2001)

32. Kerr PS, Pape M, Jackson M, Atkins RM: Early experience with the AO Calcaneal fracture plate. Injury 27: 35-38 (1996)

33. Kotsianos D., Rock C., Euler E., Wirth S. et al.: 3D-Bildgebung an einem mobilen chirurgischen Bildverstärker (ISO-C-3D). Unfallchirurg 104: 834-838 (2001)

34. Liow RY, Birdsall PD, Mucci B, Greiss ME: Spiral computed tomographywith two and three dimensional reconstruction in the management of tibial plateau fractures Orthopedics 22: 929-932 (1999)

35. Lowery RBW, Calhoun JH: Fractures of the Calcaneus Part I:Anatomy, Injury Mechanism and Classification. Foot Ankle Int. 17: 230-235 (1996)

36. Lowery RBW, Calhoun JH: Fractures of the Calcaneus Part II:Treatment. Foot Ankle Int.: 17: 360-366 (1996)

37. Lob G, Maier W: Die Wertigkeit verschiedener bildgebender Verfahren für die Beurteilung von Kalkaneusfrakturen. Hefte Unfallchirurg 181: 411-416 (1986)

38. Lob G., Mittlmeier Th.: Verletzungen des Calcaneus In: Breitner, Chirurgische Operationslehre Band XI, Traumatologie 4, Untere Extremität. E.Beck (Hrsg.) Urban&Schwarzenberg, 2.Auflage,
S. 193-194 (1990)

39. Mutschler W: Der Fersenbeinbruch - detaillierte Diagnostik, Klassifikation und Konsequenzen für die Therapie. Unfallchirurg 91: 486-492 (1988)

40. Mutschler W: CT-Klassifikation intraartikullärer Kalkaneusfrakturen. Fortschr.Röntgenstr. 159 : 548-554 (1993)

41. Netter HF : Atlas der Anatomie des Menschen. In: Netter HF (Hrsg) Ciba-Geigy Corporation, Summit, USA Tafel 494 (1997)

42. Paley D, Hall H: Intraarticular fractures of the calcaneus-a critical analysis of results and prognostic factors. J Bone Joint Surg[Am] 75: 342-354 (1993)

43. Rammelt S, Barthel, Biewener A, Gavlik JM, Zwipp H.: Calcaneus fractures. Open reduction and internal fixation. Zenralbl Chir. 128 : 517-28 (2003)

44. Sanders R: Displaced Intra-Articular Fractures of the Calcaneus. J Bone Joint Surg 82-2: 225-250 (2000)

45. Schuh A, Hausel M:Die Schwierigkeit in der Beurteilung von Nachuntersuchungsergebnissen bei plattenosteosynthetisch versorgter Kalkaneusfraktur.Gibt es einen praktikablen Score? Unfallchirurg 103: 295-300 (2000)

46. Siebert CH, Hansen M, Kranz HW, Wolter D: Langzeitergebnisse nach offenen intraartikuläre Fersenbeinfrakturen. Hefte Unfallchirurg 268 : 105-108 (1997)

47. Speck M, Klaue K: Klinische und radiologische Ergebniss nach offener Reposition und Osteosynthese von Calcaneus-Trümmerfrakturen.Hefte Unfallchirurg 268: 93-98 (1997)

48. Stephenson J: Treatment of displaced intraarticular fractures of the os calcaneus using medial and lateral approaches, internal fixation and early motion. J Bone Joint Surg [Am] 69: 115 (1987)

49. Stockenhuber K, Seggl W, Feichtinger G et al.: Die konservative und semikonservative Behandlung der Calcaneusfraktur. Orthopäde 20: 43-54 (1990)

50. Thermann H, Hüfner T, Schratt HE, Albrecht K, Tscherne H: Therapie intraartikulärer Fersenbeinfrakturen bei Erwachsenen - ein Behandlungsalgorithmus.Unfallchirurg 102: 152-166 (1999)

51. Zwipp H, Tscherne H, Thermann H, Weber T: Osteosynthesis of displaced intraarticular fractures of the calcaneus. Results in 123 cases. Clin Orthop 290: 76-86 (1993)

Danksagung

Für die Verwirklichung der Doktorarbeit möchte ich mich ganz herzlich bei allen bedanken, die mir geholfen haben das Ganze zu verwirklichen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn **Prof. Dr. Gebhard** für die Überlassung des Themas. Seine freundliche, nette, allseits bereite und konstruktive Unterstützung bei der Verwirklichung der Arbeit werden mir immer positiv in Erinnerung bleiben, wie auch seine Bescheidenheit als Doktorvater und Mensch. Für die Zeit, die er sich nahm um die Arbeit zu vollenden, bin ich ihm zu großem Dank verpflichtet.

Bedanken möchte ich mich ebenfalls bei Herrn **Dr. M. Schwamborn** für die Betreuung der Arbeit. Er half mir immer wieder mit seinem Fachwissen bei schwierigen Angelegenheiten, diese zu klären und die Arbeit voranzutreiben.

Außerdem gilt mein Dank Herrn **Dr. O. Krivonos** von der Abteilung für Medizinische Informatik der Universität Mannheim, der bei Softwareproblemen und bei der Bearbeitung der Daten am Computer stets hilfreich zur Seite stand.

Mein Dank gilt ebenfalls dem Institutsleiter der Unfallchirurgie **Prof. Dr. Kinzl**, sowie dem Institutsleiter der Radiologie **Prof. Dr. Brambs**, für die Nutzung und Benutzung der Geräte und der Räumlichkeiten.

Letztlich möchte ich mich auch bei meiner Frau **Eleni Treftsiou** für die verständnisvolle Unterstützung bedanken.

Curriculum Vitae

Persönliche Angaben:

Name:	Tzifris
Vorname:	Evgenios
Geburtsdatum:	06.01.1976
Geburtsort:	Ludwigsburg
Familienstand:	Verheiratet, 1 Tochter
Nationalität:	Griechisch

Schulbildung:

1982 – 1986	Grundschule in Ludwigsburg
1986 – 1991	Friedrich Schiller Gymnasium Ludwigsburg
1982 – 1991	Parallel Besuch der griechischen Schule in Ludwigsburg
1991 – 1994	Griechisches Lyzeum Ludwigsburg
1994 – 1995	Abschlussprüfung in Griechenland und Erwerb der fachgebundenen Hochschulreife

Studium:

1996	Beginn des Studiums der Humanmedizin an der Universität Ulm
1999	Physikum
2000	1. Staatsexamen
2002	2. Staatsexamen
2003	3. Staatsexamen

Auslandsaufenthalt:

August – Oktober 2002	Chirurgie PJ-Tertial am Englewood Hospital and Medical Center der Mount Sinai School of Medicine in New York, USA

Famulaturen:

1999	Abteilung für Allgemein- und Viszeralchirurgie (Prof. Junghanns) am Klinikum Ludwigsburg
2000	Praxis für Allgemeinmedizin (Dr.Georgoudis) in Kornwestheim
2001	Abteilung für Röntgendiagnostik (Prof. Brambs) der Uniklinik Ulm
2001	Abteilung für Unfall-, Hand-, und Wiederherstellungschirurgie (Prof. Kinzl) der Uniklinik Ulm

Praktisches Jahr:

Am Karl-Olga-Krankenhaus Stuttgart
Akademisches Lehrkrankenhaus der Universität Ulm

Apr. – Aug. 2002	Baumann Klinik für Orthopädie, Handchirurgie und Rheumatologie (Prof. Trepte)
Aug. – Okt. 2002	Englewood Hospital and Medical Center der Mount Sinai School of Medicine New York. Abteilung für Allgemein-, Visceral- und Gefässchirurgie (Prof. Dardik)
Okt. – Dez. 2002	Abteilung für Allgemein-, Visceral-, Gefäss- und Unfallchirurgie (Dr. Benz)
Dez. – Mär. 2003	Abteilung für Gastroenterologie, Hepatologie und Infektionskrankheiten (Dr. Fröhlich)

Berufliche Tätigkeit:

Seit Juni 2003 Arzt im Praktikum/Assistenzarzt in der Abteilung für Herz- und Gefäßchirurgie (Prof. Hellberg) am Robert-Bosch-Krankenhaus Stuttgart.

Sprachen:

Deutsch, Englisch, Griechisch