

Aus dem Institut für Klinische Radiologie – Innenstadt
der Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. Maximilian Reiser

Die Radiologische Klassifikation von Calcaneusfrakturen
in der Computertomographie als Hilfe
zur chirurgischen Therapieentscheidung

Dissertation zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Alexander Schoening
aus
Bad Pyrmont

2002

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität München

Berichterstatter:Prof. Dr. med. K. J. Pfeifer

Mitberichterstatter:Priv.-Doz. Dr. med H. J. Andreß

..... Prof. Dr. med. H. J. Refior

.....Prof. Dr.med. W. Mutschler

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter:Dr. med. U. Linsenmaier

Dekan:Prof. Dr. med. Dr. h.c. K. Peter

Tag der mündlichen Prüfung:..... 14.11.2002

1	EINLEITUNG	1
1.1	Epidemiologie, Unfallmechanismus und Klinik der Calcaneusfraktur	1
1.2	Makroskopische und funktionelle Anatomie	2
1.3	Frakturmechanismen	7
1.4	Therapie und Prognose	8
1.5	Radiologische Diagnostik der Calcaneusfraktur	10
1.5.1	Konventionelle Radiographie	10
1.5.2	Computertomographie (CT)	11
1.5.3	Magnetresonanztomographie (MRT)	13
1.6	Klassifikationen der Calcaneusfraktur	15
1.6.1	Auf Basis konventioneller Radiographie	15
1.6.2	Auf Basis computertomographischer Bilder	15
1.7	Ziel der Arbeit	19
2	MATERIAL UND METHODEN	20
2.1	Patienten	20
2.2	Computertomographie (CT)	21
2.3	Fraktуреinteilung nach der Münchener Klassifikation, Andere gebräuchliche Einteilungen	23
2.4	Beurteilungskriterien in der CT	28
2.5	Vergleich des radiologischen Befundes mit gewähltem Therapieweg	29
3	ERGEBNISSE	30
3.1	Demographische Daten	30
3.2	Schichtführung und Bildqualität in der CT	32
3.3	Analyse der Frakturformen	33
3.4	Bestimmung der Dislokationskriterien (A)/ (B)/ (C)/ (D)	36
3.5	Begleitverletzungen	40
3.6	Analyse der Frakturformen nach der Münchener Klassifikation	42
3.7	Eingeschlagener chirurgischer Therapieweg	43
3.8	Einteilung nach anderen gebräuchlichen Klassifikationen	44

4	DISKUSSION.....	46
4.1	Geschlechterverteilung.....	46
4.2	Zeitlicher Untersuchungsaufwand, Zumutbarkeit und Strahlenbelastung für den Patienten.....	47
4.3	Zeitlicher Aufwand für Befundung und Klassifikation.....	50
4.4	Anwendbarkeit der empfohlenen Vorgehensweise zur Bildbefundung.....	51
4.4.1	Anwendbarkeit bei guten Aufnahmebedingungen	51
4.4.2	Anwendbarkeit bei Vorliegen nur einer Schichtebene	58
4.4.3	Anwendbarkeit bei Vorliegen sekundär rekonstruierter Schnittbilder	59
4.4.4	Anwendbarkeit: Zusammenfassender Erfahrungsbericht.....	60
4.5	Vorschläge einer optimierten Vorgehensweise zur Bildbefundung.....	62
4.6	Vergleich mit anderen Klassifikationssystemen	64
4.7	Konkurrierende Klassifikationen im Hinblick auf die eigenen Ergebnisse	70
4.8	Bedeutung der Hilfe zur Therapieentscheidung.....	78
5	ZUSAMMENFASSUNG.....	82
6	LITERATURVERZEICHNIS	85
7	ANHANG	93
	Verwendeter Auswertungsbogen	93
	Lebenslauf	94
	Danksagung.....	95

1 EINLEITUNG

1.1 Epidemiologie, Unfallmechanismus und Klinik der Calcaneusfraktur

Epidemiologie

Der Bruch des Fersenbeins nimmt mit ca. 2 % aller Frakturen des menschlichen Skelettes zahlenmäßig nur eine untergeordnete Stellung ein, ist aber mit einem Anteil von ca. 75 % die häufigste Bruchart im Bereich der Fußwurzelknochen [43,52]. Durch die komplexe anatomische Gelenksituation dieser Region kommt es in der Folge der Fraktur zu funktionell oft gravierenden Beeinträchtigungen mit dem Risiko einer andauernden Behinderung. Die Frage nach dem differenzierten therapeutischen Procedere ist daher von zentraler Bedeutung für einen befriedigenden Heilungsverlauf, da bei konservativem Vorgehen enttäuschende Langzeitergebnisse resultieren können, andererseits ein zu aggressives operatives Vorgehen das häufigere Auftreten einer operativ induzierten Fersenbeinosteomyelitis befürchten lässt [82].

Unfallhergang

Häufigste Unfallursachen sind akzidentiell oder suizidal motivierte Stürze aus größerer Höhe (Leiter, Mauer, Fenster etc.) sowie Verkehrsunfälle (PKW, Motorrad etc.), die zu vertikaler Krafteinwirkung führen [60,66].

Da die gesamte kinetische Energie, entsprechend der Fallhöhe (bei Sturz) bzw. der Restgeschwindigkeit (bei PKW-Insassen-Unfall), über das Sprungbein meist in annähernd gerader Linie auf das Fersenbein übertragen wird, erklären sich die typischen Verletzungsmuster an diesem Knochen. Dabei werden in der Mehrzahl der Fälle eine beschädigte posteriore Gelenkfacette des unteren Sprunggelenkes beschrieben und in bis zur Hälfte der Fälle eine Verletzung des Calcaneocuboidalgelenks. Die anterioren und medialen Anteile der Articulatio talocalcanea sind laut Literaturangaben mit ca. 10 % beteiligt. Nimmt das Geschehen die Charakteristik eines Supinationstraumas an, ist auch ein kompletter Abriss des Processus anterior möglich [52].

Klinik

Eine entsprechende Anamnese, Schwellung und Schmerz im Bereich des hintern Fußes, Belastungsunfähigkeit, Rückfußverplumpung und ggf. Blauverfärbung der Frakturregion durch das meist ausgeprägte Hämatom im Zentrum der Fußsohle sind klinisch wegweisend [14,52].

1.2 Makroskopische und funktionelle Anatomie

Der Calcaneus ist der größte Knochen des Tarsus und stellt mit seiner länglichen, fast vierseitigen Form den wesentlichen Teil des sogenannten Fußhebels dar. Vier Gelenkflächen, davon drei zum Talus und eine zum Cuboid sowie vier knöcherne Fortsätze kennzeichnen ihn [52].

Makroskopische Anatomie, Gelenkflächen

Für die Artikulation mit dem Talus sind drei Gelenkflächen verantwortlich: Die Facies articularis talaris posterior, die den Gelenkkopf der hinteren Kammer des unteren Sprunggelenkes bildet, liegt hinter dem Sulcus calcanei. Die Facies articulares talaris media und anterior formen gemeinsam mit der Gelenkfläche des Os naviculare und dem Ligamentum calcaneonaviculare plantare die Pfanne für die vordere Kammer des unteren Sprunggelenkes. Mittlere und vordere talare Gelenkfacette können oft fusioniert sein. Die mittlere Gelenkfacette liegt größtenteils auf einem nach medial ausladenden Fortsatz des Calcaneus, dem Sustentaculum tali. Auf der Unterseite des Sustentaculum gleitet die Sehne des M. flexor hallucis longus. An der ventralen Stirnseite artikuliert der Calcaneus in der Facies articularis cuboidea mit dem Würfelbein (Os cuboideum) [30].

Makroskopische Anatomie, knöcherne Fortsätze

Der kräftigste und biomechanisch bedeutendste Fortsatz des Calcaneus ist das Sustentaculum tali, das auf der medialen Seite wie ein Erker den Talus abstützt und den vertikalen Kraftfluss weiterleitet. Über das Ligamentum talocalcaneare mediale und das

Ligamentum calcaneotibiale wird das Sustentaculum, meist auch noch nach Frakturen, in seiner engen Lagebeziehung zum Talus fixiert [52].

Nach dorsal auslaufend findet sich das Tuber calcanei. An dessen Unterfläche erheben sich zwei Höckerchen (Processus medialis et lateralis tuberis calcanei), mit denen der Calcaneus auf der Unterstützungsfläche ruht [30]. Nach ventral stellt der Processus anterior calcanei über die Ligamenta calcaneocuboideum dorsale et bifurcatum eine feste Verbindung zum Würfel- und Kahnbein her. Ein relativ kleiner Fortsatz, die Trochlea peronaealis findet sich an der lateralen Wand des Calcaneus. Unter der Trochlea verläuft der Sulcus peronaealis, der den Peronealsehnen als Führungsschiene dient [52].

Makroskopische Anatomie, Kapseln und Bandapparat

Die vier einzelnen Gelenkflächen des Calcaneus bilden zwei funktionell unterschiedliche Gelenkeinheiten:

- 1) Das untere Sprunggelenk und
- 2) das Calcaneocuboidalgelenk.

Bei Betrachtung des unteren Sprunggelenkes kann man zwei Gelenkkammern voneinander unterscheiden: Die bedeutsame hintere, Articulatio subtalaris, und die vordere, Articulatio talocalcaneonavicularis. Beide Gelenke besitzen jeweils ihre eigene Kapsel und werden durch das starke Ligamentum talocalcaneare interosseum getrennt.

Die zweite selbständige Gelenkeinheit, Articulatio calcaneocuboidea hat ebenfalls eine eigene Kapsel, die, wie auch bei den anderen Gelenkkammern, an der Knorpel-Kochengrenze fixiert ist.

Aus der Vielzahl der Bänder, die am Calcaneus angreifen, sind neben den schon erwähnten:

- Lig. talocalcaneare mediale
- Lig. calcaneotibiale
- Lig. calcaneocuboideum dorsale
- Lig. bifurcatum
- Lig. talocalcaneare interosseum

weiter hervorzuheben das:

- Ligamentum calcaneonaviculare plantare („Pfannenband“, es verbindet Fersenbein und Kahnbein und ist teilweise mit hyalinem Knorpel überzogen, da es als Teil der Articulatio talocalcaneonavicularis dem Taluskopf als Widerlager dient.)
- Ligamentum calcaneofibulare, das vom Calcaneus direkt zum Wadenbein zieht und somit das obere Sprunggelenk „überspringt“.
- Ligamentum calcaneocuboideum plantare (analog zum Lig. calcaneocuboideum dorsale; ein sehr kräftiges Band auf der Unterseite des Calcaneus)
- Ligamentum plantare longum, ebenfalls auf der Unterseite, zu den Basen der Metatarsalia II–V ziehend
- Ligamentum calcaneonaviculare
- Ligamentum talocalcaneare laterale (analog zum Lig. talocalcaneare mediale) [30].

Eine weitere biomechanisch bedeutsame Struktur ist die Aponeurosis plantaris, die breit am Tuber calcanei befestigt ist und am Vorfuß mit mehreren zipfelförmigen Ausziehungen an den Ligg. plantaria der Zehengrundgelenke und an den Digitalscheiden fixiert ist. Diese flächige Bindegewebsstruktur bildet eine wichtige passive Verspannung vor allem der Längswölbung des Fußes, während quere Faserzüge mithelfen, die Querwölbung zu sichern. Über das Tuber als gedachten Drehpunkt wirkt die Plantaraponeurose dem kräftigen Zug des M. triceps surae entgegen [30].

Die Fülle an Bandstrukturen und die Topographie der einzelnen Muskelansätze (s. u.) erklärt mit die typischen, immer wiederkehrenden Dislokationsmuster, die man bei Frakturen des Calcaneus beobachten kann.

Makroskopische Anatomie, Muskelansätze; topographische Beziehungen

Der prominenteste Muskel, der am Calcaneus ansetzt ist der M. triceps surae, der über die mächtige Tendo calcaneus (populär: Achillessehne) an der Oberseite des Tuber calcanei verankert ist. Er flektiert den Fuß kraftvoll plantarwärts, der Calcaneus dient ihm gleichsam als Hebel. Plantarseitig finden sich die Muskelursprünge von M. flexor digitorum brevis, M. abductor digiti minimi, M. abductor hallucis und M. quadratus plantae. Deren Aufgabe liegt teils in der Unterstützung der Funktion anderer Fußflexoren, hauptsächlich aber dienen sie der aktiven Verspannung der Fußgewölbe. Ferner setzen

an der dorsalen Knochenfläche, in der Nähe zum Calcaneocuboidalgelenk der M. extensor digitorum brevis und der M. extensor hallucis brevis an. Sie helfen mit, die Zehen nach dorsal zu extendieren.

Für die Abschätzung der möglichen Weichteilverletzungen im Rahmen einer Calcaneusfraktur ist es wichtig, sich folgende anatomische Topographien vor Auge zu halten:

- 1) Auf der Unterseite des Sustentaculum tali verläuft im Sulcus tendinis m. flexoris hallucis longus die Sehne des Großzehenbeugers.
- 2) An der lateralen Knochenwand laufen in einer seichten Rinne, Sulcus peronaealis, die Sehnen der Mm. peronaei um die Trochlea peronaealis [30].

Funktionelle Anatomie

Der Calcaneus stellt sowohl den Schlussstein des Fußgewölbes, als auch den Basispunkt des Körperskelettes dar, somit ruht auf ihm schon im aufrechten Stand einer hoher Teil des Körpergewichtes. Beim Gehen, Laufen oder Springen vergrößert sich die einwirkende Kraft noch beträchtlich. Während die Corticalis des Fersenbeins stellenweise sehr stark (z. B. unter der posterioren Gelenkfacette) und stellenweise sehr dünn (z. B. an der laterale Wand) erscheint, ist die Trabekelstruktur entsprechend den Zug- und Druckkräften ausgebildet. Unterhalb der Corticalisverdichtung im Bereich des Fersenbeinhalsses ist bei Röntgenuntersuchungen ein fast dreieckiges Areal zu erkennen, in welchem die Spongiosabalken schwach ausgebildet sind. Dieses Gebiet wird als „Trigonum calcis“, „pseudocyst triangle“ oder „neutral triangle“ bezeichnet [51,52,68]

Vertikale Kräfte, also die Kräfte, die bei einer typischen Verunfallung für diesen Knochen fast immer Frakturauslöser sind, wirken auf den Calcaneus nicht linear ein, sondern versetzt. Erstens liegt die Belastungsachse der Tibia exzentrisch nach medial versetzt über dem Sustentaculum tali, während die Kraft vom Boden her von weiter lateral eingeleitet wird. Zweitens ist die Längsachse des Talus gegenüber der Längsachse des Calcaneus um ca. 25° nach medial gedreht [14,64].

Funktionell ermöglicht das untere Sprunggelenk die Supination des Fußes, also das Heben des medialen Fußrandes mit gleichzeitiger Adduktion und Plantarflexion der subta-

laren Fußplatte, oder die Pronation, also das Senken des medialen Fußrandes mit gleichzeitiger Abduktion und Dorsalflexion der subtalaren Fußplatte. Der Bewegungsumfang im unteren Sprunggelenk ist jedoch in hohem Maße vom Alter und vom Übungszustand abhängig, so dass effektiv ein gesunder Erwachsener selten über 30° pronieren oder supinieren kann. Die Supinationsbewegung wird im unteren Sprunggelenk passiv vor allem durch das Lig. talocalcaneare interosseum gehemmt, die Pronation durch das Lig. calcaneotibiale und das Lig. talocalcaneare mediale. Das Gelenk zwischen Calcaneus und Cuboid erlaubt beim Erwachsenen nur geringfügige Schiebewegungen, durch die allerdings erst die ausgiebige Verkantung der subtalaren Fußplatte möglich wird [30].

Ein Funktionsausfall des oberen Sprunggelenkes beeinträchtigt zwar den Bewegungsablauf mehr als derjenige des unteren Sprunggelenkes, bei Versteifung des unteren Sprunggelenkes kommt es aber dennoch zu erheblichen Funktionseinschränkungen. So kann beispielsweise nicht mehr balanciert werden, das Gehen in abfallendem oder unebenem Gelände ist erheblich beeinträchtigt, sportliches Laufen im Sinne von Jogging wird praktisch unmöglich [14,30].

1.3 Frakturmechanismen

Bei einem Unfall mit vertikaler Krafteinleitung wird der Processus lateralis tali oder die posterolaterale Taluskante keilartig in den Calcaneus eingetrieben. Von lateral gesehen entsteht die sogenannte primäre Frakturlinie, die vom Winkel von Gissane schräg zur Calcaneusunterfläche zieht [14,35]. Dreidimensional gesehen entsteht eigentlich aber eine primäre Frakturfläche, die entsprechend der divergierenden Achsen von Talus und Calcaneus von vorne lateral nach hinten medial verläuft und schräg nach vorne medial gekippt ist. Diese Fläche trennt die beiden Hauptfragmente: Das anteromediale, sustentaculumtragende und das posterolaterale Fragment mit dem Tuber. Ist die Stauchungsenergie noch nicht verbraucht, so entstehen sekundäre Frakturlinien [14,17,64].

Von Essex-Lopresti wurde 1952 eine Fraktуреinteilung vorgestellt (s. u., 1.6), deren Grundprinzip in Teilen noch heute Anwendung findet. Neben der Einteilung in intraartikulär und extraartikulär wird von zwei Entitäten ausgegangen [26]:

- „**Joint-depression**“-Fraktur
- „**Tongue-type**“-Fraktur

Bei dorsal flektiertem Fuß kommt es zur Joint-depression-Fraktur, bei der Anteile der Facies posterior keilartig und im Sinne einer Rotation in das posterolaterale Fragment eingestaucht werden. Es entstehen dadurch ein posteriores Facetten- oder semilunäres Fragment.

Bei plantar flektiertem Fuß entsteht eine Tongue-type-Fraktur, bei der die Frakturlinie bis in das Tuber nach dorsal reicht und bei der die Gelenkfacette zusammen mit dem sog. „Zungenfragment“ rotiert ist. Als weitere Hauptfragmente gelten ein Processus anterior- Fragment sowie ein Fragment der anterioren Gelenkfacette [14,26].

Das Sustentaculum bleibt praktisch immer eng ligamentär, und zum Teil auch durch die dynamische Gurtung der darunter verlaufenden Sehne des M. flexor hallucis longus bedingt, mit dem Talus verbunden. Das posteriore Gelenkfacettenfragment wird jedoch meist in den Calcaneus eingestaucht und/oder gleitet entlang der schrägen Hauptfrakturebene ab, hierdurch kommt es zu einer Höhenminderung und Verbreiterung des Korpus [14].

1.4 Therapie und Prognose

Das Ziel jeder Behandlung ist [8,22,52,56,60,65]:

- Wiederherstellung der Hebelarme des Fersenbeins
- Korrektur der Rückfußstellung
- Rekonstruktion der posterioren Gelenkfacette
- Reposition der lateralen Fersenbeinwand
- Refixierung dislozierter Randfragmente

Wie bei anderen Frakturen des menschlichen Skelettes auch, hängt das Behandlungsverfahren ab von Frakturtyp, Weichteilsituation und Allgemeinzustand des Patienten [62].

Therapeutische Möglichkeiten

Es bieten sich grundsätzlich drei Möglichkeiten:

Die **konservative funktionelle Behandlung** besteht in anfänglicher Bettruhe, Hochlagerung, Eiskühlung und frühzeitiger aktiver Physiotherapie. Nach Abschwellung kann im Unterschenkelgips die Teilbelastung mit 15–20 kg aufgenommen werden. Je nach Frakturausmaß wird nach 6 bis 12 Wochen die Vollbelastung angestrebt. Die konservative, rein immobilisierende Behandlung mit längerer Entlastung führt zu schlechten funktionellen Ergebnissen und wird heute allgemein vermieden [22,52,56,60].

Bei der **semioperativen Behandlung** wird eine perkutane Rückfußaufrichtung und Fixation mit eingebrachten Spickdrähten praktiziert. Dieses Verfahren kann zur Anwendung kommen, wenn ein offenes operatives Vorgehen aufgrund der Allgemein- oder Lokalsituation kontraindiziert ist [52].

Zur **operativen Therapie** werden der mediale, laterale oder der kombinierte Zugang empfohlen. Von vielen Autoren wird in neuerer Zeit ein erweiterter lateraler Zugang propagiert [31]. Der häufig ausgeprägten posttraumatischen Weichteilschwellung nach Fersenbeinfrakturen kommt bei Wahl des Operationszeitpunktes eine entscheidende Bedeutung zu [14]. Als günstig gilt die Durchführung einer Operation nach ca. 8–10

Tagen, dem Weichteilmantel wird somit Zeit zum Abschwellen gelassen, das Risiko einer postoperativen Wundheilungsstörung reduziert sich dadurch [62]. Als Stabilisationstechniken kommen einzelne Schrauben, spezielle Fersenbeinplatten, H-Platten oder Drittelrohrplatten zur Anwendung [55]. Nach operativer Rekonstruktion wird in der Regel gipsfrei nachbehandelt [12].

Prognose

Sieht man von den postoperativen Komplikationen, die in zeitlich unmittelbarer Umgebung eines Eingriffes stehen, wie Wundheilungsstörungen, kleineren Infektionen, bis hin zu fatalen ossären Nekrosen ab, sind die Langzeitergebnisse in hohem Maße von der Genauigkeit der anatomischen Rekonstruktion der Knochenfragmente abhängig [42,60,82].

Während bei nicht oder gering dislozierten Frakturen durch frühfunktionelle Therapie gute und sehr gute Ergebnisse in bis zu 90 % der Fälle angegeben werden, ist die Einschätzung der Prognose bei komplexeren Frakturen, auch bei operativer Versorgung, in der Literatur uneinheitlich und in jedem Fall deutlich pessimistischer [12,18,42,43,50,52,56,65].

Die typischen Beschwerden wie Schmerzen und Funktionseinschränkungen sind Folge von Fehlstellungen, mechanischen Behinderungen der Peronealsehnen und Gelenkschäden im Sinne einer Arthrose des unteren Sprunggelenkes [56,60].

1.5 Radiologische Diagnostik der Calcaneusfraktur

Für die zweifelsfreie Frakturdiagnose schließt sich der ersten klinischen Befundung und Anamneseerhebung praktisch immer ein radiologisches Untersuchungsverfahren an. Durch technische Weiterentwicklungen stehen heute drei verschiedene Verfahren zur Wahl: Die konventionelle Radiographie, die Computertomographie (CT) und die Kernspintomographie (Magnetresonanztomographie, MRT).

1.5.1 Konventionelle Radiographie

Als übliche Standardröntgenaufnahmen werden eine mediolaterale Seitenaufnahme und eine axiale Aufnahme angefertigt [51]. Bei Bedarf kommen dorsoplantare oder modifizierte (z. B. nach Brodén) schräge Aufnahmen hinzu, die aber nur noch in geringem Umfang in der Praxis Anwendung finden [22]. Aus praktischen Gründen (Schmerzen des Patienten) wird der Patient auf dem Rücken bzw. seitlich liegend gelagert [79].

Die mediolaterale Seitenansicht zeigt als Übersichtsaufnahme neben Talus, oberem Sprunggelenk und Chopart-Gelenk den Calcaneuskörper, die subtalare Gelenkregion, den Processus anterior und das calcaneocuboidale Gelenk [41]. Sie erlaubt vor allem die Ausmessung des Tubergelenkwinkels (engl. Böhler's angle, norm. 30° – 40°) als „klassisches“ Beurteilungskriterium der Schwere der Fraktur [35,46,51,64]. Die Grenzen der seitlichen Aufnahmetechnik zeigen sich bei Verletzungen, die evtl. nur Teile der posterioren Gelenkfläche betreffen: Ist nicht die gesamte Facette vom Sustentaculum abgesprengt, sondern nur ein laterales Teilstück, stellt sich allenfalls eine Doppelkonturierung im Bereich der Gelenkfläche dar, während der Böhler-Winkel normal erscheint [46].

Die axiale Aufnahme vermag sagittale Frakturen, Brüche des Sustentaculum tali und des Tuber calcanei sowie Verbreiterungen des Corpus calcanei aufzuzeigen. Im dorsoplantaren Strahlengang können Informationen über eine Beteiligung des Chopart-Gelenkes gewonnen werden [41,79].

Die komplexe Anatomie der Untersuchungsregion mit ihrer Vielzahl von knöchernen Strukturen und Gelenkflächen, die sich übereinander projizieren, macht eine eindeutige Diagnosestellung anhand von nur zwei Standardaufnahmen meist unmöglich. Dadurch entstanden in der Zeit vor Einführung der CT zahlreiche Ansätze, durch zusätzliche Einstellungstechniken weitere Informationen zu gewinnen [79]. Vom Prinzip her das gängigste Verfahren ist die Aufnahme nach Brodén: Der Patient liegt auf dem Rücken, der verletzte Fuß lagert auf der Röntgenkassette um 45° innenrotiert, und die Röntgenröhre zielt in verschiedenen Winkelpositionen (10°, 20°, 30°, 40°) in der Sagittalebene auf den lateralen Malleolus. Zweck dieser subtilen Vorgehensweise ist, die bedeutsame hintere Gelenkfacette beurteilen zu können [46].

Untersuchungen mittels konventioneller Tomographie finden in Literatur und Praxis, erst recht nach Einführung der CT in den Routinebetrieb, kaum noch Beachtung und sind heute im klinischen Alltag nur noch bei Ausfall oder Fehlen von CT und MRT in Betracht zu ziehen [46,58,79].

1.5.2 Computertomographie (CT)

Parallel zur technischen Ausreifung und Weiterentwicklung der Computertomographie gewann dieses Untersuchungsverfahren auch für die Darstellung des Muskuloskelettsystems an Bedeutung. Hiervon profitierte auch die Region des oberen und unteren Sprunggelenkes und der Calcaneus mit seiner speziellen anatomischen Gestalt. In zahlreichen Studien ist nachgewiesen worden, dass auch gute konventionelle Röntgenaufnahmen oft nicht das ganze Ausmaß der Fraktur erfassen oder verlässliche Hinweise auf Prognose und Therapie geben können [2,10,18,23,25,27,28,29,42,43,53,58,70]. Die Darstellung der posterioren, medialen und anterioren talocalcanearen Gelenkfläche, des calcaneocuboidalen Gelenkes sowie des Sustentaculum ist durch die Darstellung in einem axialen oder (para)coronaren CT-Schnitt deutlich übersichtlicher. Durch die überlagerungsfreien Abbildung der Fußwurzelknochen sind Frakturverläufe manchmal überhaupt erst in der CT abgrenzbar, gleichzeitig ist eine Beurteilung der Weichteile und Sehnenverläufe möglich [2,10,18,23,25,27,28,42,43,58,70,75,76]. Ferner rücken

durch immer leistungsfähigere Software-Applikationen neue Präsentationsformen wie z. B. die multiplanare Rekonstruktion (MPR) oder dreidimensionale Darstellungen von frakturierten Knochen in das Licht der Aufmerksamkeit [28,29,41].

Ein CT des Calcaneus kann in (para)coronarer, axialer (auch transversaler genannt) oder sagittaler Schichtung durchgeführt werden. Letztere Orientierung stellt sich in der Literatur jedoch als seltenes Spezialverfahren dar. Obwohl Allmann et al. eine entsprechende Vorgehensweise beschreiben, stehen die Unannehmlichkeiten der speziellen Patientenlagerung für ein direktes Sagittal-CT gegen die Vorteile der guten Beurteilung von hinterer Gelenkfläche und Böhler-Winkel [1,6]. Sagittale Bilder werden deshalb heute bei der Spiral-CT zumeist aus axialen Datensätzen rekonstruiert. Somit verbleiben als primäre Schichtungen:

- 1) die axiale Schichtebene für eine Beurteilung des Calcaneocuboidalgelenkes, eventueller Verkürzungen oder Verbreiterungen des Calcaneus und möglicher Abweichungen der Achsen zwischen Calcaneus und Cuboid, sowie
- 2) die coronare Schnittebene, bei der es sich aus technischen Gegebenheiten des CT-Gerätes (vorhandener Durchmesser und Kippungsmöglichkeiten der Gantry) in der Regel effektiv um eine semi- oder paracoronare Schichtung handelt. Hier zeigt sich besonders gut die Anzahl der Hauptfragmente, die Situation an der hinteren Gelenkfläche (Abb. 1), das Sustentaculum, eine eventuelle Verbreiterung oder Höhenminderung und ferner das umliegende Weichteilgewebe [6,68].



Abb. 1: Beispielbild Normalbefund: Coronarer Schnitt auf Höhe der posterioren Gelenkfläche.

Auf das technische und organisatorische Vorgehen bei einer typischen CT-Untersuchung des Rückfußes wird weiter unten noch eingegangen (siehe 2.2).

Anmerkung: Im folgenden Text ist wechselnd von coronarer bzw. paracoronarer Schnittführung die Rede. Gemeint ist in jedem Fall eine möglichst senkrecht auf der Articulatio talaris posterior stehende Schichtebene. Da je nach Untersuchungsbedingungen (Patientengröße etc., siehe 2.2) dieser Idealfall nicht immer realisiert werden kann, gibt man sich in entsprechenden Fällen auch mit einer paracoronaren Schichtführung zufrieden. Der unterschiedliche Sprachgebrauch soll also nur der Veranschaulichung dieses Sachverhaltes dienen.

1.5.3 Magnetresonanztomographie (MRT)

Im Gegensatz zur CT hat die Kernspintomographie (kurz: MRT) im klinischen Routinebetrieb für die Frakturdiagnostik am Calcaneus nur eine untergeordnete Bedeutung.

Einerseits erlaubt die MRT zwar eine sehr gute Darstellung und Beurteilung der Weichteilstrukturen wie der Bänder, Sehnen, Knorpel, Muskeln, Gefäße, Nerven und des Knochenmarkraumes, knöcherne Frakturlinien können jedoch gerade durch das typisch veränderte Signalverhalten, z. B. des Markraumes in Folge von Kontusionen, Einblutungen und Ödemen kaschiert werden [81]. Andererseits beschreiben Autoren wie Robbins et al. Vorgehensweisen, genau aus diesen posttraumatisch anomalen Signal-

mustern des Knochenmarkes sehr sensitive Hinweise auf akute knöcherne Läsionen abzuleiten, die in speziellen Fällen mit anderen radiologischen Verfahren unentdeckt geblieben wären [59,81]. Der Stellenwert der MRT bei der Detektion dieser okkulten Frakturen ist allgemein anerkannt [10,54,59].

Obwohl sich zum jetzigen Zeitpunkt in der Literatur keine Arbeit zum Thema des direkten Vergleichs CT vs. MRT in Bezug auf die Diagnostik des Fersenbeintraumas findet, lässt sich doch abschätzen, dass aufgrund technischer Gegebenheiten zur Zeit die Computertomographie für Hochkontrastfragestellungen geeigneter ist. Im MRT können kleinere kortikale Knochenfragmente in ungünstigen Fällen gar nicht zur Darstellung kommen und die Untersuchungszeit liegt noch deutlich über der der CT. Damit erhöht sich die zeitliche Belastung für den traumatisierten Patienten und durch die spezielle, oft schmerzhaft Lagerung des Fußes steigt in der Folge die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Bewegungsartefakten. Nicht zuletzt liegt momentan das Ausmaß der flächendeckende Bereitstellung eines MRT-Gerätes noch unter der eines Computertomographen.

Die Möglichkeiten der Kernspintomographie liegen daher eher im Bereich der Detektion okkulten Frakturen, der posttraumatischen Diagnostik persistierender Beschwerden und der Detektion von Weichteilanomalien im Sinne von Tarsaltunnel-Verlegungen, Sehnen-Dislokationen/-Abrissen (hier insbesondere Peronealsehnen und Sehne des M. flexor hallucis longus) oder chronisch entzündlichen Gewebsveränderungen. Anomalien können aufgezeigt und deren Verlauf dokumentiert werden. Das MRT liefert hier eine wertvolle Ergänzung zur CT [59,81].

1.6 Klassifikationen der Calcaneusfraktur

In vergangener Zeit wurden unterschiedliche Klassifikationen vorgestellt, mit der Absicht, Ordnung in die mannigfaltigen Ausprägungen einer Calcaneusfraktur zu bringen [43]. Eine Reihe gründen sich auf die Auswertung konventioneller Radiographien, eine weitere Reihe, vor allem im Verlauf der letzten zehn Jahre vorgestellte, basieren auf computertomographisch erstellten Röntgenaufnahmen (Tab. 1, s. u.).

1.6.1 Einteilungen auf Basis konventioneller Radiographie

Die früheste Einteilung aus dem Jahr 1937 stammt von **Böhler** [9]. Sie umfasst 8 Typen und orientiert sich in rein deskriptiver Weise an morphologischen Merkmalen wie z. B. den Gelenkwinkeln. Grundlage hierfür, wie auch für alle weiteren Schemata bis Ende der achtziger Jahre des 20. Jahrhunderts, bildet die Auswertung konventioneller Röntgenaufnahmen. **Watson-Jones** schlägt eine Einteilung nach A = extraartikulär, B = intraartikulär (ohne Dislokation) und C = intraartikulär (mit Dislokation) vor [77].

Die auch heute noch angewandte Klassifikation von **Essex-Lopresti** brachte für das Verständnis des Frakturmechanismus einen großen Fortschritt [26]. Man unterscheidet zwischen Frakturen mit und ohne Gelenkbeteiligung, bei den intraartikulären Brüchen wird zusätzlich zwischen „tongue-type“ und „joint-depression“ differenziert (s. auch 1.3). Etwas schlichter stellt sich das Schema von **Soeur und Remy** dar [67]: Es wird zwischen extraartikulär und intraartikulär unterschieden, letzterer Typus dabei noch einmal in 3 Gruppen aufgeteilt (Fragmentabscherung/ Abscherung mit Komprimierung/ völlige Zertrümmerung). In den USA greift **Stephenson** bezüglich der intraartikulären Typen noch einmal die Grundüberlegungen von Essex-Lopresti auf und propagiert 3 Hauptgruppen, die sich nach aufsteigender Frakturenergie und Fragmentzahl gliedern [71].

1.6.2 Einteilungen auf Basis computertomographischer Bilder

Mit Etablierung der CT wurden verschiedene Einteilungen vorgestellt, die sich dieser diagnostischen Methode als Hilfsmittel bedienen, da laut Wülker et al. „die bestehenden Klassifikationen am Fersenbein den heutigen diagnostischen Möglichkeiten nicht mehr

gerecht“ schienen [80]. Im deutschen Raum findet neben der von **Brunner et al.** 1992 publizierten Methode, die in 2.3 detailliert erläutert wird, das von **Zwipp et al.** 1989 vorgestellte X-Fragment/Y-Gelenk-System Anwendung [13,80,82]: Es werden dazu CT-Bilder in axialer und (para)coronarer Schichtung angefertigt. Nach Bestimmung der Hauptfragmentzahl und Zahl der betroffenen Gelenke errechnet sich durch Addition von möglichen Punktzahlen (bei den Fragmenten: 2–5 Stück, bei den Gelenken: 0–3 Stück) ein Gesamtscore, der das Ausmaß und die Schwere der Fraktur widerspiegeln soll. Hinzuaddiert können ferner entsprechende Punktwerte für offene Brüche, schwere Trümmerzonen oder Begleitverletzungen wie Talus- oder Cuboidfraktur. Bei einer einfachen, extraartikulären Entenschnabelfraktur mit 2 Fragmenten und 0 beteiligten Gelenken erhält man so z. B. 2 Punkte. Bei einer Fraktur, die aus 5 Fragmenten mit Beteiligung aller 3 Gelenkflächen und ausgeprägtem Weichteilschaden bei zusätzlicher Verletzung z. B. des Talus bestehen würde, ergibt sich die höchst mögliche Punktzahl von 12 (5 Fragmente + 3 Gelenke + 3 wegen Weichteilschaden + 1 wegen Zusatzverletzung). Die Anzahl der Fragmente bestimmt zudem die Empfehlung, von welcher Seite operativ angegangen werden soll (medial/ bilateral) [82].

Ein zusammengesetztes Klassifikationsschema stellten **Häberle et al.** 1993 vor [34]. Einem Zahlenscore von 1 bis 4, der die Anzahl frakturierter wichtiger Facetten des Calcaneus wiedergeben soll, werden zwei Kleinbuchstaben angehängt. Für Häberle et al. „wichtige Facetten“ sind dabei nicht nur Gelenkflächen, sondern auch prominente Landmarken am Calcaneus (Sustentaculum, Tuber-, Processus anterior- Facette, hintere talare Gelenkfläche). Bei den angehängten Kleinbuchstaben bedeuten einerseits: t = tongue-type, j = joint-depression (nach Essex-Lopresti) und andererseits a = Beteiligung des Calcaneocuboidalgelenkes, b = keine Beteiligung. Das kombinierte Resultat (z. B. „3 tb“) liefert indes keinen codierten Hinweis auf Prognose oder empfohlene Therapie.

Im amerikanischen Raum publizierten Crosby und Fitzgibbons 1990 und Sanders et al. 1993 Vorschläge zur CT-gestützten Fraktуреinteilung [18,61]: **Crosby und Fitzgibbons**, deren Klassifikation an die von Watson-Jones erinnert, teilen alle intraartikulären Frakturen in 3 Klassen ein. Typ I weist keine oder nur eine geringe Dislokation der relativ großen Einzelfragmente auf, maximal wird in dieser Klasse eine Abweichung bzw. Eintauchung von 2 mm toleriert. Beim Typ II ist die Dislokation größer als 2 mm und

Typ III entspricht einer Trümmerfraktur. Zur Beurteilung werden coronare CT-Schnitte angefertigt. Die einzelnen Klassen geben einen Hinweis auf das empfohlene weitere Vorgehen: Typ I erbringt bei konservativer Behandlung gute Ergebnisse, Typ III hat bei konservativer Behandlung praktisch immer ein schlechtes Langzeitergebnis, und bei Typ II zeigt sich ein uneinheitliches Bild [18].

Sanders et al., die ihr Klassifikationssystem als die natürliche Weiterentwicklung der Überlegungen von Soeur und Remy sehen, bauen nicht nur auf die Auswertung coronarer Schnitte, sondern nehmen auch die axiale Ebene bei Bedarf zur Hilfe [62]. Im coronaren Bildersatz wird das Bild mit der größten Höhenausdehnung unter der talaren Gelenkfläche ausgewählt und das Corpus calcanei durch 3 gedachte, senkrecht verlaufende Linien in 4 „Säulen“ unterteilt: Lateral, zentral, medial und sustentaculär. Die Linien sollen den primären Frakturlinien und die Säulen den Fragmenten entsprechen. Typ I heißen alle Frakturen, die, ungeachtet der Fragmentanzahl, nicht disloziert erscheinen. Diese Frakturen sollen konservativ behandelt werden, alle anderen Typen II–IV sollen operativ versorgt werden. Typ II bezeichnet 2-Fragment-Brüche, die je nach Position der primären Frakturlinie in die Subtypen II A – II C unterteilt werden können. Typ III sind alle Frakturen mit 3 Fragmenten, wobei das mittlere laut Sanders et al. regelmäßig nach caudal imprimiert erscheint. Die Subtypen lauten hier III AB – III AC. Schwere Trümmerfrakturen tragen die Bezeichnung Typ IV, bei dieser Klasse wird die Arthrodesis als vernünftigste Versorgungsart empfohlen [62].

Das englische Einteilungsschema von **Eastwood et al.** hat den Hinweis bezüglich des optimalen Operationszuganges zum Ziel [23,24]. Im coronaren Schnitt wird speziell die Formierung der scheinbaren lateralen Wand des frakturierten Calcaneus untersucht, wodurch 3 Typen resultieren. Typ 1: Die Wand wird allein durch das laterale Gelenkfragment gebildet. Typ 2: Die Wand wird cranial durch das laterale Gelenkfragment und caudal durch das Corpus-Hauptfragment gebildet. Typ 3: Allein das Corpus-Hauptfragment bildet die scheinbare laterale Wand bzw. Vorliegen schwerer Impaktion. Eastwood stützt die Klassifikation auf seine Beobachtung (n = 120), dass das sustentaculäre Fragment meist in Varus-Stellung und das laterale Gelenkfragment in Valgus-Stellung steht, wobei die Gestalt der scheinbaren lateralen Wand als Abbild für die Schwere der Impaktion steht. Als rein intraartikuläre Klassifikation bleiben extraartikuläre Frakturen bei Eastwood unberücksichtigt [23].

Tabelle 1: Kurzübersicht über gängige Klassifikationen der Calcaneusfraktur.*

<u>Böhler (1937)</u>	Rein deskriptiv, Frage nach Gelenkwinkel, 8 Typen
<u>Essex-Lopresti (1952)</u>	tongue-type / joint-depression – langjährige Basis-Einteilung –
<u>Watson-Jones (1955)</u>	A = extraart. / B = intraart., ohne Dislokation / C = intraartikulär, mit Dislokation
<u>Soeur u. Remy (1975)</u>	3 intraartikuläre Formen: Fragmentabscherung/ Abscherung mit Komprimierung/ Zertrümmerung
<u>Stephenson (1987)</u>	Einteilung nach Frakturmechanismus und Fragmentzahl
<u>Zwipp (CT) (1989)</u>	Anzahl d. Hauptfragmente u. Anzahl der beteiligten Gelenke, Zusatzpunkte z. B. für Weichteilschaden – verbreitete Klassifikation in Deutschland –
<u>Crosby (CT) (1990)</u>	Typ I = nicht oder nur wenig (2 mm) disloziert Typ II = disloziert Typ III = Splitterbruch – therapeutische Einschätzung –
<u>Brunner (CT) (1992)</u>	6 Klassen, 4 Kriterien (Stufe/ Breite/ Höhe/ Achse)
<u>Häberle (CT) (1993)</u>	Anzahl bestimmter beteiligter Facetten und Unter- scheidung tongue-type/joint-depression und Be- achtung der Calcaneocuboidalgelenk-Beteiligung – keine prognostische oder therap. Einschätzung –
<u>Sanders (CT) (1993)</u>	Coronarer Schnitt mit der höchsten Ausdehnung: Ausprägungsart der primären Frakturlinie, 4 Säulen – prognostische und therapeutische Einschätzung –
<u>Eastwood (CT) (1993)</u>	Deformierung der lateralen Wand im cor. Schnitt: - Typ 1 = scheinbare laterale Wand wird allein durch laterales Gelenkfragment gebildet - Typ 2 = scheinbare lat. Wand wird cranial durch lat. Gelenkfragm. u. caud. durch Corpusfragm. gebildet - Typ 3 = allein Corpus-Hauptfragmnet bildet laterale Wand, Impaktion – Hinweis für OP-Zugang –

* In der Tabelle werden aus Gründen der Übersichtlichkeit nur die namensgebenden *Haupt*autoren genannt. Bei den Initiatoren der meisten Klassifikationen handelt es sich nichtsdestoweniger um *Autorengruppen* [9,13,14,18,23,26,34,60,61,67,71,77,82].

1.7 Ziel der Arbeit

In der vorliegenden Studie wurden prospektiv und retrospektiv die Bilddaten von 45 Patienten (mit 49 Frakturen) ausgewertet, die sich im Zeitraum von Februar 1995 bis April 2000 auf Grund einer Calcaneusfraktur im Klinikum der Universität München, Institut für Klinische Radiologie – Innenstadt, einer CT-Untersuchung der betroffenen Fußregion unterzogen hatten.

Das Ziel der Arbeit ist die Evaluation von Calcaneusfrakturen, die nach der Münchener Klassifikation klassifiziert und behandelt worden sind, mit der Absicht:

- 1) - diese Klassifikation bezüglich der Anwendbarkeit im klinischen Betrieb einer radiologischen Abteilung einer Beurteilung zu unterziehen.
- 2) - die Auswertung zu optimieren und alternativer Verfahren zur Bestimmung des Ausmaßes der Frakturfragment-Dislokation zu evaluieren.
- 3) - die Vor- und Nachteile eines solchen Schemas zu analysieren, insbesondere unter dem Aspekt der Therapieentscheidungshilfe für den Chirurgen.
- 4) - die Münchener Klassifikation der Calcaneusfraktur in der CT mit anderen Klassifikationsschemata des deutschsprachigen und angloamerikanischen Raumes zu vergleichen.

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 Patienten

In der Chirurgischen Klinik der Universität München – Innenstadt, als Krankenhaus der höchsten Versorgungsstufe, wird jährlich eine Vielzahl von Patienten mit einer Fülle verschiedener Frakturen behandelt. Hierunter finden sich auch sonst anteilmäßig eher unterrepräsentierte, wie im Fall des Calcaneus. Für die vorliegende Studie wurden Patienten in einer kontinuierlichen Reihenfolge ausgewählt, die:

- 1) sich eine einseitige oder beidseitige Fraktur des Calcaneus zugezogen hatten und
- 2) bei denen in der Radiologischen Abteilung eine standardisierte computertomographische Untersuchung des Rückfußes durchgeführt wurde.

Hinsichtlich des Patientenalters wurden keine Ausschlusskriterien gesetzt. Waren auch andere Knochen, wie z. B. das benachbarte Os cuboideum frakturiert, gingen solche Fälle mit in die Studie ein. Ließ sich der anfängliche Verdacht einer Fersenbeinfraktur in der CT nicht aufrechterhalten, fielen solche Fälle heraus.

Ob der CT-Untersuchung konventionelle Röntgenaufnahmen des Fußes vorangingen oder nicht, hatte für die Einbeziehung in die Studie keine Bedeutung. Die diagnostischen Vorteile der CT gegenüber der konventionellen Radiographie und der Algorithmus, wann welches Verfahren anzuwenden ist, wurden bereits in zahlreichen anderen Arbeiten beschrieben [2,6,10,28,34,43,52,53,60,68,69,75,76,79,82].

Als Beginn des Beobachtungszeitraums wurde der 1. Februar 1995 gewählt. Die CT-Bilder der Patienten ab diesem Zeitpunkt wurden in der unten beschriebenen standardisierten Form auf einem Spiral-CT-Scanner erstellt. Das Institut für Klinische Radiologie am Klinikum der Universität München – Innenstadt verfügt über ein PACS (= Bildarchivierungs- und Kommunikationssystem) und Intranet-Informationssystem [37]. Über diese digitalen Systeme des Institutes waren alle Bilder verfügbar und wurden retrospektiv der Auswertung unterzogen. Patienten, die nach Studienbeginn (1. November 1999) mit dem relevanten Verletzungsmuster in der Klinik untersucht wurden, fanden prospektiv Eingang in die vorliegende Arbeit. Der Beobachtungszeitraum endet am 30. April 2000.

2.2 Computertomographie (CT)

Alle CT-Aufnahmen wurden mit einem Ganzkörperscanner, Somatom Plus 4 (Siemens AG, Medizinische Technik, Erlangen) in Spiraltechnik durchgeführt. Das Gerät besitzt eine Pixelmatrix von 512 x 512 Bildpunkten. Spiraltechnik bedeutet, dass die Abtastung des Körperquerschnittes durch die rotierende Röntgenröhre nicht mehr wie bei früheren CT-Geräten schrittweise erfolgt, sondern kontinuierlich. Die Patientenliege wird dabei ebenfalls kontinuierlich bewegt. Es wird somit ein einziger spiralförmiger Volumendatensatz akquiriert, der später eine lückenlose Berechnung auch dünner Schichten mit kleinen Schichtabständen erlaubt und 2D- oder 3D-Nachbearbeitung ermöglicht [7,40]. Bilder, die mittels multiplanarer Rekonstruktionen, also Rechenverfahren zur 2D-Darstellung anderer als der eigentlich gefahrenen Schnittebenen, erstellt wurden, erreichen durch die Spiraltechnik eine besondere Güte [40].

Das Verhältnis von Tischvorschub pro Umlaufzeit der Röhre zur Schichtdicke wird als Pitch-Faktor bezeichnet. Für vorliegende Studie wurde ein Pitch von 1,5 gewählt, bei einer Schichtdicke von 2mm und 120 kV Röhrenspannung und 110 mA Röhrenstrom. Abgekürzt mit: „2/3/1 mm“ stehen somit die Zahlen eines typischen CT-Protokolls für die Scanparameter: Schichtdicke/ Tischvorschub pro Rotation/ Rekonstruktionsindex.

Als Rechenalgorithmus gelangte eine geräteseitig voreingestelltes, hochauflösendes Knochenprogramm zum Einsatz. Zur späteren Betrachtung am Befundungsmonitor wurde eine zweckmäßige Knochenfensterung gewählt, z. B. Fenstermitte bei +300 Hounsfield-Einheiten (HE) und eine Fensterbreite von 1500 HE. Zusätzliche Weichteilschäden wurden im Weichteilfenster bei einer Fenstermitte von +50 HE und einer Fensterbreite von 350 HE beurteilt.

Der Patient wurde mit den Füßen voran zur Gantry zeigend auf dem Rücken gelagert, eine speziellere Vorbereitung oder eine Kontrastmittelapplikation waren nicht erforderlich. Zur axialen Schichtung blieben die Beine parallel gestreckt auf einem rechtwinkligem Lagerungsbrett, wobei im OSG ein Winkel von annähernd 90° eingehalten werden sollte. Für die coronare Schichtung wurde der Patient gebeten, die Füße aufzustellen und im Knie soweit zu flektieren, dass eine coronare Schichtführung möglich wurde. Nach der Anfertigung eines lateralen Übersichtstopogramms wurde für die coronare Schichtführung die Gantry nach Möglichkeit derart gekippt, dass eine fast parallele

Ausrichtung zur Unterschenkelängsachse, bzw. eine senkrecht zur Facies articularis talaris posterior stehende Gantry, resultierte. Gelingt dies nicht völlig, z. B. bei größeren Patienten mit langem Unterschenkel oder schmerzbedingter Einschränkung der Lagerung, wurde dementsprechend nur eine paracoronare Schichtung erlangt.

2.3 Frakturteilung nach der Münchener Klassifikation, Andere gebräuchliche Einteilungen

Die Münchener Klassifikation wurde an der Chirurgischen Klinik der Universität München – Innenstadt in Zusammenarbeit mit dem Institut für Klinische Radiologie entwickelt und 1992 bzw. 1994 im chirurgischen bzw. radiologischen Schrifttum erstmals vorgestellt. In einer initialen Serie wurden 44 Fersenbeinfrakturen hierzu evaluiert [13,48,49].

Seit dieser Zeit hat sich die Klassifikation im klinischen Betrieb etabliert. Brunner et al. fassen deren Eigenschaft wie folgt zusammen: „Diese Klassifikation unterscheidet nach den drei Kriterien Gelenkbeteiligung, Dislokation und Zahl der Fragmente der Facies posterior 6 Frakturklassen. In jeder Frakturklasse kann zusätzlich eine Stufenbildung, eine Verbreiterung, eine Höhenabnahme oder eine Achsenabweichung quantifiziert werden. Die neue Klassifikation bietet einen Maßstab für die Erfassung der Frakturschwere und der Dislokation und dient damit als Grundlage für eine objektivierbare Therapieentscheidung und einen prospektiven Vergleich der Therapieergebnisse“[13].

Mittels Auswertung (para)coronar und axial geschichteter CT-Bilder lassen sich die gewonnenen Kriterien Gelenkbeteiligung, Dislokation und Fragmentzahl der hinteren Gelenkfläche hierarchisch gliedern und in einer der 6 Frakturklassen einordnen, wobei die Prognose um so schlechter ausfällt, je höher die Klasse ist. In jeder Klasse kann das Ausmaß der Dislokation beschrieben werden [13].

Für die Beurteilung wird von Brunner et al. folgendes Procedere vorgeschlagen [13]:

Betreffend den Punkt **Gelenkbeteiligung**: Zunächst werden extraartikuläre und intraartikuläre Frakturen unterschieden. Die Gelenkbeteiligung bezieht sich prinzipiell auf alle Gelenke. Prognostisch und therapeutisch relevant ist jedoch in erster Linie die Beteiligung des hinteren unteren Sprunggelenkes (USG). Als extraartikulär gelten Frakturen des dorsocranialen Tuberculum ohne Ausstrahlung in das hintere USG (Entenschnabelbruch), des Processus medialis und lateralis, des Processus anterior oder des Sustentaculum tali. Als intraartikulär gelten Frakturen mit Beteiligung der Facies posterior des hinteren USG.

Betreffend den Punkt **Zahl der Fragmente** wird die Anzahl der Gelenkfragmente der Facies posterior angegeben. Liegen mehr als 4 Gelenkfragmente vor, wird von einer Trümmerfraktur gesprochen.

Betreffend den Punkt **Dislokation** wird zwischen nicht dislozierten und dislozierten Frakturen unterschieden. Brunner et al. beschreiben dies konkret [13]:

„Da das Ausmaß der Dislokation nicht mit der Zahl der Frakturfragmente bzw. der beteiligten Gelenke korreliert, muss auf jeder Ebene der Klassifikation eine Quantifikation der Dislokation erfolgen. Es wurden hierzu Hilfslinien und Formeln im zweidimensionalen CT-Schnitt eingeführt. Bewertet werden das Ausmaß der Gelenkstufe (A), der Verbreiterung (B) und der Höhenabnahme (C). Achsenabweichungen werden als Typ D ergänzt.“ Das heißt im Einzelnen (Abb. 2) [13]:

Stufenbildung (Typ A). „Die Gelenkstufe der Facies posterior wird in der (para)coronaren Schicht mit der maximalen Ausprägung beurteilt. Als relevant wurde eine Stufenbildung definiert, die in der CT einer Verschiebung um die corticale und subcorticale Schicht entspricht. Diese Schicht ist als hyperdense Zone gut abzugrenzen und kann daher auch im Einzelbild oder am Bildausschnitt beobachtet werden.

Verbreiterung (Typ B). Die Verbreiterung wird an der isoliert dargestellten coronaren und paracoronaren Schicht als Überschreitung eines lateralen Lots angegeben. Das laterale Lot stellt eine Hilfslinie dar, die in der Incisura fibulae verläuft und auf der tibiotalaralen Gelenkflächenebene senkrecht steht. Verbreiterungen über diese Lot hinaus stellen bereits optisch eine relevante Einengung des Peronealsehnens dar.

Höhenminderung (Typ C). Die Bestimmung der Höhenminderung erfolgt am besten in der coronaren Schicht mit der größten Höhe, kann aber auch in der paracoronaren Schicht durchgeführt werden. Eine Höhenminderung ist gekennzeichnet durch Einbrechen der medialen Fersenbeinwand entsprechend einem medialen Überlappen. Diese sogenannte Spikebildung erklärt sich durch Cranialisation und/oder Lateralisation des tuberositären Hauptfragments entlang der Hauptfrakturebene. Das Ausmaß der Höhenminderung wird bestimmt durch virtuelle Rekonstruktion der medialen Calcaneushöhe entsprechend der Sollhöhe (Fragment a + Fragment b). Die Differenz zur kleinsten Höhenausdehnung (c) des frakturierten und komprimierten Fersenbeins ergibt den Hö-

henverlust $((a + b) - c)$. Ein Höhenverlust über 10 % ist relevant für eine operative Korrektur.

Achsenabweichung (Typ D). Die Abweichung der Varus- bzw. Valgusachse wird im coronaren oder paracoronaren Schnitt, die Abweichung der Calcaneuslängsachse (calcaneocuboidaler Winkel) im transversalen Schnitt bestimmt“ (Abb. 2) [13].

Zusammenfassend stellt sich die **Münchener Klassifikation** wie folgt dar [13]:

- I) Extraartikuläre Fraktur ohne Dislokation
- II) Extraartikuläre Fraktur mit Dislokation
 Breite (B)/ Höhe (C)/ Achse (D)

- III) Intraartikuläre Fraktur ohne Dislokation
- IV) Intraartikuläre Fraktur mit Dislokation
 2 Gelenkfragmente der Facies posterior
 Stufe (A)/ Breite (B)/ Höhe (C)/ Achse (D)
- V) Intraartikuläre Fraktur mit Dislokation
 3 Gelenkfragmente der Facies posterior
 Stufe (A)/ Breite (B)/ Höhe (C)/ Achse (D)
- VI) Intraartikuläre Fraktur mit Dislokation
 4 oder mehr Gelenkfragmente der Facies posterior
 Stufe (A)/ Breite (B)/ Höhe (C)/ Achse (D)

Ein konservatives Vorgehen wird empfohlen bei Frakturen, die keine repositionswürdige Fehlstellung aufweisen, d. h. nicht oder nur minimal disloziert sind, namentlich somit Frakturen der Klasse I und III. Dislozierte Frakturen ohne oder mit Gelenkbeteiligung stellen im Prinzip eine Indikation zur offenen Reposition und Osteosynthese dar, also ein Vorliegen der Klasse II, IV, V oder VI. Unabhängig davon stellen Abrissfrakturen des Tuberculum oder Entenschnabelbrüche eine Indikation zur Operation dar. Offene Frakturen werden ebenfalls operativ behandelt [14].

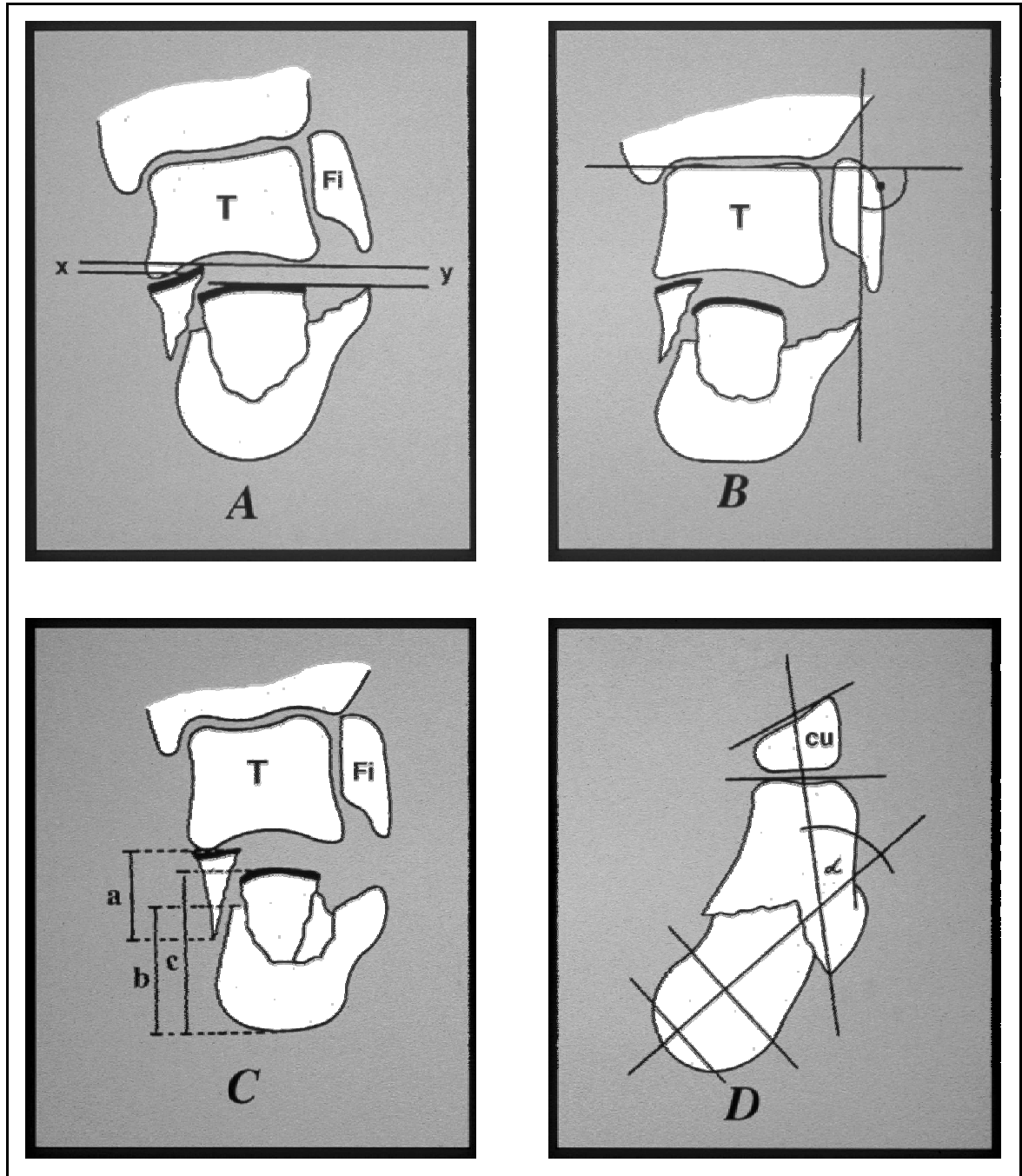


Abb. 2: Schema zur Quantifizierung der Dislokation, modifiziert nach Brunner et al.[13]:

- (A): Stufenbildung: x = Höhe der corticalen und subcorticalen Schicht, y = Gelenkstufe.
- (B): Verbreiterung: Einzeichnung des lateralen Lotes durch die Incisura Fibulae.
- (C): Höhenminderung: $a + b$ stellt die ursprüngliche Calcaneus-Höhe dar, subtrahiert man von dieser Summe die tatsächliche Höhe c , ergibt sich die aktuelle Höhenminderung.
- (D): Achsenabweichung: Hilfslinien zur Bestimmung des calcaneocuboidalen Winkels α .

Die Kriterien (A)/(B)/(C) werden im coronaren CT-Schnitt beurteilt, zur Beurteilung der Achsenabweichung (D) wird zusätzlich die axiale Orientierung herangezogen.

Abk.: T = Talus; Fi = Fibula; cu = Os cuboideum

Nach erfolgter Evaluierung gemäß der Münchener Klassifikation wurden dieselben einzelnen Fälle zusätzlich nach verschiedenen, in der Literatur beschriebenen und vermehrt diskutierten CT-basierten Einteilungs-Schemata klassifiziert. Es handelt sich dabei im Einzelnen um die Klassifikationen von:

- Zwipp et al. (Deutschland),
- Sanders et al. (USA),
- Crosby und Fitzgibbons (USA),
- Eastwood et al. (England) [18,23,24,61,82].

Die spezielle Wesensart dieser einzelnen Klassifikationen wurde bereits in 1.6.2. dargestellt (siehe oben).

2.4 Beurteilungskriterien in der CT

Die gewonnenen CT-Bilder wurden von zwei Befundern in standardisierter Form beurteilt, unklare Befunde wurden im Konsensverfahren erneut evaluiert. Im Anhang dieser Arbeit ist der Aufbau des dazu verwendeten Auswertungsbogens dargestellt. Bei Patienten, die sich beide Fersenbeine gebrochen hatten, wurde seitengetreunt evaluiert. Neben den Patienten-Stammdaten wurde die Orientierung der Schichtung (axial/ paracoronar), die verwendete Schichtdicke, sowie eine eventuell durchgeführte rechnerische Bildrekonstruktion dokumentiert. War diese Rekonstruktion für eine zweifelsfreie Befundung von besonderem Wert, wurde dies mit vermerkt. In Bezug auf die Bildqualität wurde der subjektive Eindruck beider Untersucher und das Vorhandensein störender Bildartefakte jeweils nach einem viergliedrigem, semiquantitativen Bildqualitätsscore, der aus einem etablierten Bildqualitätsscore adaptiert wurde (Tab. 2), eingestuft [5].

Der Kern des Auswertungsbogens besteht aus den standardisierten Abfragekriterien der Münchener Klassifikation, wie sie in 2.3 (s.o.) dargelegt wurden. Hieraus resultierte die Einteilung in eine der 6 Klassen, wobei im Falle einer zweifelhaften Zuordnung dies unter dem Punkt „nicht eindeutig“ eingetragen wurde. Ergänzend wurde noch die klassische Frakturtypeinteilung nach dem Schema tongue-type/ joint-depression von Essex-Lopresti vorgenommen und Raum zur vereinfachten Einzeichnung des Frakturlinienverlaufs in die Skizzen dreier repräsentativer coronarer Schnitte gelassen [26]. Besonderheiten und spezielle Begleitverletzungen wurden notiert.

Tabelle 2: Semiquantitativer, viergliedriger Score zur Beurteilung der Bildartefakte und Bildqualität von Leeraufnahmen (patientenäquivalentes 20mm Aluminiumphantom) und Standardröntgenaufnahmen (anthropomorphes Alderson Phantom) [5].

Leeraufnahmen: Artefakte, Bildqualität	
(4) Diagnostik unbrauchbar	(3) Diagnostik substanziell eingeschränkt
(2) Artefakte, Diagn. nicht eingeschränkt	(1) Diagnostik uneingeschränkt möglich
Standardaufnahmen: Erkennbarkeit kritischer Strukturen und anatomischer Details	
(4) kein Detail erkennbar, Diagnostik unbrauchbar	(3) Strukturen gerade erkennbar, Diagnostik substanziell eingeschränkt
(2) Details gut sichtbar, Diagnostik nicht eingeschränkt	(1) alle Details sichtbar, Diagnostik uneingeschränkt möglich

2.5 Vergleich des radiologischen Befundes mit gewähltem Therapieweg

Über das EDV-gestützte Datenbanksystem der Klinik wurde eruiert, welcher Behandlung die einzelnen Patienten von Seiten der Chirurgischen Klinik im Laufe Ihres Aufenthaltes unterzogen wurden. Die möglichen Ergebnisse „konservative Vorgehensweise“ oder aber „Operation (mit Osteosynthese)“, wurden mit der Therapieform verglichen, die gemäß der Münchener Klassifikation aufgrund des CT-Befundes empfohlen worden wäre. Durch die Gegenüberstellung soll geklärt werden, ob der behandelnde Chirurg der Therapieempfehlung auf Basis der Münchener Klassifikation folgt oder nicht.

3 ERGEBNISSE

3.1 Demographische Daten

Zur Auswertung gelangten insgesamt Daten von 45 verschiedenen Patienten, wobei sich 41 Personen eine einseitige und 4 Personen eine beidseitige Fraktur im Sinne der Studienfragestellung zuzogen. Es lagen somit **49 Calcaneusfrakturen** zur Begutachtung vor: 28 links und 21 rechts. Das männliche Geschlecht war deutlich stärker vertreten als das weibliche (Abb. 3): Auf 37 Männer die sich verletzten, kamen 8 Frauen. Das entspricht einer relativen Verteilung von 82,2 % zu 17,8 %. Das durchschnittliche Alter der Patienten betrug 40,93 Jahre. Teilt man die einzelnen Lebensalter zum Unfallzeitpunkt in Klassen á 5 Jahren auf, kann man graphisch eine Häufung im Bereich des arithmetischen Mittelwertes erkennen (Abb. 5). Auch die zeichnerische Darstellung mittels Boxplot veranschaulicht dies, der Median kommt bei 41 Jahren zu liegen (Abb. 4). Der jüngste Verunfallte war 15 Jahre, der älteste 77 Jahre alt.

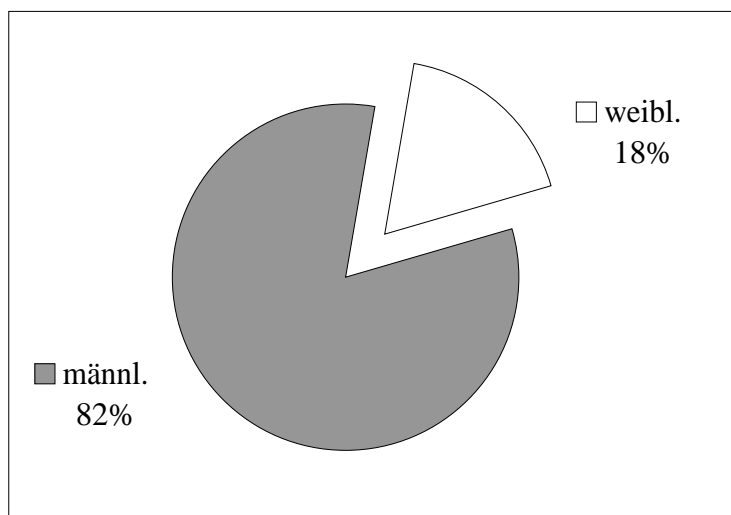


Abb. 3: Häufigkeitsverteilung des Merkmals Geschlecht: Frauen sind stark unterrepräsentiert.

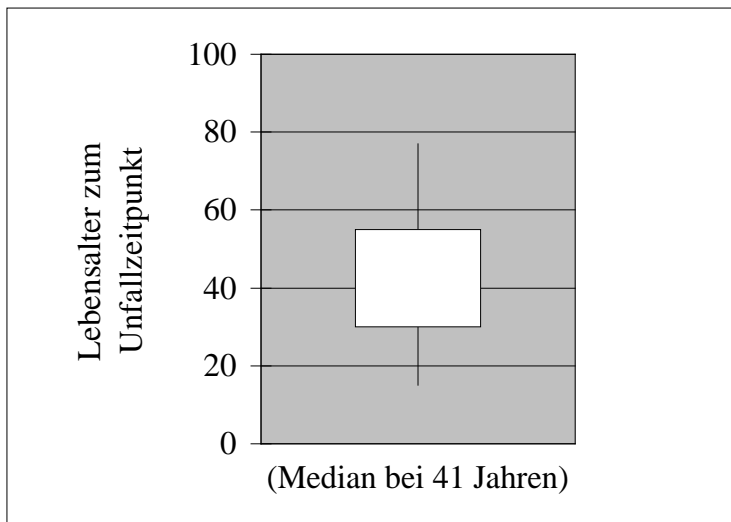


Abb. 4: Boxplot für das Merkmal Patientenalter. Der Kasten baut sich zwischen 1. und 3. Quartil auf, die Ausziehungen reichen bis zu den Extremwerten (15 und 77 Jahre).

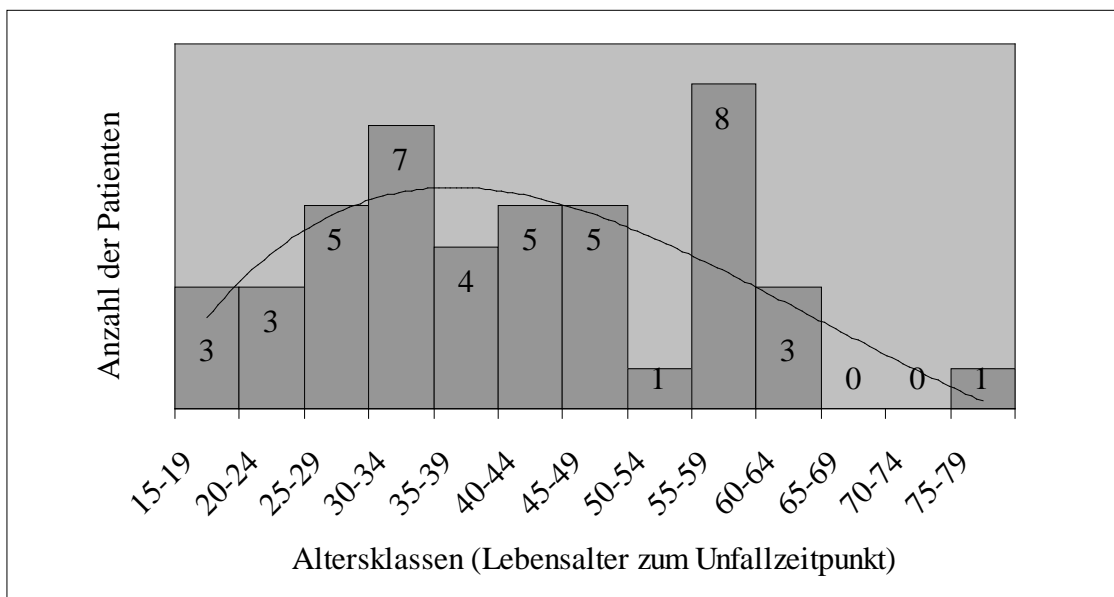


Abb. 5: Anzahl der Patienten, dargestellt nach Altersklassen, mit Einzeichnung einer Trendlinie.

3.2 Schichtführung und Bildqualität in der CT

Nicht bei jedem Patienten war es möglich, die zur optimalen Darstellung geforderten zwei Schichtführungen, axial und coronar, primär zu akquirieren. Die Erläuterung der Ursachen für eventuell lückenhafte CT-Bildreihen findet in 2.2 und 4.2 Raum. Insgesamt war in 30 Fällen (= 61,2 %) eine regelrechte primäre Akquisition sowohl eines axialen als auch eines coronaren Bilddatensatzes möglich. In 2 dieser Fälle wurde zusätzlich eine multiplanare Rekonstruktion in sagittaler Ebene durchgeführt. Bei 17 Fällen (= 34,7 %) war primär nur eine axial zu fahrende CT-Schicht realisierbar, in diesen Fällen wurden in der Folge bei 3 Patienten zusätzlich sagittale und bei 6 Patienten coronare Rekonstruktionen angefertigt. Schließlich ließ sich noch eine Gruppe beobachten, bei der primär nur die coronare Schichtung vorlag. Diese Gruppe bestand aus 2 Fällen (=4,1 %), wobei in einem Mal zusätzlich eine sagittale Rekonstruktion errechnet wurde. In Abb. 6 wird der beschriebene Sachverhalt in graphischer Form dargestellt.

Die Bildqualität der begutachteten CT-Schnittserien war überwiegend anstandslos: Klasse „gut“(2) und „sehr gut“(1) zusammen 42 Fälle = 85,7 %, Klasse „mäßig“(3) 7 Fälle = 14,3 % und Klasse „unbrauchbar“(4) kein Fall.

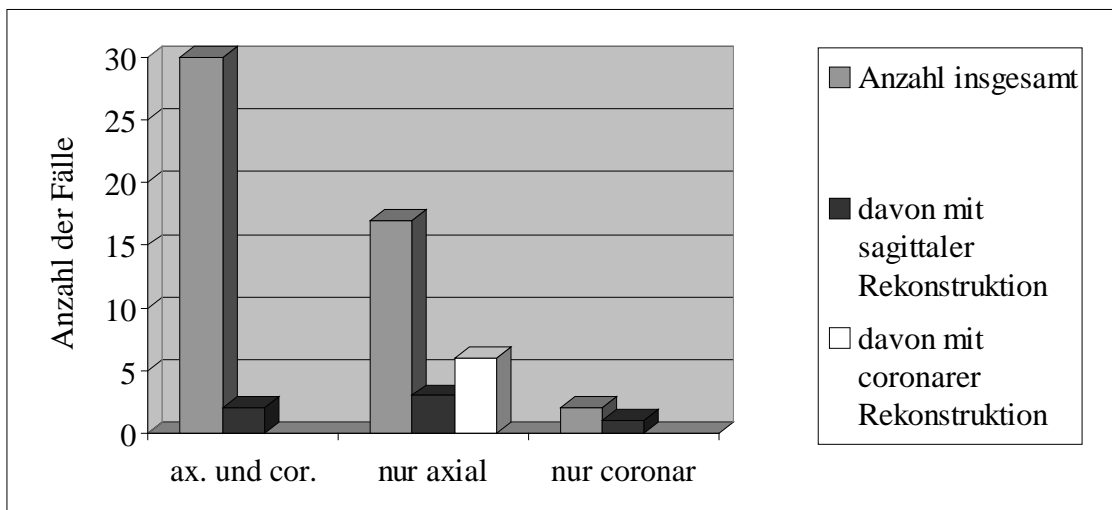


Abb. 6: Gewählte Schichtführung.

3.3 Analyse der Frakturformen

Extra-/intraartikulär

Insgesamt wurde in 9 Fällen (= 18,4 %) das Vorliegen einer extraartikulären Fraktur beobachtet, in 40 Fällen (= 81,6 %) das Vorliegen einer intraartikulären Fraktur (Abb. 7). Innerhalb der intraartikulären Gruppe lag die Anzahl der Fälle, bei denen auch die Facies articularis talaris anterior und/oder media mitbeteiligt war bei $n = 16$, das entspricht 40,0 % (Abb. 8).

Typ joint-depression / tongue-type

In Abb. 9 zeigt sich die Verteilung nach der von Essex-Lopresti erstmals beschriebenen Einteilung nach Joint-depression- und Tongue-type-Frakturen [26]. Insgesamt 26 Mal lag der Typ joint-depression vor (= 53,1 %), 10 Mal tongue-type (= 20,4 %) und 13 Mal (= 26,5 %) ließ sich die beobachtete Fraktur nicht in dieses klassische Schema einordnen. Solche Fälle lagen besonders dann vor, wenn aufgrund bizarrer Trümmerfrakturen keine Aussage mehr über den Frakturmechanismus gemacht werden konnte.

Zusammenhang zwischen Frakturtyp und Anzahl der Hauptfragmente

Die Hauptfragmentzahl der beobachteten Fälle lag in der Tendenz beim Vorliegen einer extraartikulären Fraktur niedriger – 6 Fälle mit 2 Fragmenten (= 66,7 % aller extraart. Frakturen), 2 Fälle mit 3 Fragmenten (= 22,2 %) und ein Fall mit 4 Fragmenten (= 11,1 %) – als beim Vorliegen einer intraartikulären Fraktur. Hier ist die Verschiedenheit der Fragmentanzahl größer und am häufigsten treten multiple Knochenbruchstücke auf: 21 Fälle multipel (= 52,5 % aller intraartikulären Frakturen), 9 Fälle mit 3 Fragmenten (= 22,5 %), 4 Fälle mit 4 Fragmenten (= 10,0 %), 4 Fälle mit 2 Fragmenten (= 10,0 %) und in 2 Fällen (= 5,0 %) war die Fragmentanzahl nicht sicher zu bestimmen (Abb. 10).

Fragmentzahl der Facies posterior

Bezüglich der prognostisch bedeutsamen hinteren Gelenkfläche interessierte bei allen intraartikulären Frakturen besonders die traumatische Fragmentierung der natürlichen Gelenkfacette. In Abb. 11 zeigt sich die Verteilung der Einzelfragmentzahl im Bereich der Facies posterior: 20 Mal 2 Fragmente (= 50,0 % aller intraart. Frakturen), 11 Mal 3 Fragmente (= 27,5 %), 6 Mal multiple Fragmente (= 15,0 %), 2 Mal 4 Fragmente (= 5,0 %) und ein unklarer Fall (= 2,5 %).

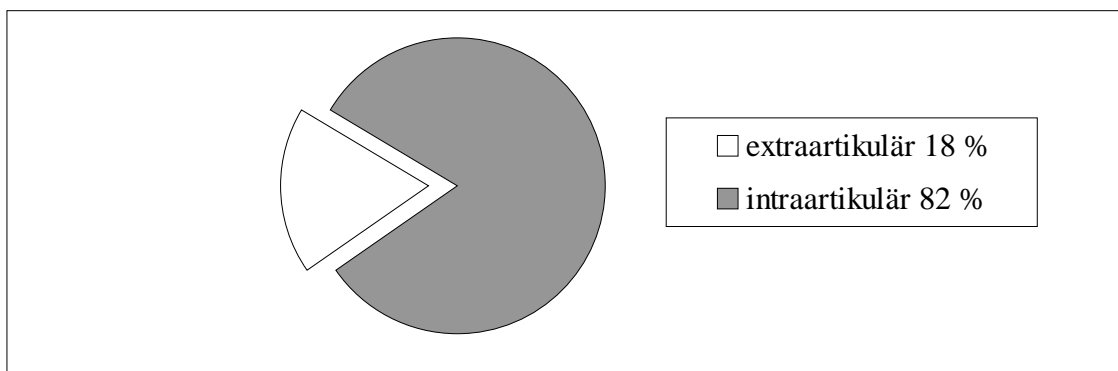


Abb. 7: Verteilung extraartikuläre/intraartikuläre Frakturen.

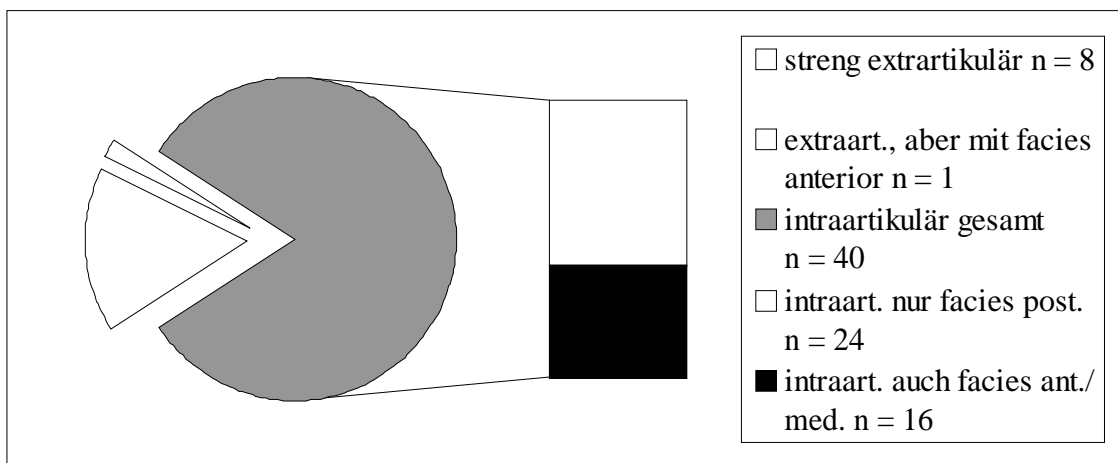


Abb. 8: Beteiligung der einzelnen Gelenkfacetten des unteren Sprunggelenkes.

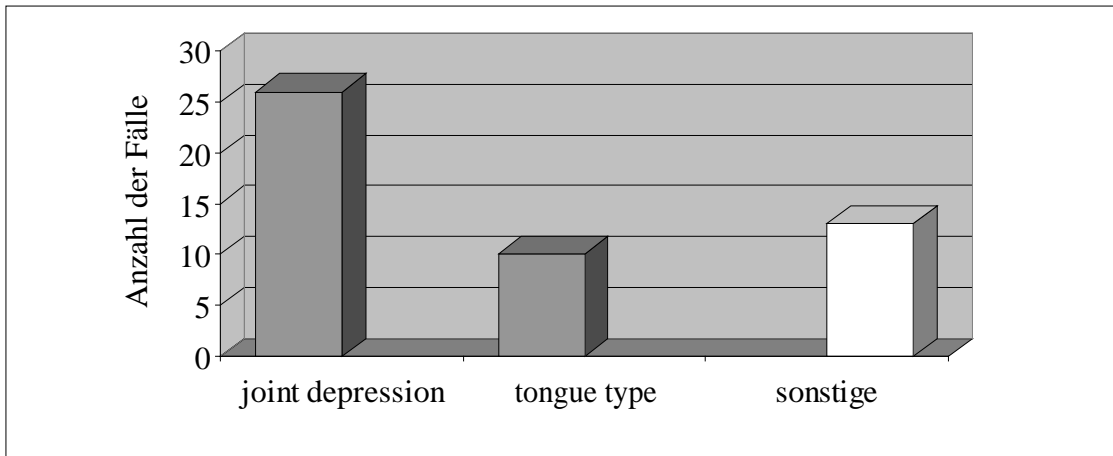


Abb. 9 Verteilung der Frakturarten bei Einteilung nach Essex-Lopresti [26].

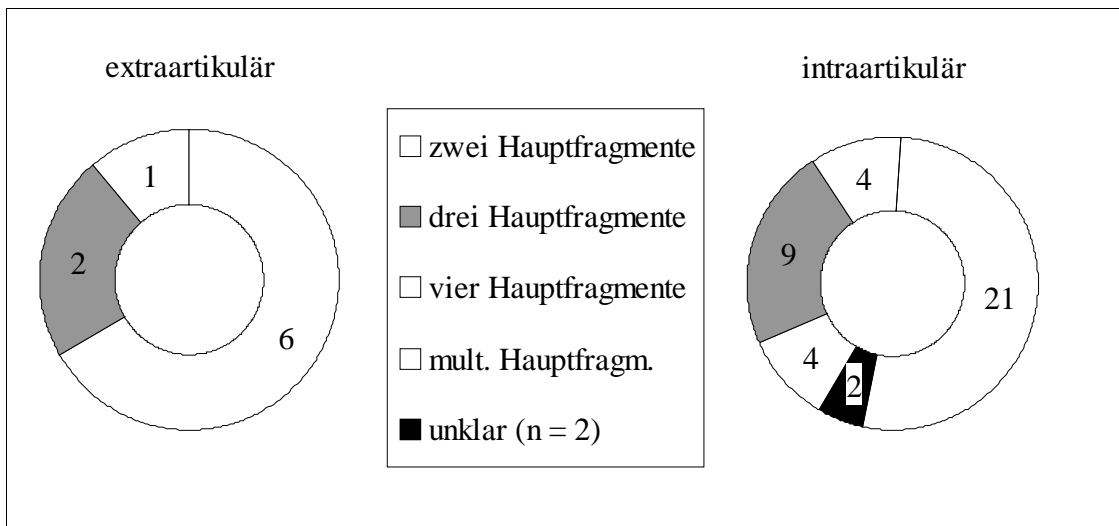


Abb. 10: Beobachtete Anzahl der Hauptfragmente.

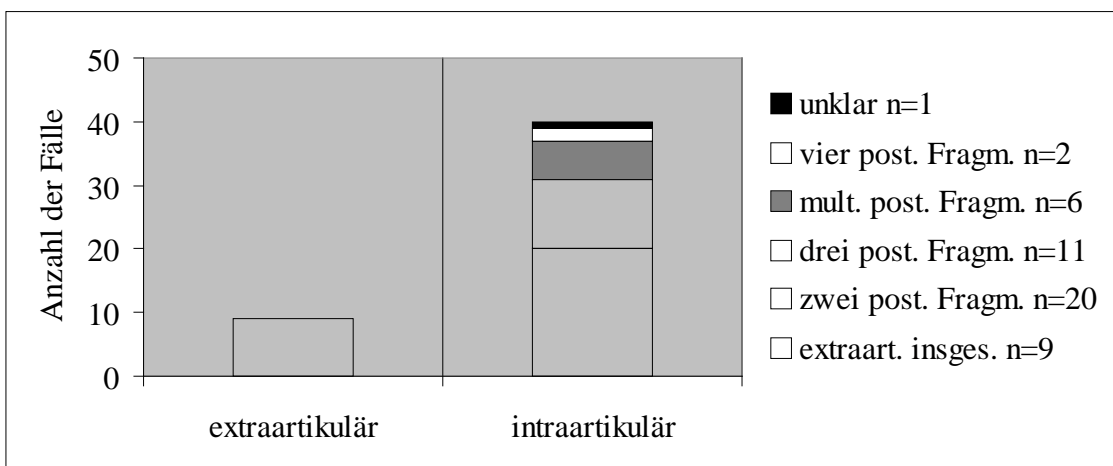


Abb. 11: Verhältnis der extraartikulären Frakturen zu den intraartikulären, mit Darstellung der Fragmentzahl an der Facies posterior.

3.4 Bestimmung der Dislokationskriterien (A)/(B)/(C)/(D)

Die einzelnen Kriterien Stufe (A), Breite (B), Höhe (C), und Achse (D) wurden qualitativ und quantitativ erfasst. Welches Messverfahren sich dabei als praktikabel erwies, und wie dabei im Einzelnen vorgegangen wurde, wird in 4.4 diskutiert. Nicht in jedem Fall erlaubte die CT-Darstellung eine eindeutige und sichere Aussage über das Vorliegen bzw. Ausmaß einer Abweichung im Sinne der Kriterien nach der Münchener Klassifikation (Abb. 12).

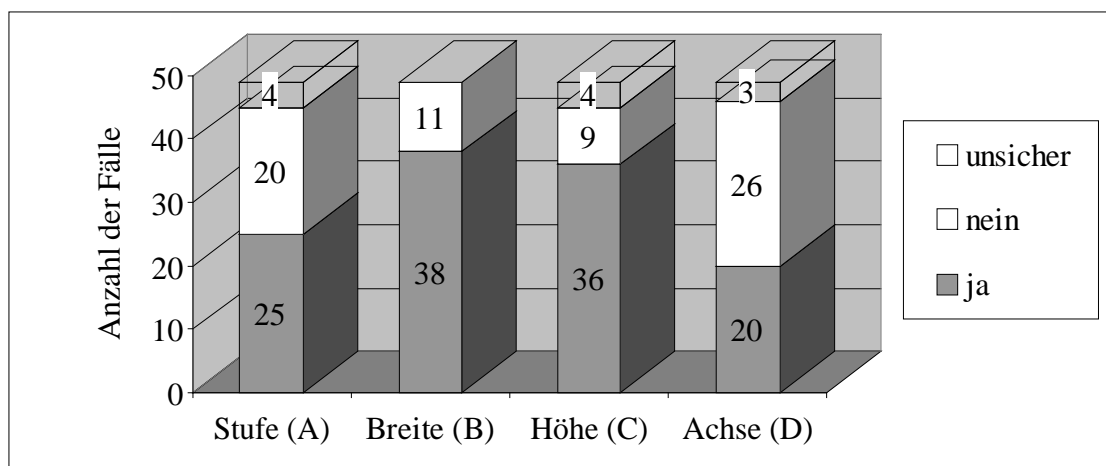


Abb. 12: Beobachtete Dislokation in den Kriteriengruppen (A)/(B)/(C)/(D).

Bestimmung des Kriteriums Stufe (A)

Eine etwaige Stufenbildung wurde bei der Bildbefundung entweder im Sinne der Münchener Klassifikation einfach bejaht (15 Fälle = 30,6%) oder verneint (20 Fälle = 40,8%) oder aber mit einem konkreten Absolutwert in Millimeter als Ergebnis ausgemessen (10 Fälle = 20,4%). Es verblieben 4 Fälle (= 8,2%) als nicht sicher einzustufen (Abb. 13).

Bestimmung des Kriteriums Breite (B)

Die Verbreiterung wurde auf diverse Arten eruiert: In 6 Fällen konnte eine Abweichung vom Normalen aufgrund der Bilddarstellung nur im Sinne von „Abweichung über das laterale Incisura fibulae- Lot hinaus“ schlicht bejaht werden (= 12,2%). In 7 Fällen (= 14,3%) gelangte man durch eine Additionsmessung der Einzelfragmente, die ins

Verhältnis zur Breite des frakturierten Calcaneus-Gesamtkörpers gesetzt wurde, zu einem dimensionslosen Vergleichswert in Form einer Prozentangabe. In 11 Fällen (= 22,4 %) wurde die vorgefundene Verbreiterung in Relation zu einer caudaleren, gesunden Stelle des selben Calcaneus-Corpus gesetzt, in 10 Fällen (= 20,4 %) wurde mit dem mitdargestellten gesunden Fuß der Gegenseite verglichen und in 4 Fällen (= 8,2 %) war eine sichere Aussage über den quantitativen Status der Verbreiterung nicht möglich. Keine Verbreiterung im Sinne der Münchener Klassifikation wurde 11 Mal vorgefunden (= 22,4 %) (Abb. 14). Bildet man für die prozentuale Abweichung der messbaren Breite der frakturierten Calcanei einzelne Klassen à 10 % und trägt die beobachteten Ergebnisse graphisch auf (Abb. 15), erkennt man tendenziell eine Häufung im Bereich der Verbreiterung um ein Drittel des Normalwertes.

Bestimmung des Kriteriums Höhe (C)

Analog zur Auswertung des Kriteriums Breite (B) verhielt sich die Bestimmung der Höhenminderung (C). In 12 Fällen (= 24,5 %) wurde ein Ergebnis mittels Additionsmessung erlangt, in 11 Fällen (= 22,4 %) diente die Gegenseite als Vergleichswert. Eine einfache Bejahung des Kriteriums war ebenfalls in 11 Fällen (= 22,4 %) möglich. Nur unsichere Aussagen konnten in 6 Fällen (= 12,2 %) gemacht werden und insgesamt 9 Mal (= 18,4 %) lag keine Höhenminderung vor (Abb. 16).

Eine diagrammäßige Darstellung mit Einteilung der messbaren Fälle des Höhenverlustes in einzelne 5 %-Klassen lässt eine tendenzielle Häufung um den Wert 15 % erkennen (Abb. 17). Im Vergleich mit den Ergebnissen des Kriteriums Breite (B) nimmt die Verminderung der Höhe (C) im Durchschnitt geringere Ausmaße an, wenngleich auch ein Höhenverlust durch die häufige Beteiligung der hinteren Gelenkfacette prognostisch und therapeutisch nicht minder gravierend ist.

Bestimmung des Kriteriums Achse (D)

Eine Achsenabweichung zwischen Calcaneus und Cuboid wurde in 20 Fällen beobachtet (= 40,8 %), keine Abweichung vom Normwert in 26 Fällen (= 53,1 %). Keine klare Aussage gemacht werden konnte in 3 Fällen (= 6,1 %). In Abb. 18 wird dies veranschaulicht.

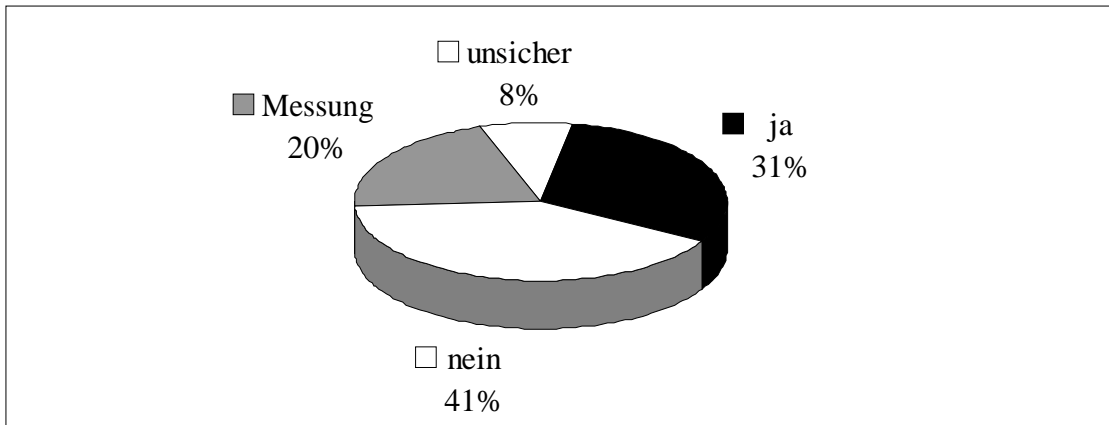


Abb. 13: Bestimmung des Kriteriums Stufe (A).

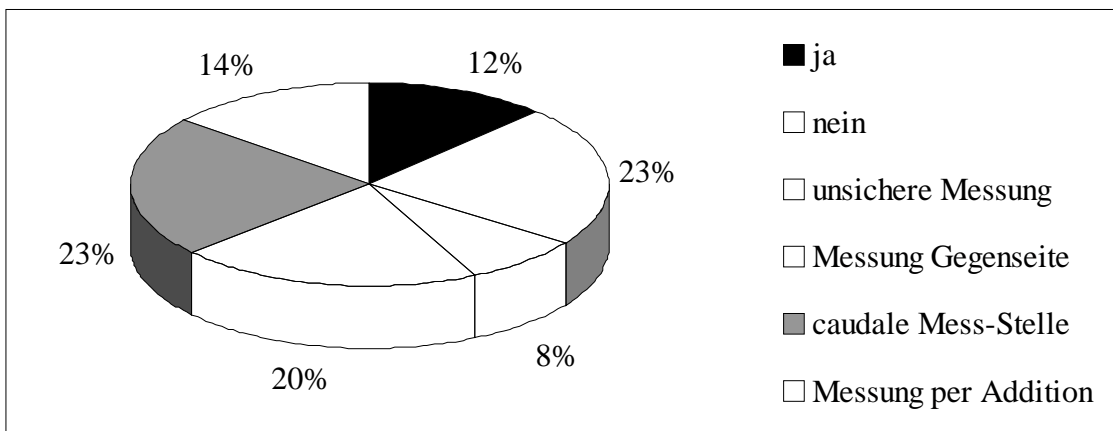


Abb. 14: Bestimmung des Kriteriums Breite (B).

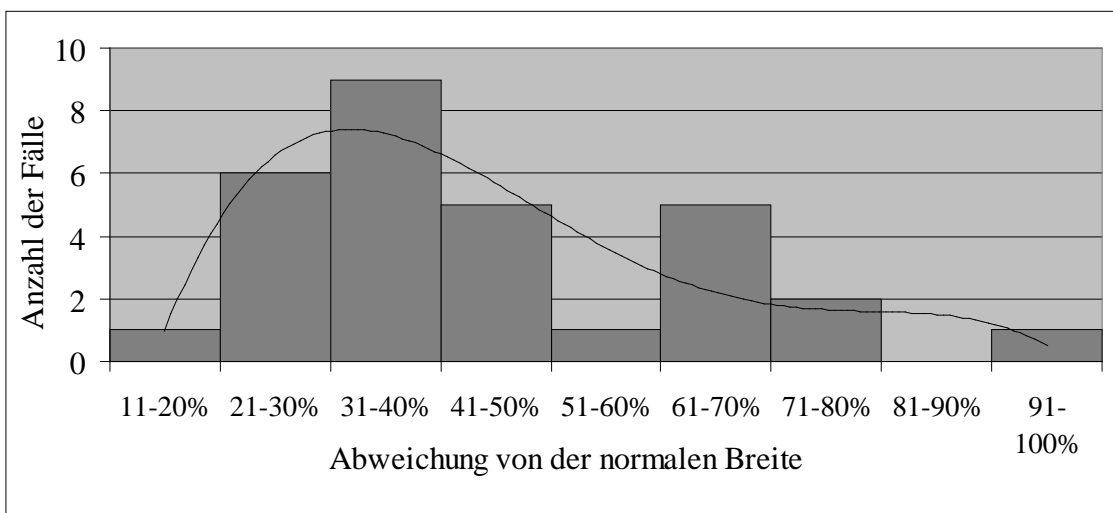


Abb. 15: Abweichung der Breite (B) in % mit Einzeichnung einer Trendlinie.

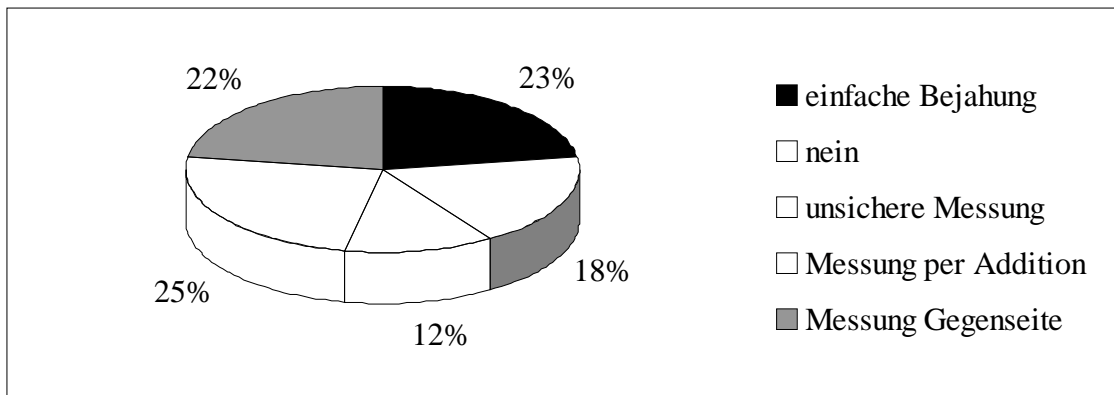


Abb. 16: Bestimmung des Kriteriums Höhe (C).

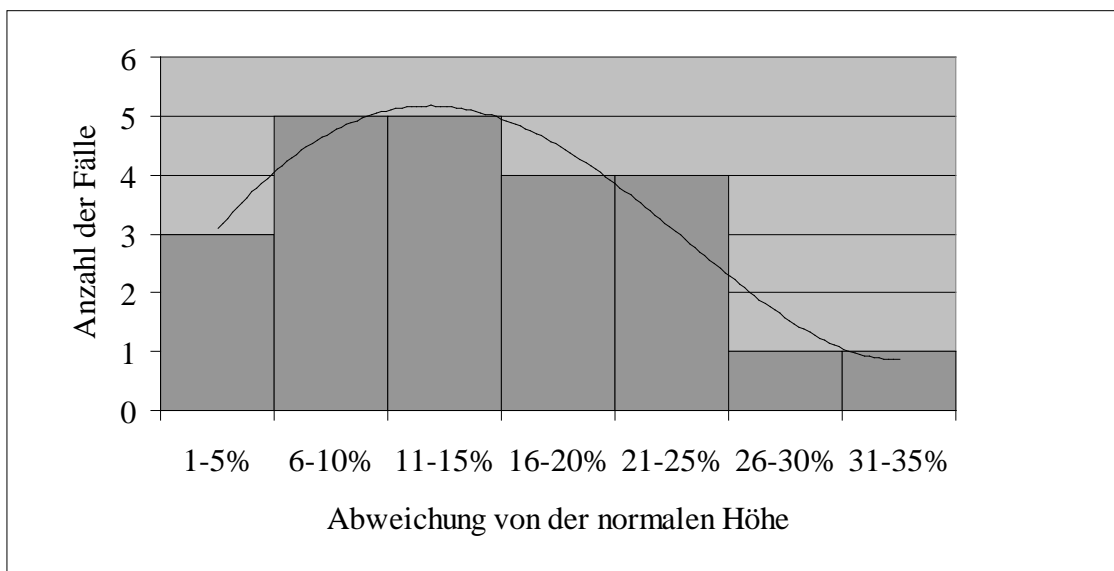


Abb. 17: Abweichung der Höhe (C) in %, mit Einzeichnung einer Trendlinie.

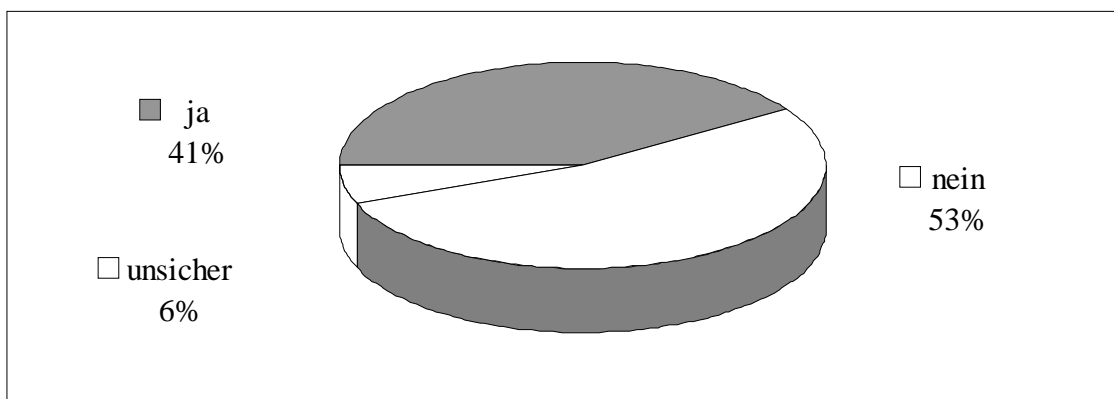


Abb. 18: Bestimmung des Kriteriums Achse (D).

3.5 Begleitverletzungen

Im Rahmen der studienmäßigen Erfassung der einzelnen Fälle wurden auf dem Auswertungsbogen bedeutsame Begleitverletzungen miterfasst. In 3 Fällen war auch der Talus von einer Fraktur betroffen, obgleich man aufgrund des Unfallmechanismus höhere Zahlen erwarten möchte. Der Processus anterior calcanei war in 3 Fällen frakturiert. In einem dieser Fälle war neben einem Processus anterior-Abriß das Talonaviculargelenk mit affektiert, bei diesem Patienten wurde interessanterweise aus Lagerungsgründen nur eine primär axiale Schichtung akquiriert, in der keine Auffälligkeiten festgestellt wurden. Erst in einer sagittalen Rekonstruktion imponierte dann die Fraktur (Abb. 19). Ferner wurde in einem Fall eine begleitende Außenknöchelfraktur beobachtet (Abb. 36, s. u.). Zahlenmäßig stark ($n = 26$; = 53,1 % aller Fälle) war die Gruppe der Fälle, bei denen das Calcaneocuboidalgelenk (CC) mitbetroffen war. In Abb. 20 wird deutlich, dass bei einer vorgefundenen CC-Beteiligung häufig auch eine höhere Frakturklasse gemäß der Münchener Klassifikation vorlag.

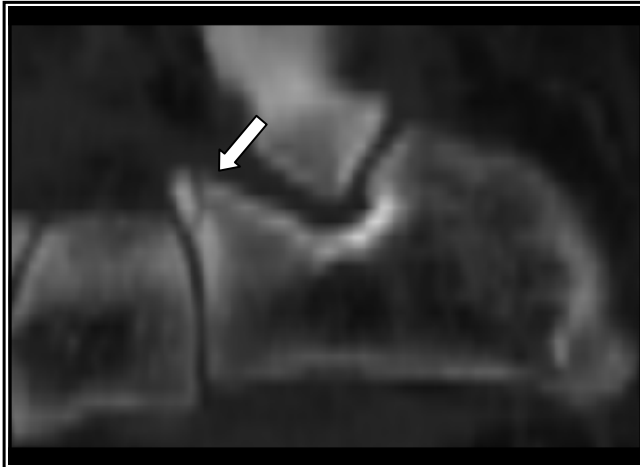


Abb. 19: Beispiel Patient Nr.7: Kleine Absprengung im Bereich des Processus anterior (←), sagittale Rekonstruktion. Die Fraktur war in axialer Schichtung nicht zu erkennen. Klasse I nach der Münchener Klassifikation.

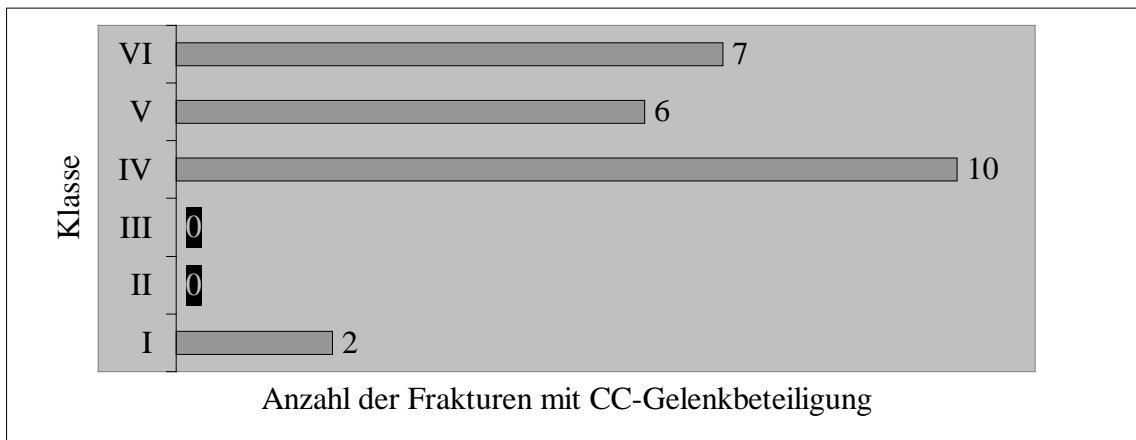


Abb. 20: Häufigkeit der Affektion des Calcaneocuboidalgelenkes (CC) in Bezug auf die Frakturklasse.

3.6 Analyse der Frakturformen nach der Münchener Klassifikation

In der Gesamtschau (Abb. 21) ergibt sich somit die Einteilbarkeit in eine der 6 Klassen nach der Münchener Klassifikation:

Klasse I:	8 Fälle
Klasse II:	1 Fall
Klasse III:	2 Fälle
Klasse IV:	20 Fälle
Klasse V:	9 Fälle (davon 2 unsicher)
Klasse VI:	8 Fälle (davon 1 unsicher)

Das Übergewicht der Klasse IV stellt sich prägnant dar, die intraartikuläre Fraktur mit nur 2 Fragmenten an der posterioren Gelenkfacette wurde von uns am häufigsten beobachtet. In 3 Fällen war die Einteilung mit einer gewissen Unsicherheit belegt, da zwar eindeutig war, dass ein intraartikulärer Typus vorlag, eine Beurteilung der Stufe (A) und Höhe (C) aber nicht möglich erschien. Es wurden in diesen Fällen aus Lagerungsgründen nur axiale Schichten angefertigt, Rekonstruktionen in anderen Ebenen lagen nicht vor. Bei einem Fall stellte sich eine Einteilung als unmöglich heraus.

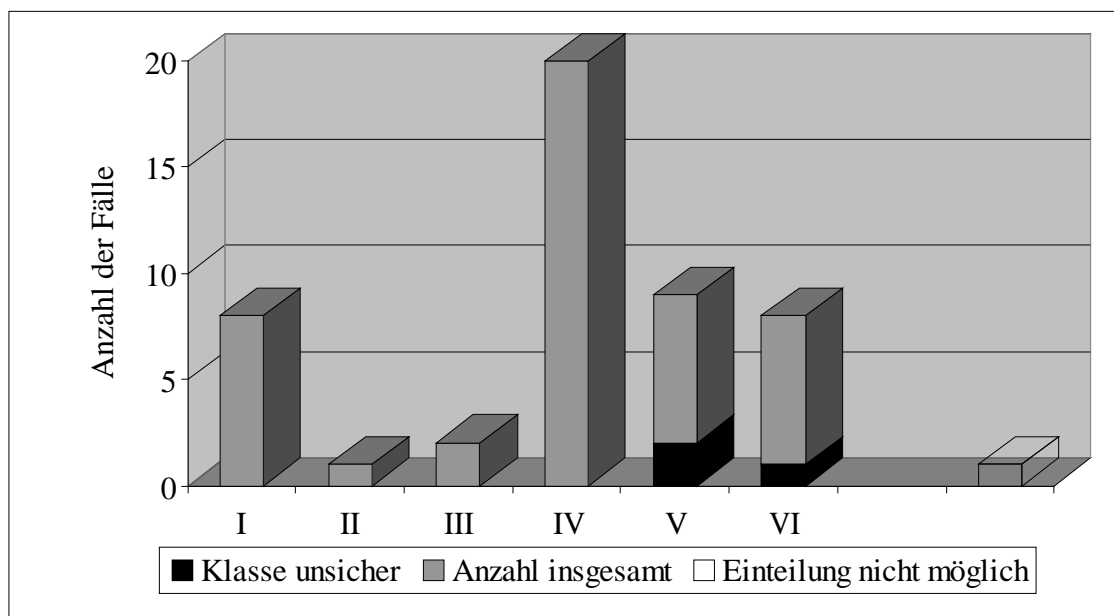


Abb. 21: Verteilung der einzelnen Klassen nach der Münchener Klassifikation.

3.7 Eingeschlagener chirurgischer Therapieweg

Die für jeden Fall individuellen Therapieempfehlungen gemäß der Münchener Klassifikation wurden den ermittelbaren, tatsächlich durchgeführten Behandlungsarten (konservativ/operativ) gegenübergestellt. In Abb. 22 wird das Ausmaß der Übereinstimmung zwischen empfohlener Therapie und tatsächlich eingeschlagenem chirurgischen Therapieweg dargestellt.

In 46 von 49 Fällen (entsprechend einem Recall von 93,9 %) konnte anhand der chirurgischen Krankenakten und OP-Protokolle überprüft werden, ob einer bestimmten Fraktur der Klasse I–VI konservatives oder operatives Handeln nachging. In einem Fall lag zwar ein OP-Protokoll vor, es konnte aber im Vorfeld keine eindeutige Frakturklassifizierung festgelegt werden. Bezüglich der restlichen 45 Fälle zeigt das Diagramm in Abb. 22 die erstaunlich hohe Übereinstimmung von Therapieempfehlung der Münchener Klassifikation und tatsächlich eingeschlagenem Therapieweg: nur in einem Fall bei Klasse VI, in 2 Fällen bei Klasse IV und in 3 Fällen bei Klasse I gab es keine Übereinstimmung. Das entspricht einer Rate der Befolgung des Therapievorschlages von 86,7 % bzw. einer Abweichung vom empfohlenen Verfahren in 13,3 % der Fälle.

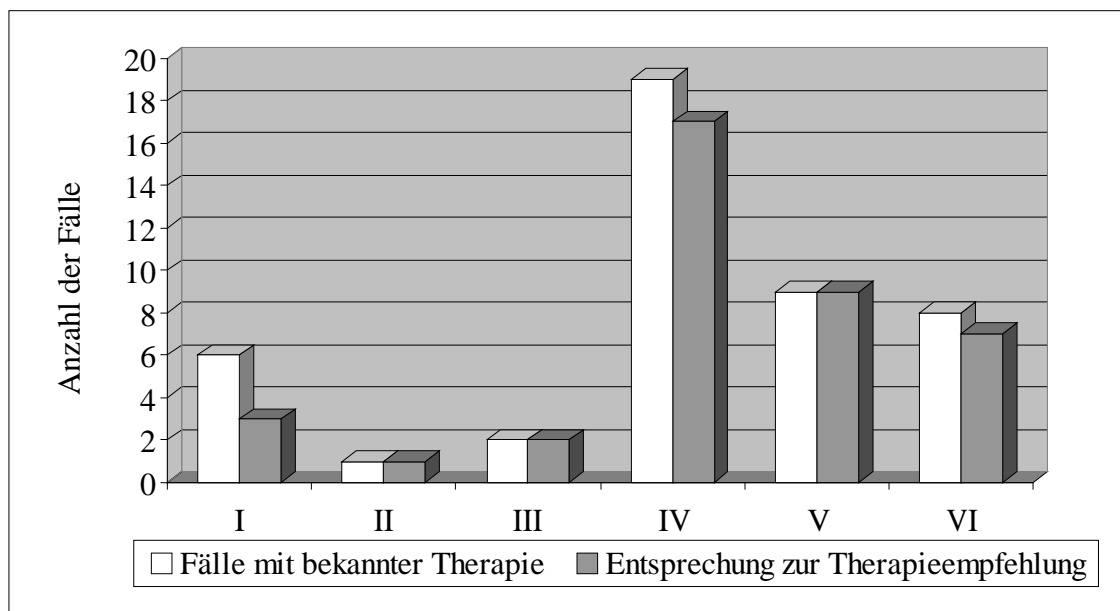


Abb. 22: Befolgung der Therapieempfehlung.

3.8 Einteilung nach anderen gebräuchlichen Klassifikationen

In den Abb. 23–26 ist die graphische Verteilung der Klassenbesetzung bei Einteilung nach anderen, in der Literatur vermehrt diskutierten, CT-basierten Klassifikationen dargestellt.

Bei Zwipp et al. sind Aufteilungen nach einem 12-stelligen Punkte-Score möglich, die stärkste Besetzung zeigt die Gruppe der Punktwerte 6, 7 und 8. Der häufigste Einzelwert (Modalwert) der Verteilung liegt bei Punktwert 8, ein unklarer Fall lag ein Mal vor (= 2,0%). Nach Sanders et al. liegt der Modalwert bei Typ II, ebenfalls ein Mal war die Einteilbarkeit unklar und in 9 Fällen (entsprechend den extraartikulären Frakturen = 18,4%) war die Klassifikation nicht anwendbar. Nach Crosby und Fitzgibbons liegt der Modalwert ebenfalls bei Typ II, auf 9 Fälle war wiederum die Klassifikation nicht anwendbar. Nach Eastwood liegt der Modalwert bei Typ 2, zwei Fälle (= 4,1%) waren unklar und hier entzogen sich wiederum 9 extraartikuläre Frakturen der Anwendbarkeit, weil bei Eastwood et al. ebenso wie bei Crosby und Fitzgibbons und bei Sanders et al. nur intraartikuläre Verletzungen zur Klassifizierung vorgesehen sind.

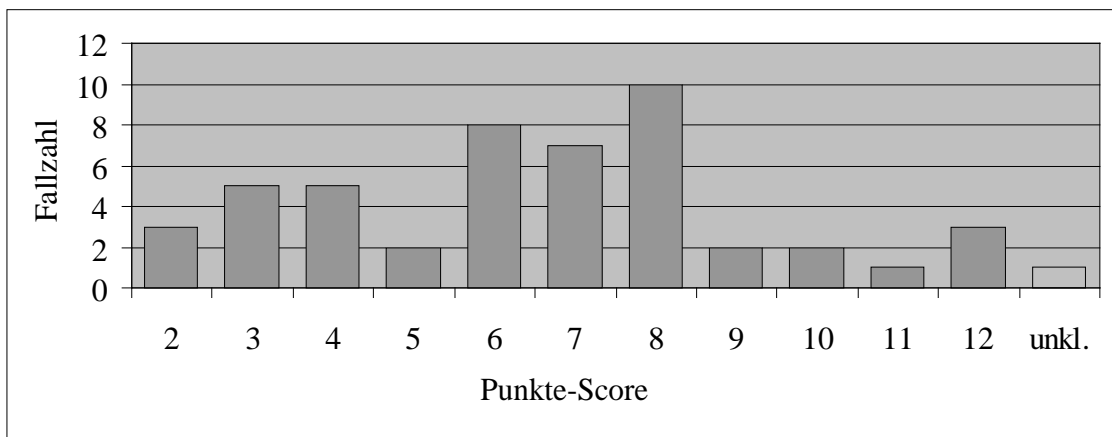


Abb. 23: Verteilung der einzelnen Fälle nach der Punkte-Klassifikation von Zwipp et al. [82].

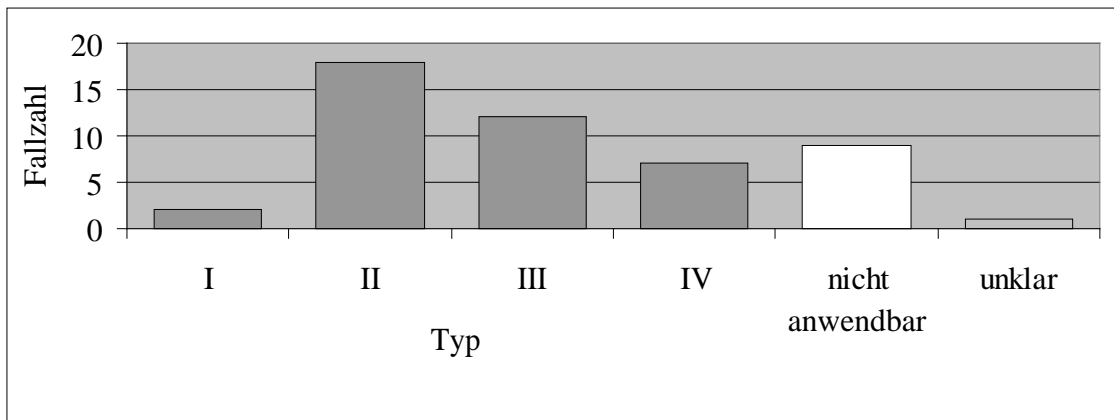


Abb. 24: Einteilung der einzelnen Fälle nach der Klassifikation von Sanders et al. [61].

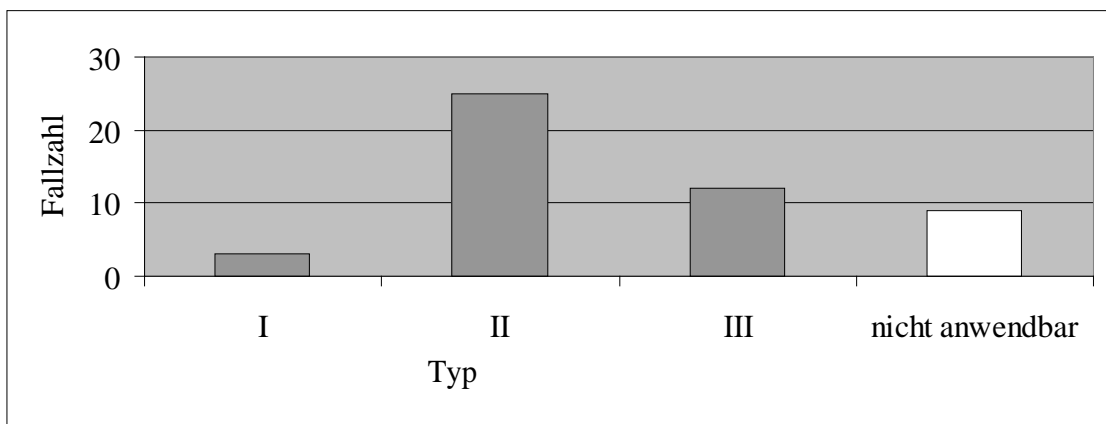


Abb. 25: Einteilung der einzelnen Fälle nach der Klassifikation von Crosby und Fitzgibbons [18].

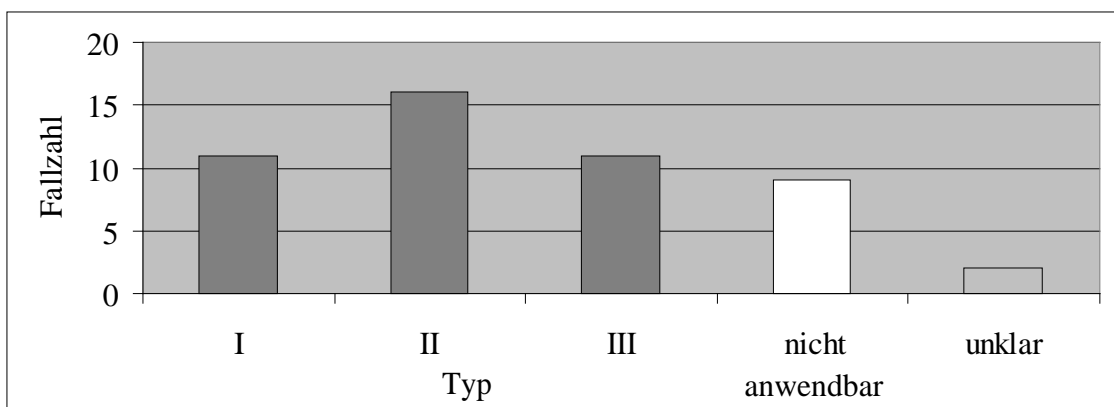


Abb. 26: Einteilung d. einzelnen Fälle nach der Klassifikation von Eastwood et al. [23].

4 DISKUSSION

4.1 Geschlechterverteilung

Bei unseren Auswertungen zeigte sich das männliche Geschlecht deutlich stärker vertreten als das weibliche. Eine höherer Exposition gegenüber Gefahrenquellen (z. B. im Beruf) oder ein anderes Risikoverhalten (z. B. als Verkehrsteilnehmer) können als Erklärung für die beobachtete Geschlechterasymmetrie herhalten. Eine Studie zum gleichen Themengebiet von Janzen et al. mit 45 Patienten weist beispielsweise nur Männer auf [42].

Das durchschnittliche Alter unserer beobachteten Patienten betrug 40,93 Jahre (arithmetischer Mittelwert), der Median lag bei 41 Lebensjahren. Hier könnte die Tatsache, dass im Bereich dieser Altersgruppe eine hohe berufliche Aktivität herrscht, als Erklärungsansatz dienen. Neuerer Untersuchungen von Tufescu und Buckley versuchen aus ähnlichen Überlegungen heraus einen Zusammenhang zwischen Geschlecht, Alter und Arbeitsbelastung auf der einen Seite und Prognose und Operationskonzept auf der anderen Seite abzuleiten. Demnach zeigen männliche oder unter starker körperlicher Arbeitsbelastung stehende Patienten mit einer operativen Therapie ein besseres Resultat [74].

4.2 Zeitlicher Untersuchungsaufwand, Zumutbarkeit und Strahlenbelastung für den Patienten

Zumutbarkeit für den Patienten

Ein Kriterium, dem bei der Beurteilung eines bestimmten Diagnoseverfahrens u. a. hohe Bedeutung zukommt, ist neben Spezifität und Sensitivität des Verfahrens die individuelle Belastung der Untersuchung für den Patienten. Personen, die sich eine Fraktur des Calcaneus zugezogen haben, sind einer erhöhten Schmerzbelastung ausgesetzt, die sich durch Manipulationen am verletzten Fuß entsprechend verschlimmern kann. Das Einnehmen und Beibehalten bestimmter Lagerungspositionen, namentlich das Anstellen der Beine und parallele Ablegen der Füße bei gebeugtem Knie in Rückenlage (für die coronare Schichtung), ist oft mit deutlichen Beschwerden verbunden. Obwohl durch Anwendung der CT-Spiraltechnik die eigentliche Abtastzeit nur noch in der zeitlichen Größenordnung von 15–20 Sekunden liegt, bereitet es manchen Patienten durchaus Mühe, in der vorgegebenen Position zu verharren. Als Folge drohen Bewegungsartefakte und Verschlechterung der Bildqualität. Diese Problematik sehen auch Häberle et al. [34]. Zwar wäre, wie von Frahm et al. empfohlen, auch eine Untersuchung in Bauchlage denkbar, die Füße lägen dann bei ca. 40° angehobenem Unterschenkel für die paracoronare Schichtung auf einem hohen Schaumstoffkeil und könnten entspannt werden [28]. Der Durchmesser der zu kippenden Gantry setzt jedoch auch hier Grenzen, das heißt der Fuß stößt relativ schnell an das CT-Gerät. Zudem bringt die Bauchlagerung bei Polytraumatisierten, zu denen ein Teil der Patienten mit Calcaneusfraktur von Natur der Unfallursache aus gehört, erhebliche Probleme und ist in vielen Fällen nicht realisierbar: Zur korrekten Positionierung bliebe dem Verunfallten ein mehrmaliges Umlagern nicht erspart und durch das Liegen auf dem Bauch wird die Atmung erschwert.

Strahlenbelastung

Von Guyer et al. im Jahr 1985 mit einem sequentiellen Scanner (GE 8800) durchgeführte vergleichende Untersuchungen zur Dosimetrie ergaben bei 22 coronaren Schichten der Dicke 5 mm eine Oberflächendosis von 0,017 Gy und bei 11 axialen Schichten (ebenfalls 5 mm) den gleichen Wert, so dass man für die Kombination axial und coronar

eine Dosis von 0,034 Gy erhält. Würden für eine sagittale oder coronare Bildrekonstruktion nur axiale 1,5 mm-Schichten gefahren, liegen die Angaben für 36 Scans bei 0,026 Gy. Zum Vergleich: 20 konventionelle Tomographieaufnahmen ergäben eine Gesamtdosis von 0,18 Gy. Somit liegt die Strahlenbelastung für das von Guyer et al. untersuchte Szenario einer Calcaneus-CT unter der einer Serie konventioneller Tomogramme, aber noch deutlich über der Exposition einer klassischen Röntgenaufnahme der gleichen Körperregion in z. B. 5 Ebenen (0,001 Gy) [33].

Moderne Scanner haben eine Dosisreduktion von 30–70 % realisieren können, so dass Bearcroft 1998 bei 60 axial akquirierten Schichten ein „effective dose equivalent“ (entsprechend dem vereinfachten Begriff der „effektiven Dosis“ nach den neuen Empfehlungen der internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP)) von $< 0,1$ mSv angibt [7,72]. Von Bearcroft wurde, wie von uns auch, ein Somatom Plus 4 CT-Scanner (Siemens AG, Medizinische Technik, Erlangen) in Spiraltechnik verwendet, dabei wurden von Bearcroft folgende Einstellungen bevorzugt: Schichtdicke 1 mm, Pitch 1, 120kV, 150mAs [7].

Die von Bearcroft empfohlene dünne Schichtdicke von 1 mm bei einem Pitch von 1 ist unter dem Aspekt prüfenswert, dass in Praxis häufig sekundäre Bildrekonstruktionen angefertigt werden, sei es um detaillierte Fragestellungen zu beantworten oder auf zweitem Wege eine andere als die primär akquirierte Bildebene darzustellen. Schichtdicken von z. B. 4 mm, wie sie von Kerr empfohlen werden [44], erscheinen uns hier zu breit, da sich in vorliegenden Untersuchungen (Schichtdicke 2 mm, Pitch 1,5) zeigte, dass in 38,8 % der Fälle nur eine Orientierung gefahren wurde und fehlende Informationen auf Umwegen oder durch multiplanare Rekonstruktion (MPR) nachgeliefert werden mussten (Abb. 6, s. o.). Rohdaten, die mit einer schmalen Schichtführung und niedrigem Pitch akquiriert würden, bewirkten in solchen Fällen neben einer höheren Ortsauflösung auch eine Qualitätssteigerung der rekonstruierten Bilder. Aus ähnlichen Überlegungen lehnt Bearcroft Schichtdicken von mehr als 3 mm für Fragestellungen am Muskuloskelettal-System grundsätzlich ab [7].

Nach unserer Erfahrung sollten multiplanare Rekonstruktionen aus Schnittbildern ≤ 1 mm angefertigt werden. Zu beachten ist, dass hierbei ein mittlerer Rekonstruktionsalgorithmus bei der Primärdatenaquisition gewählt wird, um Rekonstruktionsartefakte zu vermeiden. Ein Pitch-Faktor von 1,5 (z. B. Scanparameter: 2/3/1 mm) ist ausrei-

chend, ebenso ein dosisadaptiertes Protokoll, das zu einer Reduktion der applizierten Strahlendosis führt. Diese Vorgehen hat sich gegenüber der sequenziellen CT-Technik mit Anfertigung von zwei Aufnahmeserien durchgesetzt.

Die Einführung der Mehrzeilen-Computertomographie (MSCT, Multislice-CT) führt zu einer weiteren Verbesserung der Untersuchungstechnik. Durch nahezu isotrope Voxel kommt es zu einer verbesserten z-Achsenauflösung, der Auflösung entlang der Körperlängsachse. Dies wiederum ermöglicht eine verbesserte MPR-Darstellung bei freier Wahl der Schichtebene [57].

Untersuchungsaufwand

Unabhängig davon, welches Klassifizierungsschema man heranzieht, wird in einer Vielzahl von Studien die Meinung vertreten, dass die diagnostische Mehrinformation den höheren zeitlichen und logistischen Aufwand, den eine CT-Untersuchung des Fußes im Gegensatz zu konventionellen Röntgenaufnahmen verursacht, rechtfertigt [2,10,23,28,34,42,43,53,68,69,79,82]. In der präoperativen Evaluation von Calcaneusfrakturen ist die CT zum Standardverfahren geworden. Nur wenige Autoren wie z. B. Thoradson sind den Möglichkeiten der CT gegenüber skeptisch eingestellt [16,73]. Die Vorteile werden um so augenscheinlicher, je deutlicher man sich die eigenwillige anatomische Gestalt des Calcaneus vor Augen hält und bedenkt, dass selbst subtile konventionelle Aufnahmetechniken in mehreren Projektionen noch Unklarheit über den exakten Frakturverlauf lassen können [23,82].

4.3 Zeitlicher Aufwand für Befundung und Klassifikation

Bei der Evaluation der zu klassifizierenden Bilder benötigten die zwei Untersucher im Durchschnitt eine Bearbeitungszeit von 10 Minuten pro Bilderserie eines Fußes. Auf eine Zuhilfenahme des vorhandenen, alten Befundberichtes wurde dabei bewusst verzichtet, um eine möglichst alltagsähnliche Situation zu simulieren.

Zu bedenken ist, dass einerseits durch die hintereinander erfolgende Beurteilung mehrerer gleichartiger Verletzungen ein Lerneffekt eintritt, der die Befundungszeit verkürzt. Andererseits aber wird durch die genaue Dokumentation, die parallel erforderlich war, dieser Effekt wieder nivelliert. Das Ausmessen einzelner Linien im CT-Bild erwies sich durch zweckmäßige Software-Tools der Befundungsstation als einfach und zügig in der Handhabung. Obwohl eine genaue Quantifizierung der sonst üblichen Befundungszeit für eine Fraktur des Calcaneus schwer angegeben werden kann, lässt sich jedoch erkennen, dass zur zeitlichen Dauer der rein morphologischen Deskription der Fraktur noch die Zeit hinzugerechnet werden muss, die das Anlegen und Ausmessen der Hilfslinien in Anspruch nimmt, will man den initialen Empfehlungen der Arbeitsgruppe von Brunner et al. folgen [13]. Es lässt sich somit abschätzen, dass eine Befundung mit erforderlicher Einteilung gemäß der Münchener Klassifikation einen gewissen zeitlichen Mehraufwand bedingt, dem der Vorteil eines besseren Frakturverständnisses und einer verfeinerten Therapie- und Prognoseabschätzung entgegensteht.

4.4 Anwendbarkeit der empfohlenen Vorgehensweise zur Bildbefundung

Die Anwendung einer CT-gestützten Fraktуреinteilung wie die der Münchener Klassifikation bedingt eine Loslösung von der Denkweise im Sinne des klassischen Essex-Lopresti-Schemas: joint-depression oder tongue-type oder sonstige Fraktur, dessen Grundlage ja die Auswertung rein konventioneller Übersichtsaufnahmen ist. Nichtsdestoweniger macht es zum besseren Verständnis der Frakturmechanismen Sinn, dieses Schema zur Veranschaulichung von häufig anzutreffenden, typischen Frakturlinienverläufen heranzuziehen. In der CT kommt vielmehr, neben der Einschätzung der Qualität der Fraktur, der Quantifizierung verletzungsbedingter Muster eine besondere Bedeutung zu. Die einzelnen, von Brunner et al. postulierten Vorgehensweisen zum Ausmessen entsprechender Veränderungen, erwiesen sich während der studienmäßigen Befundung als unterschiedlich praktikabel:

4.4.1 Anwendbarkeit bei guten Aufnahmebedingungen

Zunächst wird vom aufnahmetechnischen Idealfall ausgegangen, d. h. es war lageungsmäßig möglich, sowohl axiale als auch paracoronare Schnittbilder von guter bis sehr guter Abbildungsqualität zu erstellen. In unseren Untersuchungen war dies 30 Mal der Fall. Um sich eine erste Orientierung über die Gelenkbeteiligung der Fraktur, namentlich also über den Zustand der Facies posterior zu machen, galt die Aufmerksamkeit zuerst den coronaren Bildern. Die posteriore Gelenkfläche war in jede Bildserie unschwer zu erkennen und eine Einteilung nach intraartikulär/extraartikulär somit fast immer möglich.

Die Bestimmung der **Stufenbildung (Typ A)** war problemlos in jedem Fall möglich. Es boten sich zwei Möglichkeiten an:

- 1) Eine Stufenbildung wurde, wie von Brunner et al. vorgeschlagen bei Vorhandensein einer Verschiebung um die corticale und subcorticale Knochenschicht als relevant vorhanden angesehen bzw. bei fehlender Verschiebung verneint [13].

- 2) Eine Stufenbildung wurde auf dem Bildschirm der Workstation vermessen, mit einem konkreten mm-Wert als Ergebnis.

Als praktikabler erwies sich ersteres Vorgehen, da hier eine grobvisuelle Beurteilung bereits zum Ergebnis führte und damit ein Anlegen von Messlinien entfallen konnte. Der Nachteil, somit keinen konkreten Messwert in Millimetern als Zusatzinformation für den Operateur zu erhalten, wird von uns als vertretbar angesehen, da für eine optimale Therapieergebnis allgemein die Rekonstruktion auch schon kleiner Stufen gefordert wird [14,56]. Folglich lautet für die Klassifizierung die Fragestellung: Besteht eine relevante Stufenbildung oder nicht ?

Für die Quantifikation der **Verbreiterung (Typ B)** wurde über die Empfehlung von Brunner et al. hinaus („Verbreiterung über laterales Lot“[13]) in vielen Fällen eine exaktere Vermessung durchgeführt. Als zweckmäßige Verfahren wurden drei Vorgehensweisen erarbeitet:

- 1) Die Spitzen der beiden äußersten lateralen Knochenfragmente wurden in einem repräsentativen coronaren Schnitt miteinander verbunden und die Strecke abgelesen. Dieser Wert wurde ins Verhältnis gesetzt zur normalen Breite des Calcaneus, die am selben frakturierten Knochen an einer caudaleren, intakten Stelle gemessen wurde. Da der Calcaneus im coronaren Schnittbild eine annähernd rechteckige Form aufweist, erscheint uns für hinreichend genaue Vergleichswerte diese Vorgehensweise als legitim.
- 2) Die Spitzen der beiden äußersten lateralen Knochenfragmente wurden miteinander verbunden und die ermittelte Strecke ins Verhältnis zur Breite der entsprechenden gesunden Gegenseite gesetzt (Abb. 30)
- 3) Die Spitzen der beiden äußersten lateralen Knochenfragmente wurden ebenfalls miteinander verbunden, das Messergebnis wurde dann ins Verhältnis zu einem Wert, der aus der Breitenaddition der Einzelfragmente gebildet wurde, gesetzt. Kritischerweise muss hier gesagt werden, dass diese Art der Ausmessung mit vergleichsweise höheren Fehlern behaftet sein kann, da das Risiko besteht, dass sich Einzelfragmente bei Drehung oder Abkipfung aus der Schnittebene nicht mehr in ihrer wahren Breite projizieren. Als grobquantitative Methode lässt sie sich jedoch auch dann noch einsetzen (Abb. 27 u. 29), wenn ausgedehnte Trümmerfrakturen

caudalere Breitenmessungen nicht gestatten oder die Gegenseite nicht verwertbar ist, wie z. B. bei beidseitigen Verletzungen.

Welchem Verfahren der Vorzug zu geben ist, kann nicht pauschal gesagt werden und hängt vom Einzelfall ab. Kritischerweise muss gesagt werden, dass in der vorliegenden Studie mit ihrem überwiegend retrospektivem Charakter gute Bildqualitäten häufiger erscheinen können, verglichen mit den im alltäglichen Routinebetrieb tatsächlich angefertigten Bildern. Denkbar ist, dass z. B. eine Untersuchung, die aufgrund eines technischen Gerätefehlers ein miserables Ergebnis lieferte, erst gar nicht archiviert wurde. Nicht immer liegen also alle Bilder vor und bei Bedarf muss auf geeignete Alternativen ausgewichen werden. Als genaueste und gleichzeitig schnellstes Vorgehen erscheint uns, bei gegebenen Voraussetzungen, das Ausmessen per Vergleich mit der gesunden Gegenseite.



Abb. 27: Beispielbild Patient Nr. 33: Impaktion des Corpus calcanei. Bei Fehlen der Vergleichsmöglichkeit mit der gesunden Gegenseite können Additionsmessungen herangezogen werden. Das Anlegen zahlreicher Messlinien ist jedoch zeitaufwendiger. Klasse IV nach der Münchener Klassifikation. Später operative Versorgung.



Abb. 28 u. Abb. 29: Beispielbilder Patient Nr.18: Coronare Schichtung mit nur wenig rotierten Frakturfragmenten. Problemloses Anlegen der Messlinien zur Additionsmessung für die Breiten- und Höhenbeurteilung. Klasse IV nach der Münchener Klassifikation. Später operative Versorgung.

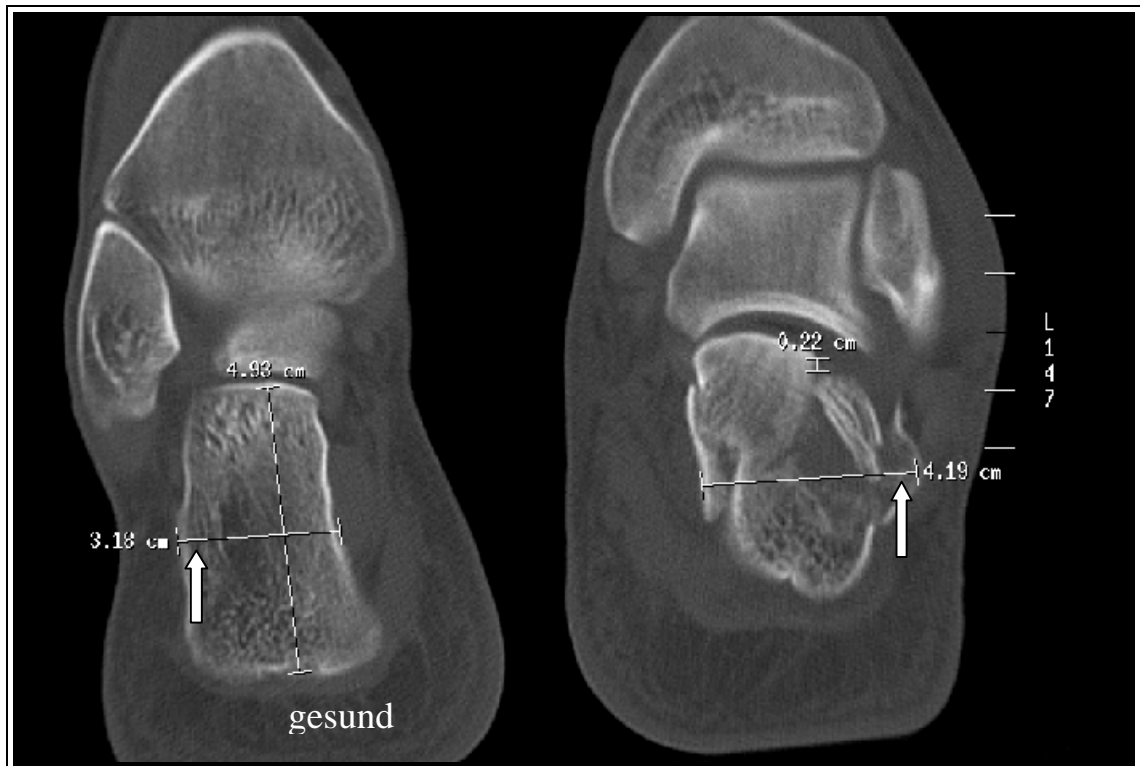


Abb. 30: Beispielbild Patient Nr. 49: Coronare Schichtung. Vergleich der Verbreiterung des frakturierten Corpus calcanei mit der gesunden Gegenseite (⇔) Mit eingezeichnet: Messlinien zur Höhenbestimmung auf der gesunden Seite und Gelenkstufenabschätzung auf der frakturierten Seite.

Zum Kriterium der **Höhenminderung (Typ C)** stellt sich der Sachverhalt analog zu Typ B (s. o.) dar. Es besteht die Möglichkeit der Höhenstrecken-Addition (wie von Brunner et al. vorgeschlagen), um einen „gesunden“ Bezugswert zu erhalten (Abb. 28), oder der Vergleich mit der unversehrten Gegenseite (Abb. 32). Vor- und Nachteile sind mit denen von Punkt 3 für Typ B (s. o.) sinngemäß identisch, zudem wäre bei schweren Trümmerfrakturen eine Additionsmessung vieler Kleinstfragmente absurd. Erlaubt die Bilddarstellung keine exakte Ausmessung von vorhandenen Anomalien, z. B. weil definitive Messpunkte nicht festgelegt werden können, verbleibt noch die Möglichkeit der einfachen Bejahung des Kriteriums (Abb. 31 u. 33).

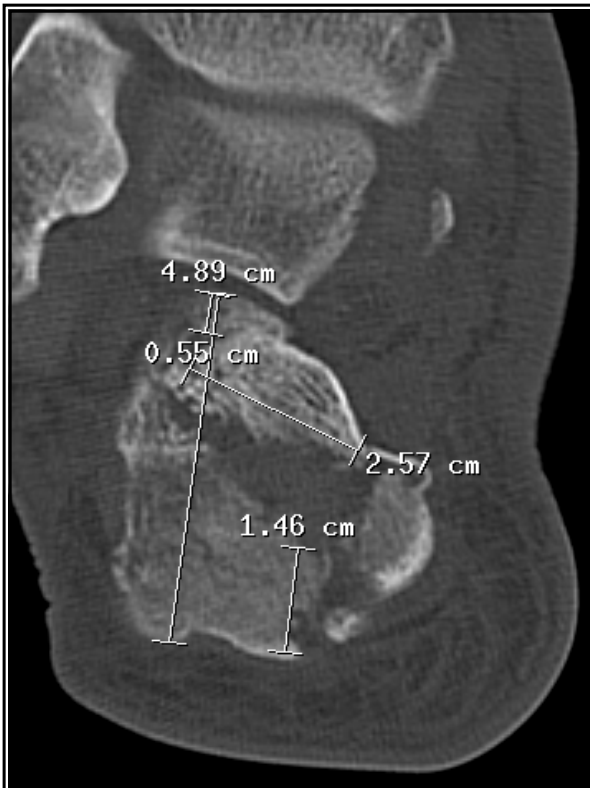


Abb. 31: Beispielbild Patient Nr. 27: Trümmerfraktur mit deutlicher Dislokation nach medial und Varusfehlstellung des Rückfußes. Objektive Messpunkte sind nur schwer auszumachen, die Fragmente scheinen teilweise rotiert; jedoch eindeutige Bejahung der Kriterien Stufe/Breite/Höhe möglich. Klasse VI nach der Münchener Klassifikation. Später operative Versorgung.

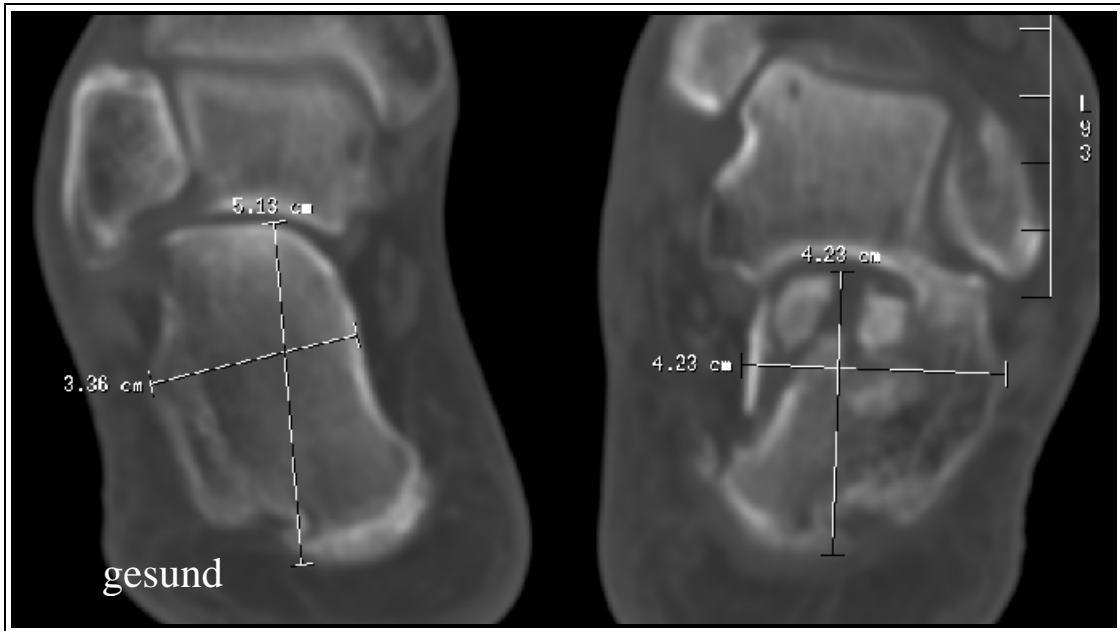


Abb. 32: Beispielbild Patient Nr. 34: Coronare Schichtung. Joint-depression-Fraktur. Varusfehlstellung des Rückfußes. Vergleich von Breite und Höhe mit der gesunden Gegenseite. Klasse V nach der Münchener Klassifikation. Später operative Versorgung.

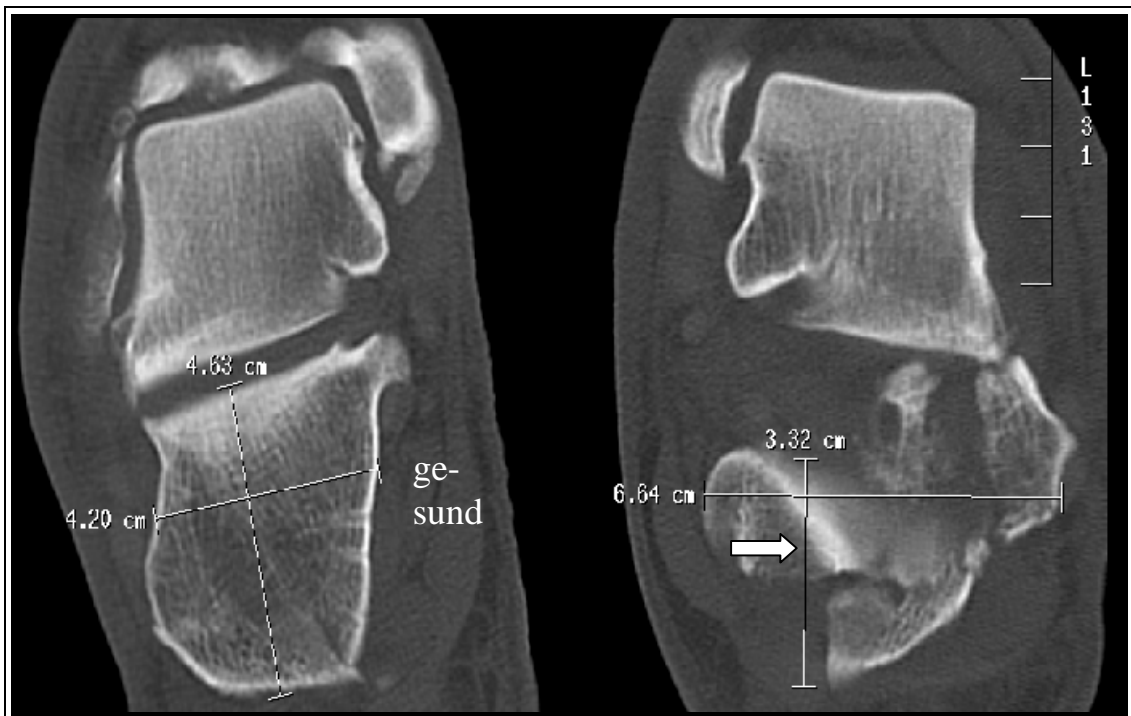


Abb. 33: Beispielbild Patient Nr. 38: Coronare Schichtung. Berstung des Corpus calcanei und Abkippung nach lateral. Breitenvergleich durch Abmessen der gesunden Gegenseite. Die miteingezeichneten Messlinien (⇨) zur Höhenbestimmung sind auf der frakturierten Seite durch die bizarre Verformung nicht mehr sinnvoll anzubringen. Klasse VI nach der Münchener Klassifikation. (Punktwert 10 nach Zwipp et al., Typ III nach Crosby u. Fitzgibbons, Typ 4 nach Sanders et al., Typ 3 nach Eastwood et al.). Später operative Versorgung.

Das Kriterium **Achsenabweichung (Typ D)** bereitet bei der Auswertung der axialen Bilder in keinem Fall ein Problem: Hier ist nur über das qualitative Vorliegen bzw. Nichtvorliegen einer Calcaneuslängsachsen-Abweichung vom Normalwert (ca. 25°) zu befinden (Abb. 34).



Abb. 34: Beispielbild Patient Nr. 35: Axiale Schichtung. Abschätzung der Achsenabweichung durch Einfügen des Mess-Tools „Winkelbestimmung“ und Vergleich mit der ebenfalls frakturierten, aber nicht achsendevianten Gegenseite. Es zeigt sich eine Winkeldifferenz von 20°.

Im Bild links: Tongue-type-Fraktur, Klasse I nach der Münchener Klassifikation, (Punktzahl 2 nach Zwipp et al.; Nach Crosby u. Fitzgibbons, Sanders et al. oder Eastwood et al. nicht klassifizierbar) Später konservative Behandlung.

Im Bild rechts: Joint-depression-Fraktur, Klasse VI nach der Münchener Klassifikation; (Punktzahl 10 nach Zwipp et al., Typ III nach Crosby u. Fitzgibbons, Typ 4 nach Sanders et al., Typ 3 nach Eastwood et al.) Später operative Behandlung.

4.4.2 Anwendbarkeit bei Vorliegen nur einer Schichtebene

Oben erwähnte Unwägbarkeiten (siehe 2.2 u. 4.2) gestatten in Einzelfällen nur die Anwendung von Behelfstechniken. So liegen, z. B. weil ein polytraumatisierte Patient das Procedere einer CT-Untersuchung nicht toleriert, nur Schnittbilder einer Ebene vor. Das Problem der lagerungsbedingte Belastung für den Patienten beschreiben auch Häberle et al. [34]. Die Anwendbarkeit der Münchener Klassifikation in solchen Fällen gestaltete sich unterschiedlich:

Nur axial:

Ein Teil (34,7 %) der Studienbilder lag nur in axialer Schichtung vor (Abb. 6, s. o.). Wurden aus diversen Gründen keine multiplanaren Bildrekonstruktionen durchgeführt, ließ sich über wesentliche Kriterien keine sichere Aussage treffen. Lediglich die Achsenabweichung (Typ D) und Begleitverletzungen, z. B. des Cuboids, ließen sich dann beurteilen. Ferner konnte behelfsmäßig die Verbreiterung (Typ B) gemessen werden, wenn auch nicht in der von Brunner et al. geforderten coronaren Schicht.

Nur coronar:

In seltenen Fällen (4,1 %) lag nur eine coronare Schnitfführung vor. Wesentliche Kriterien sind dann aber einer Befundung immer noch zugänglich, lediglich die Längsachsenabweichung kann nicht mehr beurteilt werden.

Aus diesen Beobachtungen lässt sich die Forderung ableiten, grundsätzlich immer mit 1 mm-Schichten axial zu scannen, um daraus zusätzliche bedarfsgerechte multiplanare Rekonstruktionen (MPR) in coronarer oder sagittaler Orientierung anzufertigen. Mit der Verfügbarkeit eines MSCT-Gerätes wird die freie Wahl einer MPR ohnehin problemlos realisierbar.

4.4.3 Anwendbarkeit bei Vorliegen sekundär rekonstruierter Schnittbilder

In der Mehrzahl der Fälle (9 von 17 = 52,9%), in denen nur eine axiale Ebene angefertigt wurde, lagen multiplanare Bildrekonstruktionen in sagittaler oder coronarer Orientierung vor. In 2 Fällen war, unbeachtet einer Einteilung in eine Klassifikation, nur durch die rekonstruierten Bilder eine aussagekräftige Diagnose möglich. Wird coronar rekonstruiert, liegt im Ergebnis ein Bilddatensatz vergleichbar einer normalen coronaren Aufnahme vor. Ein leistungsfähiges Spiral-CT-Gerät vermag heute Ansichten zu errechnen, deren optischer Eindruck frühere, grobgerasterte Rekonstruktionen deutlich übertrifft.

In 3 Fällen wurden aus dem axial gewonnenen Datensatz zusätzlich sagittale Bilder erstellt. Einer der Gründe, warum im Einzelfall eine sagittale Orientierung einer coronaren, die ja der Münchener Klassifikation dienlicher gewesen wäre, vorgezogen wurde, mag in der guten Vergleichbarkeit mit konventionellen Seitenaufnahmen liegen. Hier kann einem Außenstehenden nach unklarem konventionellen Röntgenbefund eine anschauliche Darstellung in vergleichbarer Projektion präsentiert werden. Dennoch erlaubt auch die sagittale Projektion, die Kriterien Stufenbildung (Typ A) und Höhenminderung (Typ B) einzuschätzen, die Frage nach Verbreiterung (Typ C) und Achsenabweichung (Typ D) können dann ergänzend in den axialen Scans beantwortet werden.

Insgesamt gesehen ist aus Gründen einer zügigen Beurteilung und Klassifikation immer eine Kombination aus axialen und coronaren (ggf. rekonstruierten) Bildern anzustreben, da außerhalb dieses Schemas angefertigte Darstellungen (z. B. nur sagittale Rekonstruktionen) eine mit Zeitverlust behaftete Umorientierung erfordern. Zudem besteht bei völligem Fehlen einer zweiten Ebene, also auch Fehlen von Rekonstruktionen, die konkrete Gefahr, parallel zur Schichtung orientierte Befunde gar nicht darzustellen oder den Grad der Rotation eines Fragments zu unterschätzen. Es wird seit längerem in der Literatur kontrovers diskutiert, ob die CT am besten axial, coronar, axial und coronar oder gar in anderer Technik durchgeführt werden sollte [39]. Protokolle, die nur eine primär zu akquirierende Schichtung vorsehen, wie z. B. bei Crosby und Fitzgibbons, Häberle et

al., Hohendorff, Kerr et al. oder Sanders et al. beschrieben, werden von uns befürwortet, wenn die technischen Voraussetzungen zur Anfertigung von MPR-Bildern vorhanden sind [18,34,41,44,60].

Wechsler et al. schlagen angesichts heutiger Spiral-Technik grundsätzlich nur noch die Anfertigung eines axialen Bildsatzes vor (1 mm Schichtdicke, Pitch 1, 170 mAs, 120 kV), zu welchem je nach Bedarf die coronaren und sagittalen Ebenen rechnerisch rekonstruiert werden können [78]. Diese Vorgehensweise scheint angesichts des von uns beobachteten Anteils von 34,7 % nur primär axial akquirierte Bilder sinnvoll, da ja die adäquate Lagerung für coronare Schichten bei einem Frischverletztem nicht unproblematisch ist. Die rekonstruierte, frei wählbare Schicht würde dann in wirklich streng coronarer Orientierung vorliegen, womit Kritikern wie Sangeorzan bezüglich der Standardisierbarkeit der coronaren Schichtführung am Calcaneus entgegengetreten werden könnte [63]. Obwohl in unseren Untersuchungen ein Spiral-CT-Gerät eingesetzt wurde, muss bedacht werden, dass die Ausrüstung mit Geräten der neuesten Generation noch nicht als flächendeckend angenommen werden darf und ein primär akquirierter Datensatz (noch) immer Bilder höherer Güte liefert. Erst mit der Einführung der Multislice-CT kann auf die Anfertigung einer zweiten Spiraluntersuchungsebene verzichtet werden [15,45,57].

4.4.4 Anwendbarkeit: Zusammenfassender Erfahrungsbericht

Bei Vorliegen eines einwandfreien axialen und coronaren Bildsatzes erlaubte das standardisierte Beurteilungsschema, wie es von den Initiatoren der Münchener Klassifikation vorgeschlagen wurde, eine routinemäßige Erfassung auch komplexer Fraktursituationen am Calcaneus. Die quantitative Erfassung der Abweichungen (A)/(B)/(C)/(D) wurde durch zweckmäßige Softwaretools, wie z. B. „Linealfunktion“, vereinfacht. Die exakte Ausmessung der Höhenminderung (C) per Additionsmethode stellte sich als relativ zeitaufwendig heraus, ein Vergleich mit der gesunden Gegenseite war dagegen deutlich zügiger in der messtechnischen Anwendung. Dies traf besonders bei Frakturen mit multiplen Fragmenten zu, die bei 52,5 % aller intraartikulären Calcaneusfrakturen vorgefunden wurden. Die Beurteilung der Stufe (A), Breite (B) und Achse (D) warf keine größeren Probleme auf, der Vergleich zur Gegenseite beschleunigt

jedoch auch hier die Auswertung. Dem zeitlichen Mehraufwand für die spezielle Befundung, der sich nach Einübung deutlich reduzierte, standen die Vorteile einer differenzierten Klassifikation gegenüber.

Ein schon von Sangeorzan gegenüber Crosby und Fitzgibbons geäußelter Kritikpunkt ist auch uns bewusst [19,63]: Die spezielle Lagerung des Patienten für die coronare Ebene erlaubt es nicht, eine exakt reproduzierbare, standardisierte coronare Schichtführung zu realisieren. Auch Brunner et al. sehen dieses Problem und sprechen deshalb von „semiquantitativen Parametern zur Indikationsstellung“ [12]. Gegebenenfalls liegt im Resultat nur eine paracoronare Orientierung vor. Vertretbar scheint uns dieser Umstand aber, insoweit keine absoluten Messungen der Corpushöhe vorgenommen werden, sondern grundsätzlich versucht wird, Relationen anzugeben. Zudem wird die Beurteilung der Integrität der hinteren Gelenkfacette (A) und der Verbreiterung (B) des Corpus durch geringfügige, parallel zur Calcaneuslängsachse orientierte Abkippungen aus der Gantry-Idealebene nicht wesentlich beeinflusst.

Bei Verfügung eines Multisclice-CT-Gerätes wird durch die Möglichkeit der freien Wahl der Schichtführung mittels MPR obiges Problem beseitigt.

4.5 Vorschläge einer optimierten Vorgehensweise zur Bildbefundung

Aufgrund der Untersuchungsergebnisse wird von uns folgendes modifiziertes Vorgehen für die Münchener Klassifikation vorgeschlagen:

Akquisition axialer (1 mm) CT-Bilder beider parallel positionierter Füße, technisches Vorgehen und spezielle Patientenlagerung wie unter 2.2 beschrieben. Die zusätzliche coronare oder sagittale Schichtung wird sekundär rekonstruiert (MPR).

Für einen ersten Überblick der Situation sind die knochengefensterten, coronaren Schnitte heranzuziehen. Als Verständnishilfe des Frakturmechanismus kann die Unterscheidung nach dem klassischen Muster „joint-depression/tongue-type/Sonstige“ dienlich sein. Typische Hauptfrakturlinien, beispielsweise in den Entenschnabelfortsatz ziehend, lassen sich so oft schneller erkennen. Es folgt die Beurteilung und Ausmessung der Kriterien Stufe (A), Breite (B), Höhe (C) und Achse (D), letztere auch im axialen Bildsatz. (A) kann beim Vorhandensein einer Verschiebung um die corticale und sub-corticale Knochenschicht bejaht werden. (B) liefert durch Anlegen einer Messlinie und Vergleich mit der gesunden Gegenseite zwei Messwerte, die in Relation zueinander gesetzt und ebenso wie bei (C) als Abbild der Schwere der Fraktur gelten können. Dies Vorgehen liefert eine quantifizierbare Mehrinformation gegenüber der einfachen Abschätzung, ob das laterale Incisura fibulae-Lot überschritten wird oder nicht. Voraussetzung hierfür wäre ohnehin ein Ausbrechen des Corpus nur nach lateral, was durch die enge ligamentäre Bindung des Sustentaculum zwar meist gegeben ist, nicht aber als feste Regel angenommen werden kann. Ein rechtwinkliges Einloten zur tibiotalaren Gelenkflächenebene wäre zudem nicht weniger zeitaufwendig als vergleichendes Messen. Ebenso liefert für (C) ein Vergleich der frakturierten Gesamthöhe mit der gesunden Seite ein schnelleres Ergebnis als die fehlerträchtige Additionsmessung, die von Brunner et al. ursprünglich vorgeschlagen wurde [12,13]. Das etwaige Vorhandensein einer Achsenabweichungen (D) wird zusätzlich im axialen Schnitt befundet. Diese Schichtführung lag bei unseren Untersuchungen praktisch immer (95,9 %) vor, größere Auswertungsprobleme in diesem Punkt sind nicht zu erwarten.

Als Resultat der Befundung erhält man somit, neben der weiterhin unerlässlichen morphologischen Deskription der Verletzung, die Einteilbarkeit in eine der 6 Gruppen der Münchener Klassifikation, ergänzt um die Zusätze (A): ja/ nein, (B): Relativwert in %, (C): Relativwert in %, (D): ja/ nein. Diese Daten bieten die Grundlage und Entscheidungshilfe für das weitere therapeutische Procedere.

4.6 Vergleich mit anderen Klassifikationssystemen

In 1.6 wurden bereits verschiedene gebräuchliche Klassifikationsschemata der Calcaneusfraktur vorgestellt. Laut Brunner et al. sollte eine Einteilung „den Anforderungen nach Therapierelevanz, Reproduzierbarkeit und Akzeptanz gerecht werden“[13]. Wenn als Idealziel einer Klassifikation die Einordnung in Gruppen mit gleichen Eigenschaften oder morphologischen Merkmalen zum Zweck des besseren Verständnisses und der Vergleichbarkeit oder der Möglichkeit, genauere Aussagen über Heilungsverlauf, angezeigte Therapie und langfristiger Prognose zu treffen, gesehen werden kann, so erreichen dieses Ziel die einzelnen Klassifikationen der vergangenen 65 Jahre (Tab. 3 u. 4) nur unterschiedlich gut:

Bei früheren Einteilungen, wie denen von **Böhler** oder **Watson-Jones**, standen mehr systematisch-katalogisierende Gesichtspunkte im Vordergrund, **Essex-Lopresti** stellte dann erstmals ein Schema vor, das durch die Differenzierung nach Joint-depression- oder Tongue-type-Frakturen einen wichtigen Punkt zum Verständnis des Frakturmechanismus beitrug und bis in die heutige Zeit hineinwirkt [9,26,77]. Von Essex-Lopresti wird die Einteilung jedoch noch nicht mit einer Aussage über den wahrscheinlich zu erwartenden Heilungsverlauf bei einem bestimmten Frakturtypus verbunden. Zwar ist mit der groben Unterscheidung extraartikulär/intraartikulär schon eine Tendenz vorgegeben, dieses leisteten aber auch schon die Einteilungen von Böhler oder Watson-Jones. Betrachtungen über die Anzahl der Einzelfragmente bleiben außen vor, und die Differenzierung zwischen Joint-depression- oder Tongue-type-Frakturen alleine vermag noch keine verbindliche Aussage über Therapie oder Prognose zu liefern.

Ein weitere Klassifikation stellten **Soeur und Remy** vor: Den Schaden am Calcaneus, den sie als proportional zur einwirkenden Kraft sehen, teilen sie beim intraartikulären Frakturtypus in 3 Klassen ein, bei zunehmender Fragmentzahl und Dislokation [67]. Eine exakte Quantifizierung dieser beiden Merkmale nehmen sie aber nicht vor, auch diese Klassifikation leitet sich eher vom Frakturmechanismus ab, als von einer objektiven Vermessung, die ja ohnehin bei einer konventionellen Röntgenaufnahme der Fußwurzelregion schnell an darstellungstechnische Grenzen stoßen würde. Wenn auch von

ihnen keine direkte Prognose zu den einzelnen Klassen abgeben wird, so empfehlen Soeur und Remy jedoch aufgrund eigener Operationserfahrungen bei allen extraartikulären und bei intraartikulären Frakturen der Klasse I ein konservatives Therapiekonzept, während sie bei intraartikulären Frakturen der Klassen II und III operatives Vorgehen propagieren. Es liegt somit eine klare Therapieempfehlung in Abhängigkeit von der eingeteilten Klasse vor.

Dagegen benutzt **Stephenson** ein Schema, welches sich an Essex-Lopresti anlehnt, hauptsächlich, um den Entstehungsmechanismus der Fraktur zu veranschaulichen und optimale operative Zugangswege zu diskutieren [71]. Einerseits ist bei ihm die Trennung zwischen intraartikulär/extraartikulär unschärfer, wenn z. B. die primäre Frakturlinie durch den Sulcus calcanei läuft, wird auch sie zur Gruppe der intraartikulären Verletzungen gerechnet. Andererseits finden im Grunde extraartikuläre Verletzungsformen per se keinen Eingang in seine Beobachtungen. Der Computertomographie als diagnostisches Hilfsmittel bedient sich Stephenson nur bei einem Teil seiner Patienten, die Hauptstütze bilden nach wie vor konventionelle Radiographien in unterschiedlichen Winkeleinstellungen. In der Phase postoperativer Kontrollen werden CT-Bilder aufgrund artifizierlicher Überlagerungen durch Metallmaterial für die Beurteilung der Kongruenz der Gelenkflächen von ihm sogar für wertlos gehalten. Aus der Anzahl der Hauptfragmente und der Art der einwirkenden Kraft („shear“/„compression“/„shear + compression“) wird von Stephenson im Übrigen keinen Algorithmus bezüglich Prognose oder therapeutischer Wegweisung abgeleitet, im Vordergrund stehen mehr Überlegungen und Empfehlungen zum optimalen operativen Zugangsweg (medial/lateral) [71].

Ebensolche Überlegungen bilden auch die Grundlage der ersten wirklich CT-basierten Klassifikation, die von **Zwipp et al.** 1989 vorgestellt wurde [82]. Ob für die Operation medial oder bilateral zugegangen werden soll, lässt sich anhand des X-Fragment/ Y-Gelenk-Systems relativ einfach festlegen, zudem gibt die Höhe der Punktzahl intuitiv Aufschluss über den zu erwartenden Heilungsverlauf. Eine niedrige Zahl deutet auf eine gute Prognose hin, eine hohe Zahl auf eine schlechte Prognose. Die Klassifikation von Zwipp wirkt gegenüber zuvor gebräuchlichen, auf konventioneller Radiographie basie-

renden Klassifikationen, differenzierter bezüglich der Erfassung der Verletzung und der Aussage über therapeutische Konsequenzen. Erkauft wird dieser Gewinn durch den Verzicht auf eine strenge biomechanische Herleitung der Klassifikation aus dem Frakturmechanismus, eine Eigenschaft, die im Übrigen allen CT-orientierten Einteilungen gemeinsam ist. Man mag kritisieren, dass dadurch zugunsten eines abstrakten Regelwerkes das Verständnis der typischen Frakturentstehung am Calcaneus verloren geht. Nicht übersehen werden darf jedoch der Informationszugewinn bezüglich des Zustands prognostisch wichtiger Strukturen am Calcaneus und seiner Weichteilumgebung, die in der CT zur Darstellung kommen, und über deren Integrität auf konventionellen Bildern früher nur spekuliert werden konnte, allen voran die Facies posterior, deren exakte anatomische Rekonstruktion die Langzeitprognose einer operativen Sanierung ausmacht [14].

Die zusammengesetzte Klassifikation von **Häberle et al.** stellt eine Kombination aus der zahlenmäßigen Erfassung prominenter frakturierter Calcaneusteile mit Einteilungskomponenten von Essex-Lopresti dar [34]. Dies vereinfacht den Vorgang eine Einteilung in der CT, Schwächen dieses Schemas kann man aber in der fehlenden codierten Prognose- oder Therapieeinschätzung sehen. Positiv zu werten ist bei Häberle et al. die Registrierung einer Beteiligung des Calcaneocuboidalgelenkes.

Im Vergleich mit Zwipp et al. oder Brunner et al. macht die Klassifikation von **Crosby und Fitzgibbons** einen einfachen Eindruck. Es gibt lediglich 3 Typen intraartikulärer Brüche, extraartikuläre Frakturformen finden keinen Eingang in das System [18,20]. Für eine differenziertere Prognose oder Empfehlung scheinen 3 Klassen ein nur grobe Einteilung, das Potential einer CT-Darstellung wird bei Crosby nicht wirklich ausgenutzt. Diese Meinung vertritt auch Sangeorzan [63]. Der für Typ I vorgesehene Fixwert von bis zu 2 mm Dislokation wird der Tatsache verschieden großer Calcanei nicht voll gerecht und stellt einen Absolutwert dar, der immer im Gesamtkontext gesehen werden muss. Andererseits nutzten Crosby und Fitzgibbons als erste die Möglichkeit, am CT-Bild ablesbare quantitative Messdaten, wie z. B. konkrete Dislokationswerte in Millimetern in ein Klassifikationssystem einfließen zu lassen. Überhaupt war Crosby und Fitzgibbons Calcaneus-CT-Studie die erste ihrer Art im angloamerikanischen

Raum [18,20]. Die formulierten Aussagen zur empfohlenen Therapie stellten ebenfalls eine Neuerung dar, wenn auch der Studienschwerpunkt rein auf der Auswertung konservativ behandelter Patienten lag. Man darf also nicht, wie suggeriert werden könnte, im Umkehrschluss folgern, dass Patienten mit Frakturtypen II–III durch offene Therapie ein besseres Langzeitresultat erlangt hätten.

Sanders et al. kombinieren in ihrer Klassifikation die Ableitung sowohl von Prognose als auch von anzuwendender Therapie, jedoch verzichten auch sie auf die exakte Quantifizierung eventueller Dislokationen [61,62]. Frakturen, die vom üblichen Charakter abweichen und die sich nicht glatt im coronaren Schnitt mit der höchsten Ausdehnung darstellen, fallen ebenso wie extraartikuläre Verletzungsformen durch das Raster. Eine z. B. eher horizontal verlaufende Frakturlinie im Sinne einer Tongue-type-Fraktur ließe sich durch einen einzelnen repräsentativen Coronarschnitt nur schwer vermitteln.

Die dreigeteilte Einteilung, die **Eastwood** et al. vorstellten, gibt primär keinen Aufschluss über Prognose oder Therapie. Ihre Ausführungen werden mehr von Fragen über den geeigneten Zugangsweg zum Anbringen des Osteosynthesematerials bestimmt [23,24].

Tabelle 3: Vergleich verschiedener gängiger Klassifikationen*, Teil 1.

Autor	Beachtung der Gelenk beteiligung Facies post.	Schema umfasst intra- und extra-artikuläre Frakturen	Ab-schätzung der Prognose	Empfehlung für operativen Zugangsweg	Therapie-empfehlung
Böhler (1937)	●	●	—	—	—
Watson-Jones (1946/ 1955)	●	●	—	—	—
E.-Lopresti (1952)	●	●	—	—	—
Soeur u. Remy (1975)	●	●	—	—	●
Stephenson (1987)	●	○	—	●	—
Zwipp (1989)	●	○	●	●	—
Crosby (1990)	●	—	●	—	○
Brunner (1992)	●	●	●	—	●
Häberle (1993)	●	—	—	—	—
Sanders (1993)	●	—	●	—	●
Eastwood (1993)	●	—	—	●	—

● = trifft zu ○ = trifft nur teilweise zu — = trifft nicht zu

* In der Tabelle werden aus Gründen der Übersichtlichkeit nur die namensgebenden *Haupt*autoren genannt. Bei den Initiatoren der meisten Klassifikationen handelt es sich nichtsdestoweniger um *Autorengruppen* [9,13,14,18,23,26,34,60,61,67,71,77,82].

Tabelle 4: Vergleich verschiedener gängiger Klassifikationen*, Teil 2.

Autor	Anwendung von CT	Anatomisch hergeleitete Einteilung nach dem Frakturmechanismus	Quantifizierung der Fragmentzahl	Quantifizierung der Dislokation	Anzahl der Klassen
Böhler (1937)	–	–	–	–	8
Watson-Jones (1946/ 1955)	–	–	–	–	3
E.-Lopresti (1952)	–	●	–	–	(extraart.) / intraart.:2
Soeur u. Remy (1975)	–	●	–	O	(extraart.) / intraart.: 3
Stephenson (1987)	O**	●	O	–	3 Gruppen
Zwipp (1989)	●	–	●	–	2– 12 Punkte
Crosby (1990)	●	–	–	O	3
Brunner (1992)	●	–	●	●	6
Häberle (1993)	●	●	O	–	(1-4) + (tt/jdp) + CC-Beteilig.
Sanders (1993)	●	–	O	–	4
Eastwood (1993)	●	O	–	–	3

● = trifft zu O = trifft nur teilweise zu – = trifft nicht zu

Abk.: tt = tongue-type; jdp = joint-depression; CC = Calcaneocuboidalgelenk

* In der Tabelle werden aus Gründen der Übersichtlichkeit nur die namensgebenden *Haupt*autoren genannt. Bei den Initiatoren der meisten Klassifikationen handelt es sich nichtsdestoweniger um *Autorengruppen* [9,13,14,18,23,26,34,60,61,67,71,77,82].

** Stephenson experimentierte bei wenigen Fällen mit zusätzlichen CT-Aufnahmen [71].

Inwieweit die Prognosen, die vorherzusagen die einzelnen Klassifikationen behaupten, auch unter statistischen Gesichtspunkten bezüglich der Korrelation zwischen eingeteilter Klasse und tatsächlichem Langzeitergebnis einer strengen Betrachtung standhalten, bleibt weiteren Untersuchungen vorbehalten. Die vorliegender Arbeit überprüft die klinisch-radiologische Routineanwendbarkeit im Hinblick auf eine effiziente Zusammenarbeit mit den weiterbehandelnden Kollegen.

4.7 Konkurrierende Klassifikationen im Hinblick auf die eigenen Ergebnisse

Verteilung Typ joint-depression/ tongue-type/ Sonstige

Schon Stephenson beobachtete in seiner Untersuchungen, in Übereinstimmung mit anderen Autoren, bei der Mehrzahl der Frakturfälle am Calcaneus das Vorliegen eines Joint-depression-Typs [71]. Auch in vorliegender Studie lag mehr als der Hälfte (53,1 %) der ausgewerteten Frakturen ein Joint-depression-Frakturmechanismus zu Grunde, in 20,4 % der Fälle konnte auf eine Tongue-type-Verletzung geschlossen werden. Über ein Viertel (26,5 %) ließ sich nicht einordnen, solche Fälle lagen z. B. dann vor, wenn aufgrund eigentümlich geformter Trümmerfrakturen kein Rückschluss mehr auf den mutmaßlichen Frakturmechanismus gezogen werden konnte. Evaluierungen von Autoren wie Häberle et al. (joint-depression: 62,7 %, tongue-type: 28,4 %, Sonstige: 8,9 %) oder Heuchemer et al. (joint-depression: 47 %, tongue-type: 26 %, Sonstige: 18 %) liegen in ähnlichen Dimensionen [34,38]. Für komplexe Frakturformen erweist sich also die immer noch populäre Einteilung von Essex-Lopresti als eher unzureichend, da sich ein beträchtlicher Anteil, vor allem diffiziler Fälle, der Klassifizierung entzieht.

Frakturen im Bereich der Facies articularis talaris posterior und der Facies articularis talaris media oder anterior

Die hohe funktionelle Bedeutung der hinteren Gelenkfacette bildet die Grundlage der Überlegungen zur Fraktуреinteilung nach der Münchener Klassifikation. Von Brunner et al. wird die Meinung vertreten, dass „sich die Gelenkbeteiligung prinzipiell auf alle Gelenke bezieht, in erster Linie jedoch die Beteiligung des hinteren unteren Sprunggelenkes prognostisch und therapeutisch relevant ist“ [12,13]. Dem schließen sich auch Freund et al. an [29]. Eine intraartikuläre Fraktur ist heute praktisch Synonym für eine Läsion der Facies articularis talaris posterior, dieses Denken entspricht dem allgemeinen Konsens in der Literatur [2,12,13,18,20,23,34,42,60,61,71,74]. Durch die eigenständige Quantifizierung des Merkmals Stufe (A) in der Münchener Klassifikation wird dieser

Situation Rechnung getragen. Von uns wurde in 51,0 % der Fälle (62,5 % aller intraartikulären Fälle) eine relevante Stufenbildung beobachtet, in 20,4 % der Fälle konnte zusätzlich durch Messung darüber hinaus ein konkreter Abweichungswert evaluiert werden. Trotzdem verblieb ein Teil ($n = 4$; = 8,2 %), bei dem durch mangelhafte Darstellung der Facies posterior nur unsichere Aussagen über deren genauen Zustand gemacht werden konnten. In 3 Fällen handelte es sich dabei um polytraumatisierte Patienten mit Lagerungsproblemen und hohen Frakturklassen (Klasse V/VI), in einem Fall um einen CT-Datensatz, der nur axial orientiert vorlag. Hier zeigt sich einmal mehr die Notwendigkeit einer mehrschichtigen Frakturdarstellung.

Ein Integritätsverlust der Facies articularis talaris media oder anterior, welche häufig zu einer Einheit fusioniert sind, wird verbreitet nur unter „intraartikulär“ subsumiert oder nebenher erfasst. In unserem Kollektiv wurden, bis auf eine Ausnahme, Verletzungen an der mittleren und/oder vorderen Gelenkfläche ($n = 17$; = 34,7 %) nur beobachtet, wenn auch Frakturlinien durch die hintere Gelenkfläche zogen (Abb. 8, s. o.) Nur ein Mal wurde eine isolierte Läsion der Facies media ohne gleichzeitigen Schaden an der Facies posterior verzeichnet, daher scheint die Beschränkung auf die Facies posterior als Hauptkriterium auch unter diesem Gesichtspunkt als angemessen.

Insgesamt formiert sich die Verteilung der Häufigkeiten der einzelnen Gelenkbeteiligungen mit Facies posterior: $n = 40$, Calcaneocuboidalgelenk: $n = 26$, Facies media und anterior: $n = 17$ in der gleichen absteigenden Rangfolge, die bereits von Zwipp et al. beschrieben wurde [82].

Frakturen im Bereich des Calcaneocuboidalgelenk (CC)

In unseren Untersuchungen ließ sich bei 53,1 % der Fälle eine in das Calcaneocuboidalgelenk ziehende Frakturlinie nachweisen (Abb. 20 + 35). Mit über der Hälfte zwar zahlenmäßig stark vertreten, wird diese Verletzung jedoch durch die Münchener Klassifikation nicht eigenständig erfasst, obwohl auch Eastwood et al. bei der Evaluierung von 120 Calcaneusfrakturen mit 40,8 % eine ähnlich hohe Rate beobachteten [23]. Interessanterweise konnten Eastwood et al. gleichzeitig zeigen, dass gerade eine CC-Beteiligung, im Gegensatz zu konventionellen Radiographien, in der CT signifikant ($p < 0,001$) häufiger zu detektieren ist. Konventionell 22 entdeckten Frakturlinien am

Calcaneocuboidalgelenk standen bei Eastwood et al. 49 per CT gefundenen Frakturlinien gegenüber [23]. Häberle et al. beobachteten in ihren Untersuchungen (n = 102) eine Rate von 60,8 % CC-Beteiligungen, Heuchemer et al. sogar 68 % (n = 34) [34,38]. Sanders et al., die in ihrer Studie (n = 120) ebenfalls die hohe Präsenz von CC-Beteiligungen sehen, sprechen diesen jedoch aufgrund eigener postoperativer Evaluationen keine besondere klinische Bedeutung zu [61].

Unabhängig davon, wie relevant aus chirurgischer Sicht eine CC-Beteiligung sein mag, ist die Münchener Klassifikation in Bezug auf die Erfassung einer CC-Affektion nicht erschöpfend, obwohl Brunner et al., als Initiatoren der Klassifikation, selbst eine Rate von 68 % (n = 44) beobachteten [13].

Verletzungen im Bereich der Facies articularis cuboidea bleiben generell in vielen Einteilungsschemata unklassifiziert oder werden nur separat erwähnt. Daher forderten schon Giacchino und Uthoff, die Mitbeteiligung des CC-Gelenkes zu berücksichtigen [32]. Dem kommen Häberle et al. oder Regazzoni (mit seiner an Böhler angelehnten Einteilung) nach [34,55]. Eine weitere Ausnahme stellen Zwipp et al. dar, die durch die Einordnung in das X-Fragment/Y-Gelenk-Schema im Gegensatz zur Münchener Klassifikation eine codierte Dokumentation von CC-Beteiligungen erlauben [82].

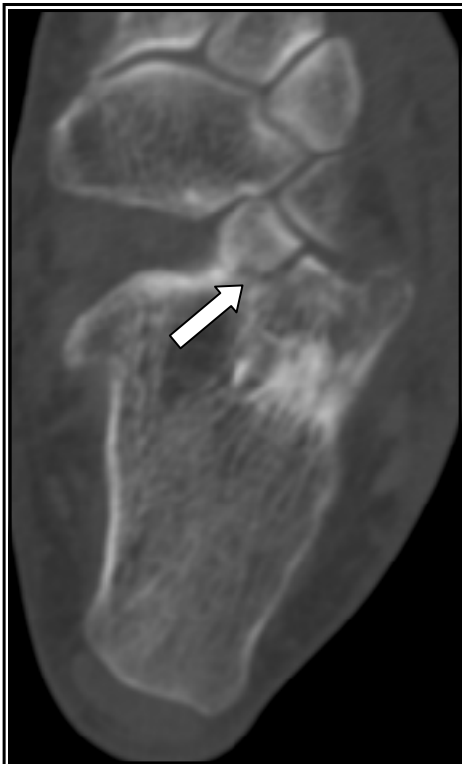


Abb. 35: Beispielbild Patient Nr. 21: Axiale Schichtung. Fraktur (⇨) im Bereich der calcaneocuboidalen Gelenkfläche. Klasse I nach der Münchener Klassifikation (Nach Zwipp et al. Punktwert 4; nach Crosby u. Fitzgibbons, Sanders et al., Eastwood et al. nicht klassifizierbar).

Anzahl der Hauptfragmente

Im Gegensatz zu Zwipp et al. konnten Brunner et al. in ihren „Analysen keine Korrelation herstellen zwischen zählbaren Kriterien, wie Zahl der Fragmente oder Zahl der beteiligten Gelenke“ [13,82]. In unseren Untersuchungen wurde bei 62,5 % der intraartikulären Frakturen eine Hauptfragmentzahl ≥ 4 beobachtet. Zwipp et al. beschreiben in ihren Untersuchungen (n = 98) für eine Fragmentzahl ≥ 4 einen Anteil von 79,5 %, Heuchemer et al. (n = 34) sogar von 91,2 % [38,82]. Bei uns stellte sich in der CT die exakte Quantifizierung der Hauptfragmentzahl, besonders bei zahlreichen Bruchstücken, als schwierig und mit dem Risiko der Fehlinterpretation behaftet heraus. Einen z. B. 5-Fragment/2-Gelenk- Bruch nach Zwipp et al. exakt abzuzählen ist somit nicht einfach. Der Gewinn an relevanter Zusatzinformation ist andererseits nur mäßig bzw. in dem Maße von Bedeutung, in dem der Chirurg eine Reposition von Kleinstfragmenten anstrebt.

Vergleich mit der Klassifikation von Zwipp et al.

Wie in den Evaluierungen von Zwipp et al. selbst, liegt bei Einteilung nach deren Klassifikation auch in unseren Untersuchungen der Häufigkeitsschwerpunkt des Frakturverteilungsmusters im Bereich der Punkteklasse 8 (Abb. 23, s. o.) [82]. Der Modalwert der belegten Klassen nach der Münchener Einteilung liegt bei Klasse IV (Abb. 21, s. o.). In beiden Schemata kommen also Verletzungen mittlerer Schwere am häufigsten zur Zuordnung. Die Münchener Klassifikation erhebt im Gegensatz zur Einteilung von Zwipp et al. den Anspruch auf eine konkrete Therapieempfehlung für alle denkbaren Frakturen des Fersenbeins, also auch für extraartikuläre Typen, entsprechend den Klassen I und II. Bei Zwipp et al. ist nur unter dem Hauptkriterium „zwei Fragmente“ die Miterfassung einer extraartikulären Fraktur vorgesehen. In unseren Untersuchungen zeigte sich, dass bei 6 der 9 beobachteten extraartikulären Frakturen tatsächlich auch nur zwei Hauptfragmente vorlagen. In den restlichen Fällen handelte es sich zwei Mal um 3 Hauptfragmente und ein Mal um 4 Hauptfragmente. Es ist daher anzunehmen, dass auch die Klassifikation von Zwipp et al. einen Großteil der extraartikulären Typen miterfassen und codieren kann. Die Prognose fällt in beiden Einteilungen mit steigender Klassen- bzw. Punktwertnummer, angefangen bei z. B. einem extraartikulären, nicht disloziertem

Bruch (Klasse I bzw. 2 Punkte) bis zu einem multifragmentärem, intraartikulärem Bruch (Klasse VI bzw. 12 Punkte), wenn man von ausgedehnten Weichteil- oder Begleitverletzungen zunächst absieht. Die besondere Leistungsfähigkeit besteht bei Zwipp et al. nun darin, die Möglichkeiten der CT konsequent zu nutzen und auch letztere Verletzungen durch abgestufte Zahlencodierung miteinzubinden. Brunner et al. führten an, dass schon allein aus einer Verbreiterung der Calcaneusmasse über das laterale Lot hinaus eine Einengung der Peronealsehnen ableitbar sei [13]. In unseren Untersuchungen konnte von uns in jedem Einzelfall eine mindestens qualitative Aussage zur knöchernen Verbreiterung (B) gemacht werden. Autoren wie Bradley und Davies, Ebraheim et al. oder Andermahr et al. zeigten aber bereits die hervorragende Eignung der CT zur direkten Detektion von Sehnen- und Weichteilaffektionen [3,11,25]. In unseren Untersuchungen hätte bei 11 Fällen (= 22,4 %) eine Zusatzpunktzahl ≥ 2 wegen Weichteil- oder Begleitverletzungen gemäß der Klassifikation von Zwipp et al. vergeben werden können (Abb. 36). Die Münchener Klassifikation sieht in solchen Fällen nur die additive, wörtliche Erwähnung eventueller Zusatzläsionen vor. Hier kann ein Schwachpunkt gegenüber Zwipp et al. gesehen werden, da selbst Brunner und Schweiberer einräumen, dass „der Weichteilschaden am ehesten die Behandlungstaktik bestimmt“ [14].



Abb. 36: Beispielbild Patient Nr. 10: Polytrauma-Patient, es lagen lagerungsbedingt nur axiale CT-Bilder vor. Trümmerfraktur mit Beteiligung aller Gelenkflächen bds., zusätzl. Außenknöchelfraktur Typ A nach Weber rechts (nicht mit abgebildet).

Im Bild links: Ausgeprägter Weichteilschaden mit Luftnachweis.

Beide Seiten: Klasse VI nach der Münchener Klassifikation, Punktzahl 12 nach Zwipp et al., Typ III nach Crosby u. Fitzgibbons, Typ 4 nach Sanders et al., Typ 3 nach Eastwood et al. Später operative Versorgung beidseits.

Vergleich mit der Klassifikation von Sanders et al.

Sanders et al., deren Einteilungsgrundlage nur von dem einen CT-Bild mit der größten Höhengausdehnung unter der talaren Gelenkfläche gebildet wird, gehen mit solcher Vorgehensweise das Risiko ein, parallel zur Schichtführung verlaufende Anomalien zu übersehen oder durch die unpassende Auswahl eines repräsentativen Schnittes ein falsches Gesamtbild zu vermitteln. Zwar wird die gelegentliche Zuhilfenahme von axialen Schnittbildern erwähnt, diese sind aber nicht auf systematisierte Weise für Klassifizierungszwecke vorgesehen [60,61,62]. In unseren Untersuchungen fand sich ein Anteil von 22,5 % aller intraartikulären Fälle, bei denen eine coronare Schichtführung weder in primär akquirierter noch multiplanar rekonstruierter Weise vorlag. Eine Klassifizierung

nach Sanders et al. kann in solchen Fällen, wenn überhaupt, nur durch indirektes Rückschließen erfolgen.

Zusätzlich finden extraartikuläre Frakturen ebenso wenig Eingang in das Klassifikationssystem von Sanders et al., wie die standardisierte Erfassung von Weichteil- oder Begleitverletzungen. Dem Aspekt der Anzahl der hinteren Gelenkflächenfragmente und dem Grad der Fragmentdislokation wird aber, wie bei Brunner et al., besondere Bedeutung beigemessen. Hier besitzen die Klassifikationen gewisse Gemeinsamkeiten.

Die in unseren Beobachtungen ermittelte Anzahl der posterioren Gelenkfragmente (2/3/4/mult., Abb. 11, s. o.) bildet sich in der Anzahl der betroffenen „Säulen“ des Modells von Sanders et al. ab, welches, wie die Münchener Klassifikation, einen Therapiehinweis geben möchte. Auch bezüglich der Überlegung, aus dem Fehlen einer Dislokation eine konservative Therapieempfehlung abzuleiten, überschneiden sich die beiden Klassifikationen in ihrem Ansatz.

Vergleich mit den Klassifikationen von Crosby u. Fitzgibbons und von Eastwood et al.

Die Klassifikationen von Crosby und Fitzgibbons und von Eastwood et al. versuchen die Komplexität von Calcaneusfrakturen durch die Reduktion auf 3 verschiedene Klassen zu verdichten [18,23]. Unserer Meinung nach kann eine solche Kondensation nicht adäquat die Verschiedenartigkeit möglicher Frakturausprägungen widerspiegeln. Einerseits beschränken sich beide Schemata auf die Deskription nur intraartikulärer Frakturen, was die in unseren Evaluierungen erfassten 18,4 % extraartikulärer Fälle von einer Beurteilung ausschließen würde, andererseits zeigt sich ein zu Sanders et al. Klassifikation analoges Problem: Die alleinige Zuhilfenahme von Schichtungen in nur einer Orientierung birgt die Gefahr, tatsächliche Verletzungsverhältnisse nur verzerrt wiederzugeben.

Die objektiv erfassbare Ausmessung von Dislokationskriterien bei der Münchener Klassifikation

Die objektiv erfassbare Ausmessung der Kriterien Stufe (A), Breite (B), Höhe (C), Achse (D) bildet eine quantifizierbare Mehrinformation gegenüber der einfachen Abschätzung und kann als zusätzliches Kriterium zur Beurteilung der Schwere der Fraktur und der zweckmäßigen Art der operativen Rekonstruktion verstanden werden. Eine sichere Reduktion der Höhe (C) wurde von uns in 69,4 % der Fälle beobachtet und in 46,9 % der Fälle auch konkret ausgemessen. Zwar konnten Janzen et al. in ihren Untersuchungen (n =51) keine statistische Korrelation zwischen CT-morphologischem Höhenverlust des Corpus calcanei oder Sehnenanomalien einerseits und klinischem Ergebnis nach Behandlung andererseits nachweisen, die Bedeutung der Höhenminderung (C) ist jedoch genauso wie die Verbreiterung (B) und Gelenkstufenbildung (A) aus anatomisch-funktionellen Überlegungen offensichtlich und spielt nicht nur in den Klassifikationsüberlegungen von Brunner et al. eine wichtige Rolle [12,13,18,42]. Auch Soeur und Remy, Crosby und Fitzgibbons, Eastwood et al. oder Sanders et al. legen ihren Einteilungen Überlegungen zum Grad der Impaktion des Calcaneus zugrunde [18,23,24,61,67]. Bezüglich der Bedeutung der Achsenabweichung (D) am frakturierten Calcaneus, speziell des calcaneocuboidalen Winkels, wiesen Richardson et al. bereits die Signifikanz ($p < 0.05$) des Unterschiedes zu gesunden Rückfußverhältnissen nach [58].

4.8 Bedeutung der Hilfe zur Therapieentscheidung

Der Vergleich der ermittelten Klassen I–IV mit den daraus ableitbaren Therapieempfehlungen zeigt graphisch eine recht hohe Übereinstimmung mit den tatsächlich durchgeführten Behandlungsmethoden (Abb. 22, s. o.). Es scheint also eine der Hauptintentionen der Münchener Klassifikation, nämlich die Grundlage für eine objektivierbare Therapieentscheidung zu liefern, voll erfüllt [13]. In 86,7 % der dokumentierten Fälle wurde von der empfohlenen Therapie nicht abgewichen, indes kann der Beweis für die Leistungsfähigkeit der Klassifikation in diesem Punkt nicht ohne weiteres erbracht werden, da die Aussagekraft der Darstellung durch eine Reihe von Gegebenheiten limitiert gesehen werden muss [21,36]:

Zunächst liegt die Gesamtfallzahl und der Recall des Dokumentationssystems für das relevante Ergebnis „durchgeführte Therapie“ mit einem Wert von knapp 94 % erfreulich hoch, dennoch wäre für strenge statistische Betrachtungen ein noch höherer Recall zweckmäßig. Die Gründe für das Fehlen von Behandlungsprotokollen liegen in, für eine retrospektive Studie oft typischen, Unwägbarkeiten [37]. Es ließ sich öfter beobachten, dass Erstdiagnostik oder Folgetherapie in einem anderen Krankenhaus stattfanden, wodurch sich die Behandlung dann nicht mehr zweifelsfrei erfassen ließ. Zudem muss bei Polytrauma-Patienten in Einzelfällen von einer operativen Sanierung der Calcaneusfraktur zunächst abgesehen werden, um der Versorgung gravierenderer Verletzungen Raum zu gewähren und bei kritischer Gesamtsituation Belastungen für den Patienten durch zusätzliche operative Maßnahmen zu vermeiden.

Des weiteren besteht auf der Seite der intraartikulären Frakturen eine zahlenmäßig starkes Übergewicht. Mit einem prozentualen Verhältnis von 18 % zu 82 % sind auf der anderen Seite extraartikuläre Läsionen deutlich unterrepräsentiert, ähnliches beobachtet bei 31 in der CT untersuchten Calcaneusfrakturen auch Bagnolesi et al. [4]. Dieses Phänomen kann durch die anatomisch vorgegebene, zentrale kraftableitende Funktion der Facies posterior erklärt werden, gibt aber auch einen Hinweis auf den typischen Entscheidungsalgorithmus zur Durchführung einer Computertomographie: In Fällen, bei denen im konventionellen Röntgenbild der Verdacht auf eine allenfalls extraartikuläre knöcherne Verletzung vorliegt, wird von der Durchführung einer CT eher abgese-

hen, als bei Verdacht auf intraartikuläre Beteiligung oder offensichtlicher Zertrümmerung. Statistisch gesehen ist also die Stichprobe der in der CT Untersuchten keine zufällige Stichprobe aus der Grundgesamtheit aller Calcaneusfrakturen und der Versuch einer rechnerischen Hypothesenüberprüfung somit nicht sinnvoll [36].

Geht man weiterhin von der Überlegung aus, dass an einer Klinik der Maximalversorgung in Grenzfällen bezüglich der möglichen einzuschlagenden Therapiewege (konservativ/operativ) eher einer höherstufigen Versorgung, heißt Osteosynthese, der Vorzug gegeben wird, muss, gerade bei den Klassen II, IV, V und VI, die hohe Zahl der Übereinstimmungen respektive tatsächlich durchgeführten operativen Behandlungen unter Vorbehalt betrachtet werden.

Es zeigen sich aber auch die gewichtigen Vorzüge einer modernen Einteilung. Wie bereits oben dargelegt, unterscheiden sich die verschiedenen Klassifikation, die in der Vergangenheit vorgestellt wurden, in ihrer Komplexität und Prädiktion von Prognose, Therapie und operativem Zugangsweg. Eine zeitgemäße Einteilung sollte im Hinblick auf eine zügige und effiziente Weiterbehandlung des Patienten Hilfestellung zur Entscheidungsfindung sein. Ältere, auf konventionellen Röntgenaufnahmen basierende Schemata vermögen dies nicht zu leisten. Als Ausnahme können Soeur und Remy gelten, zu kritisieren ist jedoch hier die relativ grobe Dreiteilung, die unseres Erachtens einer oft komplexen Fraktur wie der des Calcaneus nicht gerecht wird. Gleicher Kritikpunkt gilt der Klassifikation von Eastwood et al. und der von Crosby und Fitzgibbons, obwohl letzterer eine Therapieempfehlung für konservative Fälle ableiten können [18].

Sanders et al., deren Veröffentlichungen auf hohen Fallzahlen basieren, kombinieren ebenso wie Brunner et al. in ihrer Klassifikation Aussagen zur Prognose und Therapie, wobei nur Brunner et al. die zusätzliche Quantifizierung von Dislokationen vorsehen [13,62]. Dies stellt ein Merkmal dar, das Zwipp et al. nicht vorweisen können, ihre therapeutischen Empfehlungen sind zudem nur auf Überlegungen bezüglich des optimalen Zugangsweges beschränkt [82]. Die Münchener Klassifikation ist im Gesamtvergleich am meisten praxisorientiert im Sinne einer Dienlichkeit für die Kooperation zwischen radiologischer Diagnostik und chirurgischer Therapieplanung. Technische Möglichkeiten, wie die konkrete Ausmessbarkeit der Abweichung von Höhe, Breite und Achse an der Befundungs-Workstation werden konsequent ausgenutzt und sind im volldigitali-

sierten Routinebetrieb einer Abteilung problemlos realisierbar. Die Codierung des Verletzungsmusters in 6 Klassen mit gleichzeitiger Dislokationsquantifizierung gibt dem Behandelnden einen eindeutigen Algorithmus als Hilfe zur Therapieentscheidung vor und erlaubt dem Radiologen eine zweckmäßige, zügige Erfassung und standardisierte Deskription komplexer Frakturmuster. Die sonst übliche morphologische Beschreibung spezieller Fragmentkonstellationen bleibt jedoch weiterhin unersetzlich.

Zu prüfen, in welchem Maße der Hinweis zur Therapieentscheidung auch aus kritischer chirurgischer Sicht klinischen Alltagsansprüchen gerecht wird, bleibt weiteren Untersuchungen vorbehalten. Die von uns beobachtete Rate der Übereinstimmung zwischen Empfehlung und tatsächlicher Therapie weist jedoch, ohne hier einen statistischen Beweis führen zu wollen, auf eine gute Praxistauglichkeit hin.

Nutzen zusätzlicher 3D-Rekonstruktionen

Von einzelnen Autoren wurde die zusätzliche Erstellung rechnergestützter, desartikulierter 3D-Darstellungen des frakturierten Calcaneus angeregt [29,41]. Bezüglich der prognostischen und therapeutischen Relevanz werden jedoch von den betreffenden Verfassern selbst Limitierungen gesehen. Bei keinem der z. B. von Freund et al. untersuchten 45 Patienten wurde aufgrund der zusätzlich angefertigten 3D-Rekonstruktion das geplante chirurgische Procedere geändert [29]. Ohne elektronische Desartikulation erscheint die 3D-Rekonstruktion ohnehin überflüssig, weil die knöcherne Überlagerung der Facies posterior deren Beurteilung um so vager macht, je höher die Fragmentzahl ausfällt [29]. Da bei unseren Auswertungen aber, den Verhältnissen nach ähnlich wie bei anderen Autoren (Bagnolesi et al., Wülker et al., Zwipp et al.), gerade bei intraartikulären Frakturen in 62,5 % der Fälle eine Fragmentzahl von 4 oder mehr beobachtet wurde, erscheint die zeitaufwendige 3D-Errechnung mehr eine additive Präsentationsmethode zu einzelnen Fällen, als ein hartes diagnostisches Kriterium zur Entscheidungsfindung [4,80,82]. Unberührt davon bleibt die Tatsache, dass durch die ansprechende Optik der Bilder diese innovative Art der Darstellung durchaus Anhänger findet [4,29,47].

Nutzen der Magnetresonanztomographie (MRT)

Aufgrund technischer Gegebenheiten, wie längerer Untersuchungszeit, differenzierter Darstellung von vorzugsweise Weichteilgewebe und hohem apparativen Aufwand bei zur Zeit noch fehlender flächendeckender Gerätebereitstellung, tritt die Magnetresonanztomographie in der Akutdiagnostik der Calcaneusfraktur klar hinter die konventionelle Radiographie und die Computertomographie zurück [10].

Anerkannte Vorteile zeigen sich hingegen beim Nachweis okkulten Frakturen und der posttraumatischen Diagnostik persistierender Beschwerden und Weichteilanomalien im Sinne von Tarsaltunnel-Verlegungen, Sehnen-Dislokationen und -Abrissen, oder chronisch entzündlichen Gewebsveränderungen [11,25,54,59,81]. Obwohl im Weichteilfenster des CT-Bildes sehr gute Aussagen über den Zustand nichtknöcherner Strukturen gemacht werden können und Autoren wie Ebraheim oder Bradley daher nur selten die Indikation zur MRT sehen, lassen sich doch in diffizilen Fällen mittels MRT gut Anomalien aufzeigen und deren Verlauf dokumentieren [11,25]. Die MRT liefert hier eine wertvolle Ergänzung zur CT.

Stellenwert der konventionellen Radiographien

Trotz beeindruckender Potentiale der Computertomographie behält die konventionelle Radiographie bei klinischem Verdacht auf Calcaneusfraktur weiterhin einen dominierenden Stellenwert als wegweisende Basisuntersuchung. Bei Verdachterhärtung oder konkreten weiteren Fragestellungen können ihr dann aufwendigere bildgebende Verfahren wie CT oder MRT folgen [10]. Diese können dann, neben den bereits diskutierten Vorteilen, die Arbeitsvorlage für eine detaillierte Planung der operativen Osteosynthese liefern. Im Operationssaal selbst, wo dem Chirurgen zur Kontrolle der Fragmentstellung meist nur der Bildwandler in Form eines C-Bogens zur Verfügung steht, bleibt die konventionelle Röntgenaufnahme als Vergleichsvorlage unentbehrlich.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Frakturen des Fersenbeins, die nur 2 % aller Knochenbrüche des menschlichen Skelettes ausmachen, mit 75 % aber die häufigste Frakturart im Bereich der Fußwurzelknochen sind, stellen aufgrund der komplexen funktionell-anatomischen Bedeutung des Calcaneus besondere Anforderungen an Therapie und Klassifikation der Fraktur. In der Fachliteratur werden seit langem intensive Diskussionen über ein optimales Konzept geführt, wobei zumindest Konsens über die zentrale Rolle der Facies posterior des unteren Sprunggelenkes besteht.

In vorliegender Arbeit wurde retro- und prospektiv anhand der Einteilung von 49 Calcaneusfrakturen die, an der chirurgischen Klinik der Universität München – Innenstadt etablierte, Münchener Klassifikation insbesondere unter dem Aspekt der Therapieentscheidungshilfe für den Chirurgen auf ihre Anwendbarkeit im klinischen Betrieb einer radiologischen Abteilung hin untersucht und anderen Klassifikationsschemata des deutschsprachigen und angloamerikanischen Raumes gegenübergestellt.

Die CT-Ära brachte eine Reihe neuer, unterschiedlich komplexer Klassifikationen der Calcaneusfraktur hervor, da ältere, auf konventioneller Radiographie beruhende Einteilungen, die per CT gewonnenen Mehrinformationen nicht mehr adäquat umzusetzen vermochten. So ließen sich 26,5 % der Studienfälle nicht nach dem klassischen Modell: joint-depression/ tongue-type einordnen.

Die CT-basierten Schemata reichen von einfachen Drei-Typen-Einteilungen bis hin zu differenzierten Klassifikationen mit subtilen Ausmessungsmöglichkeiten prognostisch bedeutsamer Parameter. Die Münchener Klassifikation vereinbart in 6 Klassen die Abschätzung der Prognose mit dem Hinweis auf das Behandlungskonzept als Grundlage zur chirurgischen Therapieentscheidung. Gleichzeitig erlaubt die exakte Quantifizierung der Parameter Gelenkstufenbildung, Höhen-, Breiten- und Achsenabweichung eine Verfeinerung der Aussage.

In der Studie überwogen intraartikuläre Frakturen (81,6 %) mit multiplen Fragmenten (52,5 % aller intraart. Fälle), was die zentrale kraftableitende Funktion der Facies posterior widerspiegelt und Hinweis auf den typischen Entscheidungsalgorithmus zur Durchführung einer Computertomographie gibt: Erst wenn sich im konventionellen

Röntgenbild der Verdacht einer gravierenden Verletzung stellt, werden aufwendigere bildgebende Verfahren bemüht.

Bei der Auswertung zeigte sich, dass nur in 61,2 % der Fälle die geforderte Kombination aus axialem und coronarem Bilddatensatz primär akquiriert wurde, in 34,7 % der Fälle fehlte die coronare Schichtung. Da eine adäquate, protokollmäßige Patientenlagerung zur Gewinnung des coronaren Datensatzes vor allem bei Schwerverletzten nicht immer realisierbar ist, sind in solchen Fällen nur semiquantitative Aussagen möglich oder multiplanare Bildrekonstruktionen nötig. Erst die Einführung der Multislice-CT wird die informationsverlustfreie Beschränkung auf die Akquisition nur eines primären axialen Datensatzes erlauben.

Bestimmte, von den Initiatoren der Münchener Klassifikation empfohlene Vorgehensweisen zur Ausmessung der Gelenkstufenbildung und Normabweichung von Höhe und Breite ließen sich durch Modifikation zeitlich und im Hinblick auf eine quantifizierbare Mehrinformation optimieren: Die Verbreiterung des Corpus calcanei kann durch Anlegen einer Messlinie und Vergleich mit der gesunden Gegenseite genauer quantifiziert werden, als mittels Abschätzung, ob das laterale Incisura fibulae-Lot überschritten wird oder nicht. Analog liefert zur Beurteilung der Höhenminderung des frakturierten Calcaneus ein Vergleich mit der Gegenseite ein zügigeres Ergebnis als die fehlerträchtige Additionsmessung der abgekippten Einzelfragmente. Bei den nötigen Messungen stellen die softwareseitig bereitgestellten Messwerkzeuge, wie z. B. „Linealfunktion“ oder „Winkelmessung“ eine zweckmäßige Arbeitserleichterung dar.

Die allgemein praktizierte Gleichstellung des Begriffs der intraartikulären Fraktur mit einer Verletzung der Facies posterior scheint legitim, da bei $n = 49$ untersuchten Frakturen in nur einem Fall eine isolierte Läsion der Facies media oder anterior ohne gleichzeitigen Schaden an der Facies posterior beobachtet wurde. Eine relevante Stufenbildung an der Facies posterior wurde in 62,5 % aller intraartikulären Fälle sichtbar. Schwierigkeiten bereitete die Beurteilung der hinteren Gelenkfacette, wenn lagerungsbedingt, z. B. bei Polytrauma-Patienten, nur axial gewonnene Schichtungen vorlagen.

In 53,1 % der Studienfälle wurde eine Frakturlinie im Bereich des Calcaneocuboidalgelenkes nachgewiesen, Autoren anderer Klassifikationen liegen dem Verhältnis nach bei

ähnlichen oder höheren Zahlen, obgleich die klinisch-therapeutische Relevanz einer solchen Verletzung kontrovers gehandelt wird und diese daher nicht in jeder Einteilung explizit Beachtung findet. Eine Beteiligung jenes Gelenkes findet auch in die Münchener Klassifikation keinen direkten Eingang, das Schema ist diesbezüglich nicht erschöpfend. Analoges gilt für Weichteilverletzungen, die nur durch separate Deskription erfasst werden können, obwohl das Ausmaß der Weichteilläsion nach chirurgischem Verständnis die Behandlungstaktik maßgeblich beeinflusst.

Der Vergleich der gemäß der Münchener Klassifikation gemachten Therapievorschlüsse mit den tatsächlich durchgeführten Behandlungsmethoden zeigt, dass in 86,7 % der Fälle chirurgischerseits nicht von der Empfehlung abgewichen wird, wenn auch die Aussagekraft dieser Zahl durch die Gesamtfallzahl ($n = 49$), den Recall (93,9 %) und das Überwiegen intraartikulärer Frakturen (81,6 %) eingeschränkt ist.

Die Besonderheit der Münchener Klassifikation besteht in der Vereinbarung der Codierung sowohl intra- als auch extraartikulärer Frakturen mit dem Hinweis auf Prognose und Therapieempfehlung. Der Vergleich mit konkurrierenden CT-Klassifikationen verdeutlicht, dass sich viele Schemata auf die Beschreibung rein intraartikulärer Frakturen beschränken und meist nur Aussagen zu isolierten Fragenstellungen wie: dem Frakturmechanismus, der reinen Prognosebeurteilung, der Therapie bei intraartikulären Formen oder dem operativen Zugangsweg machen können. Während schlichtere, dreiteilige Klassifikationen durch zu grobe Rasterung der Einteilungskriterien Gefahr laufen, differenzierten Ansprüchen der Frakturversorgung nicht gerecht zu werden, erreichen vielschichtige Schemata zwar eine bessere Praxisnähe, werden aber in der Erfassung zeitaufwendiger.

Klassifikationen, die sich zum Zweck der Einteilung nur einzelner coronarer Schnitte bedienen, bergen das Risiko durch ungeeignete Wahl des repräsentativen Bildes zum falschen Ergebnis zu gelangen. Oftmals rotiert abgekippte Fragmente verlangen bei der Frakturdiagnostik des Calcaneus in der CT nach der Beurteilung mehrerer Bilder in verschiedenen Orientierungen.

Insgesamt gesehen bleibt, trotz der detaillierten Codierungsmöglichkeiten der Münchener Klassifikation mittels der CT, weiterhin die gewohnte morphologische Beschreibung spezieller Fragmentkonstellationen unersetzlich.

6 LITERATURVERZEICHNIS

- 1 **Allmann KH, Uhrmeister P, Althoefer C, Gufler H, Kotter E, Hauer PH, Schneider B, Langer M (1998)** Direct sagittal CT of the calcaneus.
Eur J Radiol 27: 274–277
- 2 **Allon SM (1996)** Fractures of the calcaneus. Foot Ankle Int 17: 720–721
- 3 **Andermahr J, Helling HJ, Tsironis K, Rehm KE, Koebke J (2001)** Compartment syndrome of the foot. Clin Anat 14(3): 184-189
- 4 **Bagnolesi P, Cilotti A, Neri E, Pinto F, Ortori S, Bartolozzi C (1996)** Le fratture del calcagno: linee guida alla diagnosi con Tomografia Computerizzata.
Radiol Med (Torino) 91: 551–557
- 5 **Bahner ML, Reith W, Zuna I, Engenhardt-Cabillic R, van Kaick G (1998)** Spiral CT vs incremental CT: is spiral CT superior in imaging of the brain?
Eur Radiol 8: 416-420
- 6 **Bauer G, Mutschler W, Heuchemer T, Lob G (1987)** Fortschritte in der Diagnostik der intraartikulären Calcaneusfrakturen durch die Computertomographie.
Unfallchirurg 90: 496–501
- 7 **Bearcroft P (1998)** The use of spiral computed tomography in musculoskeletal radiology of the lower limb: the calcaneus as an example. Eur J Radiol 28: 30–38
- 8 **Bezes H, Massart P, Delveaux D, Fourquet JP, Tazi F (1993)** Operative treatment of intraarticular calcaneal fractures. Clin Orthop 290 (1993): 55–59
- 9 **Böhler L:** Die Technik der Knochenbruchbehandlung, Teil 2, Band 2.
Maudrich, Wien 1954: 2148–2150
- 10 **Born CT, Tahernia AD (1997)** Imaging of calcaneal fractures.
Clin Podiatr Med Surg 14: 337–356

- 11 **Bradley SA, Davies AM (1991)** Computed tomographic assessment of soft tissue abnormalities following calcaneal fractures. *Br J Radiol* 65: 105–111
- 12 **Brunner U, Betz A, Halama R (1991)** Die operative Behandlung der Kalkaneusfraktur. *Orthopäde* 20: 55–66
- 13 **Brunner U, Kenn RW, Slawik J, Schweiberer L (1992)** Die intraartikuläre Kalkaneusfraktur. *Unfallchirurg* 95: 358–366
- 14 **Brunner U, Schweiberer L (1996)** Verletzungen des Talus und des Kalkaneus. *Unfallchirurg* 99: 136–151
- 15 **Buckwalter KA, Rydberg J, Kopecky KK, Crow K, Yang EL (2001)** Musculoskeletal imaging with multislice CT. *AJR Am J Roentgenol* 176: 979–986
- 16 **Burdeaux BD (1997)** A pitfall of coronal CT imaging and evaluation of calcaneal fractures. *Foot Ankle Int* 18: 189
- 17 **Carr JB (1993)** Mechanism and pathoanatomy of the intraarticular calcaneal fracture. *Clin Orthop* 290: 36–40
- 18 **Crosby LA, Fitzgibbons T (1990)** Computerized tomography scanning of acute intra-articular fractures of the calcaneus. *J Bone Joint Surg Am* 72: 852-859
- 19 **Crosby LA, Fitzgibbons T (1991)** Computerized tomography scanning of acute intra-articular fractures of the calcaneus: correspondence. *J Bone Joint Surg Am* 73: 1431–1432
- 20 **Crosby LA, Fitzgibbons T (1993)** Intraarticular calcaneal fractures. *Clin Orthop* 290: 47–54
- 21 **Deutsche Arbeitsgemeinschaft Epidemiologie (Hrsg.) (2000)** Leitlinien und Empfehlungen zur Sicherung von guter Epidemiologischer Praxis. *Gesundheitswesen* 5: 295–302
- 22 **Durst J (Hrsg.):** Traumatologische Praxis. Schattauer, Stuttgart, New York 1997: 608–611

- 23 **Eastwood DM, Gregg PJ, Atkins RM (1993)** Intra-articular fractures of the calcaneum, part 1: pathological anatomy and classification.
J Bone Joint Surg Br 75: 183–188
- 24 **Eastwood DM, Langkamer VG, Atkins RM (1993)** Intra-articular fractures of the calcaneum, part 2: open reduction and internal fixation by the extended lateral transcalsaneal approach. J Bone Joint Surg Br 75: 189–195
- 25 **Ebraheim NA, Zeiss J, Skie MC, Jackson WT (1991)** Radiological evaluation of peroneal tendon pathology associated with calcaneal fractures.
J Orthop Trauma 5: 365–369
- 26 **Essex-Lopresti P (1952)** The mechanism, reduction, technique, and results in fractures of the os calcis. Br J Surg 39: 395–419
- 27 **Frahm R, Drescher E (Hrsg.):** Der Rückfuß: Topographische Anatomie und moderne Bildgebung von Verletzungsformen. Schnetztor, Konstanz 1990
- 28 **Frahm R, Wimmer B, Bonnaire F (1991)** Computertomographie des oberen und unteren Sprunggelenks. Radiologe 31: 609–615
- 29 **Freund M, Thomsen M, Hohendorf B, Zenker W, Heller M (1999)** Optimized preoperative planning of calcaneal fractures using spiral computed tomography.
Eur Radiol 9: 901–906
- 30 **Frick H, Leonhardt H, Starck D:** Allgemeine und spezielle Anatomie, Teil 1, 3. Auflage. Thieme, Stuttgart, New York 1987: 397–422
- 31 **Geel CW, Flemister AS jr. (2001)** Standardized treatment of intra-articular calcaneal fractures using an oblique lateral incision and no bone graft.
J Trauma 50: 1083–1089
- 32 **Giacchino AA, Uthoff HK (1989)** Intraarticular fractures of the calcaneus.
J Bone Joint Surg Am 71: 784–787

- 33 **Guyer BH, Levinsohn E , Fredrickson BE, Bailey G , Formikell M (1985)**
Computed tomography of calcaneal fractures: anatomy, pathology, dosimetry and clinical relevance. AJR Am J Roentgenol 145: 911–919
- 34 **Häberle HJ, Minholz R, Bader C, Tomczak R, Rillinger N, Friedrich JM, Bauer G, Mutschler W (1993)** CT-Klassifikation intraartikulärer Kalkaneusfrakturen. Röfo Fortschr Geb Röntgenstr Neuen Bildgeb Verfahr 159: 548–554
- 35 **Hall RL, Shereff MJ (1993)** Anatomy of the calcaneus. Clin Orthop 290: 27–35
- 36 **Heinecke A, Hultsch E, Reppes R:** Medizinische Biometrie.
Springer, Berlin, Heidelberg, New York 1992
- 37 **Heiss D, König A, Endres S, Pfluger T, Pfeifer KJ, Hahn K (2000)** Kombiniertes PACS und Intranet-Informationssystem an einem Universitätsklinikum. Röfo Fortschr Geb Röntgenstr Neuen Bildgeb Verfahr 172: 542–552
- 38 **Heuchemer T, Bargon G, Bauer G, Mutschler W (1988)** Vorteile in Diagnose und Einteilung der intraartikulären Kalkaneusfraktur durch die Computertomographie. Röfo Fortschr Geb Röntgenstr Neuen Bildgeb Verfahr 149: 8–14
- 39 **Heuchemer T, Bargon G, Bauer G, Mutschler W (1992)** Computertomographie nach intraartikulärer Kalkaneusfraktur. Unfallchirurg 95: 31–36
- 40 **Hofer M:** CT-Kursbuch. Didamed, Düsseldorf 1997
- 41 **Hohendorff B (1997)** Optimierung der Computertomographischen Diagnostik von Kalkaneusfrakturen: 3D-Rekonstruktion mit elektronischer Desartikulation.
Medizinische Dissertationsarbeit, Universität Kiel
- 42 **Janzen DL, Connell DG, Munk PL, Buckley RE, Meek RN, Schechter MT (1992)** Intraarticular fractures of the calcaneus: value of CT findings in determining prognosis. AJR Am J Roentgenol 158:1271–1274
- 43 **Juliano P, Nguyen HV (2001)** Fractures of the calcaneus.
Orthop Clin North Am 32: 35–51

- 44 **Kerr PS, James A, Cole AS, Atkins RM (1994)** The use of the axial CT scan in intra-articular fractures of the calcaneum. *Injury* 25: 359–363
- 45 **Klingenbeck-Regn K, Schaller S, Flohr T, Ohnesorge B, Kopp AF, Baum U (1999)** Subsecond multi-slice computed tomography: basics and applications. *Eur J Radiol* 31: 110-124
- 46 **Koval KJ, Sanders R (1993)** The radiologic evaluation of calcaneal fractures. *Clin Orthop* 290: 41–46
- 47 **Laissy J, Coutin F, Pavier J, Ripart S, Samoïlov S (2001)** Multislice helical CT: principles, applications. *J Radiol* 82: 541–545
- 48 **Linsenmaier U, Brunner U, Kieser R, Mangel E, Pfeifer KJ (1994)** Radiologische Klassifikation intraartikulärer Kalkaneusfrakturen mittels CT zur chirurgischen Therapieentscheidung. *Zbl Rad* 150: 156
- 49 **Linsenmaier U, Brunner U, Rieger J, Rock C, Mangel E, Pfeifer KJ (1997)** Complex fractures of the calcaneum: A new CT classification for surgical treatment planning. *Eur Radiol* 7: 270
- 50 **Lowery RB (1996)** Fractures of the calcaneus. *Foot Ankle Int* 17: 720
- 51 **Möller TP: Röntgennormalbefunde, 2. Auflage.**
Thieme, Stuttgart, New York 1996: 136-139
- 52 **Mutschler W, Haas NP (Hrsg.): Praxis der Unfallchirurgie.**
Thieme, Stuttgart, New York 1999: 544-549
- 53 **Pablot SM, Daneman A, Stringer A, Carroll N (1985)** The value of CT in the early assessment of comminuted fractures of the calcaneum: a review of three patients. *J Pediatr Orthop* 5: 435–438
- 54 **Raby N (2001)** Magnetic resonance imaging of suspect scaphoid fractures using a low field dedicated extremity MR system. *Clin Radiol* 56: 316–320

- 55 **Regazzoni P:** Kalkaneus. In: Heim U, Pfeiffer KM (Hrsg.): Periphere Osteosynthesen, 4. Auflage. Springer, Berlin, Heidelberg, New York 1991: 357–359
- 56 **Rehner M, Oestern HJ (Hrsg.):** Chirurgische Facharztweiterbildung, Band 2. Thieme, Stuttgart, New York 1998: 720
- 57 **Reiser MF, Takahashi M, Modic M, Bruening R (Hrsg.):** Multislice CT. Springer, Berlin, Heidelberg, New York 2001
- 58 **Richardson ML, Van Vu M, Vincent LM, Sangeorzan BJ, Benirschke SK (1992)** CT measurement of the calcaneal varus angle in the normal and fractured hindfoot. J Comput Assist Tomogr 16: 261-264
- 59 **Robbins MI, Wilson MG, Sella EJ (1999)** MR Imaging of anterosuperior calcaneal process fractures. AJR Am J Roentgenol 172: 475–479
- 60 **Sanders R (2000)** Displaced intra-articular fractures of the calcaneus. J Bone Joint Surg Am 82: 225–250
- 61 **Sanders R, Fortin P, DiPasquale T, Walling A (1993)** Operative treatment in 120 displaced intraarticular calcaneal fractures. Clin Orthop 290: 87–95
- 62 **Sanders R, Gregory P (1995)** Operative treatment of intra-articular fractures of the calcaneus. Orthop Clin of North Am 26: 203-214
- 63 **Sangeorzan BJ (1991)** Computerized tomography scanning of acute intra-articular fractures of the calcaneus: correspondence. J Bone Joint Surg Am 73: 1430–1431
- 64 **Sarrafian SK (1993)** Biomechanics of the subtalar joint complex. Clin Orthop 290: 17–26
- 65 **Schwartz SI (Hrsg.):** Principles of Surgery, 7th ed. McGraw-Hill, Chicago 1999
- 66 **Seipel RC, Pintar FA, Yoganandan N, Boynton MD (2001)** Biomechanics of calcaneal fractures: a model for the motor vehicle. Clin Orthop 388: 218–224

- 67 **Soeur R, Remy R (1975)** Fractures of the calcaneus with displacement of the thalamic portion. *J Bone Joint Surg Br* 57: 413–421
- 68 **Solomon MA, Gilula LA, Oloff LM, Oloff J, Compton T (1986)** CT scanning of the foot and ankle: 1. Normal anatomy. *AJR Am J Roentgenol* 146: 1192–1203
- 69 **Solomon MA, Gilula LA, Oloff LM, Oloff J, Compton T (1986)** CT scanning of the foot and ankle: 2. Clinical applications and review of the literature. *AJR Am J Roentgenol* 146: 1204–1214
- 70 **Stephens HM, Sanders R (1996)** Calcaneal malunions: results of a prognostic CT classification System. *Foot Ankle Int* 17: 395–400
- 71 **Stephenson JR (1987)** Treatment of displaced intra-articular fractures of the calcaneus using medial and lateral approaches, internal fixation and early motion. *J Bone Joint Surg Am* 69: 115–130
- 72 **Stieve FE (Hrsg.):** Strahlenschutzkurs für Ärzte: Grundkurs, 7. Auflage. Hoffmann, Berlin 2000
- 73 **Thordarson DB (1997)** A pitfall of coronal CT imaging and evaluation of calcaneal fractures. *Foot Ankle Int* 18: 189
- 74 **Tufescu TV, Buckley R (2001)** Age, gender, work capability, and worker's compensation in patients with displaced intraarticular calcaneal fractures. *J Orthop Trauma* 15: 275–279
- 75 **Utheza G, Flurin PH, Colombier JA, Chiron P, Tricoire J L, Potel JF, Puget J (1993)** Les fractures thalamiques du calcaneum: description anatomo-pathologique. Apport de la tomодensitometrie. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 79: 49–57

- 76 **Utheza G, Goldzak M, Chaminade B, Zographos S, Chiron P (1998)** L'imagerie en trois dimensions dans les fractures thalamiques du calcaneum. Validation de la classification de ces fractures en trois formes.
Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot 84: 440–450
- 77 **Watson-Jones R:** Fractures and Joint Injuries, Vol. 2, 4th ed.
Williams and Wilkins, Baltimore 1955
- 78 **Wechsler RJ, Schweitzer ME, Karasick D, Deely DM, Morrison W (1998)**
Helical CT of calcaneal fractures: technique and imaging features.
Skeletal Radiol 27: 1-6
- 79 **Weippert DR (1991)** Die Wertigkeit der konventionellen Röntgendiagnostik, der coronaren und der axialen Computertomographie bei der Diagnose von Calcaneusfrakturen. Medizinische Dissertationsarbeit, Technische Universität München
- 80 **Wülker N, Zwipp H, Tscherne H (1991)** Experimentelle Untersuchung zur Klassifikation von intraartikulären Fersenbeinfrakturen. Unfallchirurg 94: 198–203
- 81 **Zeiss J, Ebraheim N, Rusin J, Coombs RJ (1991)** Magnetic resonance imaging of the calcaneus: normal anatomy and application in calcaneal fractures.
Foot Ankle Int 11: 265–273
- 82 **Zwipp H, Tscherne H, Wülker N, Grote R (1989)** Der intraartikuläre Fersenbeinbruch: Klassifikation, Bewertung und Operationstechnik. Unfallchirurg 92: 117–129

7 ANHANG

Verwendeter Auswertungsbogen

<u>Auswertung Calcaneus-CT</u>						
Nr.:	Patient:	re./ li.				
Unters.- Dat.:	Geb.- Dat.:	(beibseitige # 0)				
<u>Schichten:</u> axial 0 paracor. 0 Schichtdicke:	<u>Rekonstruktion:</u> (diagnost. besonders hilfreich 0)					
<u>Bildqualität subjektiv</u>	(1) sehr gut	(2) gut	(3) mäßig	(4) unbrauchbar		
<u>Artefakte</u>	(1) keine Artef.	(2) Artef., aber gut beurteilbar	(3) Artef., eingeschränkte Beurteilbarkeit	(4) Artef., stark eingeschr. Beurteilbarkeit, unbrauchbar		
<u>Frakturtyp:</u> klassischer: type tongue- 0 joint-depression 0 sonst. 0	<u>Tuberabriß ? 0</u> <u>offene # ? 0</u> <u>Anz.Hauptfrgmt.insg.:</u>					
<u>Frakturverlauf:</u> <u>extraartikulär</u> 0 <u>intraartikulär</u> 0 <u>post. Fragmente:</u>						
<u>Dislokation:</u>	<u>A Stufe:</u>	<u>B Breite:</u>				
	<u>C Höhe:</u>	<u>D Achse:</u>				
<u>Skizze</u>	<input type="checkbox"/> ant.Gelenkfl.	<input type="checkbox"/> post.Gelenkfl.	<input type="checkbox"/> Sustent.	<input type="checkbox"/> ant.Gelenkfl.	<input type="checkbox"/> post.Gelenkfl.	<input type="checkbox"/> Sustent.
<u>Frakturlinien:</u>						
<u>Besonderheiten, Begleitverletzungen:</u>						
<u>Eintlg. Münchener</u>	<u>Nicht disloziert</u>		<u>Disloziert</u>			
<u>Klassifikation:</u>	Extraartikulär I		II			
<u>eindeutig 0</u>	Intraartikulär III		IV(2 post. Fragmente)			
<u>nicht eindeutig 0</u>			V(3 post. Fragmente)			
			VI(4 post. Fragmente)			
<u>Therapie:</u>						

Lebenslauf

<u>Name</u>	Alexander Schoening
<u>Geburtsdatum</u>	21.04.1972
<u>Geburtsort</u>	Bad Pyrmont
<u>Staatsangehörigkeit</u>	deutsch
<u>Eltern</u>	Henriette Schoening, geb. Barth Rudolf Schoening
<u>Schulbildung</u>	September 1978 bis Juli 1982 Grundschule an der Blumenauer-Str., München September 1982 bis Juli 1991 Karls-Gymnasium, München-Pasing
<u>Studium</u>	13.03.1992 bis 21.04.1994 Medizinstudium, vorklinischer Abschnitt: LMU München 22.04.1994 bis 15.10.1997 Medizinstudium, klinischer Abschnitt: TU München 16.10.1997 bis 14.06.1999 Medizinstudium, Praktisches Jahr: LMU München 14.06.1999 Ablegen des dritten Teils der ärztlichen Prüfung
<u>Famulaturen</u>	Unfallchirurgie: KKH Krumbach Allgemeinchirurgie: KH Dritter Orden, München-Nymphenburg Chirurgie: L.-Williams-Memorial-Hospital, Carletonville, Südafrika Innere Medizin: Stiftsklinik Augustinum, München Urologie: Praxis Dr. med. S. Pietzcker, Gräfelfing
<u>PJ-Tertiale</u>	Chirurgie: KKH Starnberg Radiologie: Klinikum der Universität München, Institut für Klinische Radiologie – Innenstadt Innere Medizin: Städtisches KH München-Neuperlach
<u>Ärztliche Tätigkeit</u>	Seit 01.09.2000 in der Abteilung für Allgemeinchirurgie des KH Dritter Orden, München-Nymphenburg als AiP tätig.

Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. K. J. Pfeifer und Herrn Prof. Dr. med. M. Reiser für die Überlassung des Dissertationsthemas und die Gewährung der ungehinderten Arbeitsmöglichkeiten im Institut für Klinische Radiologie.

Mein Dank gilt im Besonderen auch all den Mitarbeitern des Klinikums Innenstadt, die mir halfen, den Zugriff auf die Untersuchungsdaten zu realisieren, und all denen, die mir stets hilfsbereit bei technischen Problemen und Fragen im Umgang mit den elektronischen Datenbank-Systemen zur Seite standen.

Ganz besonders danken möchte ich Herrn Dr. med. U. Linsenmaier für die stetige Betreuung, geduldige Unterstützung und die vielen, fruchtbaren Anregungen während der gesamten Zeit dieser Arbeit.