

Aus dem Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie
Klinik für Orthopädie
Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

**Erarbeitung, Evaluation und klinische
Erprobung einer CT-basierten
Klassifikationshilfe für
Azetabulumfrakturen**

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von
Diana Knöschke
aus Cottbus

Gutachter/in: 1. Prof. Dr. med. U. Stöckle
 2. Priv.-Doz. Dr. med. K.-D. Schaser
 3. Prof. Dr. med. P. A. Grützner

Datum der Promotion: 16.05.2010

Inhaltsverzeichnis

A)	Einleitung	5
B)	Grundlagen.....	8
1.1	Anatomische Grundlagen des Hüftgelenks	8
1.1.1	Hüftbein und Azetabulum	8
1.1.2	Pfeilerstruktur.....	12
1.2	Unfallursachen und Verletzungsmechanismen.....	14
1.3	Klassifikation	17
1.3.1	Historische Entwicklung.....	17
1.3.2	Klassifikation nach Judet und Letournel	18
1.3.3	AO-Klassifikation	19
1.3.4	OTA-Klassifikation	21
1.4	Diagnostik	21
1.4.1	Anamnese und körperliche Untersuchung.....	21
1.4.2	Konventionelle radiologische Diagnostik	21
1.4.3	Erweiterte Diagnostik.....	24
1.5	Therapie.....	26
1.5.1	Allgemein	26
1.5.2	Konservative Therapie.....	27
1.5.3	Operative Therapie	28
C)	Problemstellung und Zielsetzung.....	33
1.1	Problemstellung.....	33
1.2	Zielsetzung.....	35
D)	Material und Methoden.....	36
1.1	Patientengut.....	36
1.2	Interne Evaluation.....	39
1.3	Definition der CT-Schichten	40
1.4	Selektion von zwölf Patienten für die Arbeitsgruppe.....	46
1.5	Klinische Daten der ausgewählten Patienten	47
1.5.1	Alters- und Geschlechtsverteilung	47
1.5.2	Ätiologie und Unfallstatistik.....	47
1.6	Erarbeiten des Fragebogens	48
1.7	Demonstration der anonymisierten Patienten	50
1.8	Auswertung der Frakturklassifikation	50
E)	Ergebnisse	51
1.1	Externe Evaluationsgruppe	51
1.2	Interne Evaluation.....	52
1.3	Externe Evaluation	63
1.3.1	Einzelergebnisse der Patientenfälle 1-12	63
1.3.2	Zusammenfassende Auswertung der 12 Patientenfälle	71
1.3.2	Auswertung in Abhängigkeit vom Weiterbildungsstatus	73
1.3.3	Auswertung der Zusatzfragen und schriftlichen Bemerkungen	74
F)	Diskussion	76
G)	Zusammenfassung.....	83
	Literaturverzeichnis	86

Abbildungsverzeichnis	91
Tabellenverzeichnis	93
Danksagung	94
Lebenslauf.....	95
Erklärung.....	96

A) Einleitung

Verletzungen des knöchernen Beckens treten bei etwa 3% bis 8% aller Patienten mit Frakturen auf. Sie sind mit einer Inzidenz von 19 bis 37 pro 100.000 Einwohner jährlich eher selten [1-4]. Azetabulumfrakturen stellen als Gelenkverletzungen im Rahmen von Beckenverletzungen eine eigene Entität dar, weil sie bezüglich Diagnostik, Klassifikation und Behandlung anderen Grundsätzen unterliegen als die alleinigen Beckenringinstabilitäten [5, 6]. Sie entstehen meist bei Traumata mit hoher kinetischer Energie [3, 6, 7], wodurch sich auch Mehrfachverletzungen in 47 % [7] bis über 80% [8] der betroffenen Patienten mit Azetabulumfrakturen erklären lassen. Fast zur Hälfte finden sich Frakturen des Azetabulums bei Polytraumatisierten [8].

Das oberste Therapieziel bei Azetabulumfrakturen ist die anatomische Rekonstruktion [9-13]. Bei der Planung des therapeutischen Managements spielt die Frakturklassifikation hinsichtlich der Indikationsstellung eine entscheidende Rolle [5, 11, 14-16]. Die unabdingbare Voraussetzung stellt - gerade bei einer komplexen dreidimensionalen, radiologisch nur schwer darstellbaren Region wie dem Azetabulum - eine qualitativ hochwertige Bildgebung dar [15, 17-19]. Etablierte Systeme zur Klassifikation von Azetabulumfrakturen – zum einen nach Judet und Letournel [20], zum anderen nach der Arbeitsgruppe für Osteosynthese (AO) [21, 22] – basieren auf konventionellen Röntgenaufnahmen (Beckenübersicht anterior posterior (a.p.), Ala- und Obturatoraufnahme). Deren exakte Beurteilung verlangt ein Höchstmaß an diagnostischer Erfahrung und setzt ein gutes räumliches Vorstellungsvermögen voraus [9, 23].

Untersuchungen zur Klassifikation von Azetabulumfrakturen nach dem System von Judet und Letournel zeigten, sowohl bei der Benutzung von konventionellen Röntgenaufnahmen allein als auch bei der Analyse von Röntgenbildern und CT-Bildern gemeinsam, interpersonelle Abweichungen und intrapersonelle Schwankungen [15, 24-27]. In der Literatur schwanken die Angaben der Kappa-Werte (statistisches Maß zur Einschätzung des Ausmaßes von Übereinstimmungen mehrerer Beurteiler nach Cohens Kappa) von 0,42 bis 0,74, welches einer moderaten bis substantiellen Übereinstimmung gleicht [24, 26, 27].

Mehrere Autoren haben sich mit den bestehenden Klassifikationssystemen kritisch auseinandergesetzt. Aufgrund der Schwierigkeiten in der Anwendung der Unterteilung in zehn Frakturtypen gemäß Judet und Letournel wurde nach

Möglichkeiten gesucht, den Klassifikationsweg durch die Einteilung in übergeordnete Gruppen - wie zum Beispiel in Wand-, Pfeiler- und Querfrakturen - zu vereinfachen und damit die Zuordnung zu einem Frakturtyp bei den meisten Azetabulumfrakturen zu erleichtern [18, 28, 29].

Technische Verbesserungen haben im Laufe der Zeit zu Weiterentwicklungen in der diagnostischen Bildgebung geführt. Seit Einführung der konventionellen Computertomographie (CT) in den 70er Jahren bieten nun die Spiraltechnik und Multidetektorensysteme den Vorteil einer kürzeren Untersuchungszeit durch kontinuierliche Datenerhebung bei gleitendem Tischvorschub. Bei gleichzeitig verbesserter Abbildungsqualität der axialen Schichten aufgrund verminderter Bewegungsartefakte und höherer Bildauflösung besteht die Möglichkeit, multiplanare Rekonstruktionen zu erstellen [30-32]. Die Computertomographie ermöglicht durch die überlagerungsfreie Darstellung die detaillierte Analyse von Frakturen und gehört heutzutage bei der Diagnostik von Azetabulumverletzungen zum Standard [15, 16, 30, 33-35].

Hinsichtlich der Genauigkeit in der Frakturdiagnostik ist sie konventionellen Röntgenaufnahmen überlegen [15, 30, 31]. In bis zu 72% der Fälle wurde mittels Multidetektor-CT und multiplanaren Rekonstruktionen eine höhere interpersonelle Übereinstimmung als bei der Benutzung von Röntgenbildern erzielt [24], weil anatomische Besonderheiten und spezielle Fraktureigenschaften gezielt identifiziert werden konnten [36]. Auch die Messung von Gelenkflächenverschiebungen bei Azetabulumfrakturen führte durch die Benutzung von CT zu einer höheren inter- und intrapersonellen Zuverlässigkeit [37].

Die Fortschritte in der diagnostischen Bildgebung sollten folglich zur Anpassung der Klassifikationssysteme führen. Unterschiedliche Ansätze zur Entwicklung von CT-basierten Klassifikationssystemen für Azetabulumfrakturen wurden verfolgt. Zunehmend wurden Softwareprogramme entwickelt, die es ermöglichten, Verletzungen im Bereich der azetabulären Gelenkfläche als 3-D-Modell und 2-D-Projektion zu visualisieren [38-40], um den Informationsgewinn zu vergrößern und damit die Klassifikation von Azetabulumfrakturen zu vereinfachen.

2004 entwickelten Harris et al. ein aus vier Kategorien bestehendes System (Wandfrakturen, isolierte Pfeilerfrakturen, beide Pfeiler betreffend, Zwei-Pfeilerfrakturen mit kompletter Separation), in die alle Frakturtypen eingeordnet werden konnten [41].

Aktuell müssen viele CT-Schichten bei Azetabulumverletzungen analysiert werden. Das ist sehr zeitintensiv und setzt – wie bei der Beurteilung von konventionellen Aufnahmen – zum einen die Fähigkeit der geistigen Integration der Bildinformationen [9, 42], zum anderen klinische Erfahrung voraus.

Das vorrangige Ziel dieser Arbeit ist es, die Qualität der Klassifikation - durch CT-basiertes Analysieren - zu steigern, um somit die Reproduzierbarkeit und die Treffgenauigkeit bei der Frakturklassifikation zu erhöhen [28, 31].

In dieser Arbeit wird eine neue CT-basierte Klassifikationshilfe vorgestellt, deren Auswertung auf standardisierten CT-Schichten beruht.

B) Grundlagen

1.1 Anatomische Grundlagen des Hüftgelenks

1.1.1 Hüftbein und Azetabulum

Das Becken verbindet die bewegliche Wirbelsäule mit den beiden unteren Extremitäten, auf die es das Gewicht des Körpers überträgt. Im Hüftgelenk, an dessen Aufbau das Becken beteiligt ist, artikulieren das Becken und die untere Extremität.

Das Os coxae (Hüftbein) wird aus drei knöchernen Anteilen gebildet. Dazu gehört das Os ilium (Darmbein), das Os pubis (Schambein) und das Os ischii (Sitzbein) [43] (Abbildung 1).

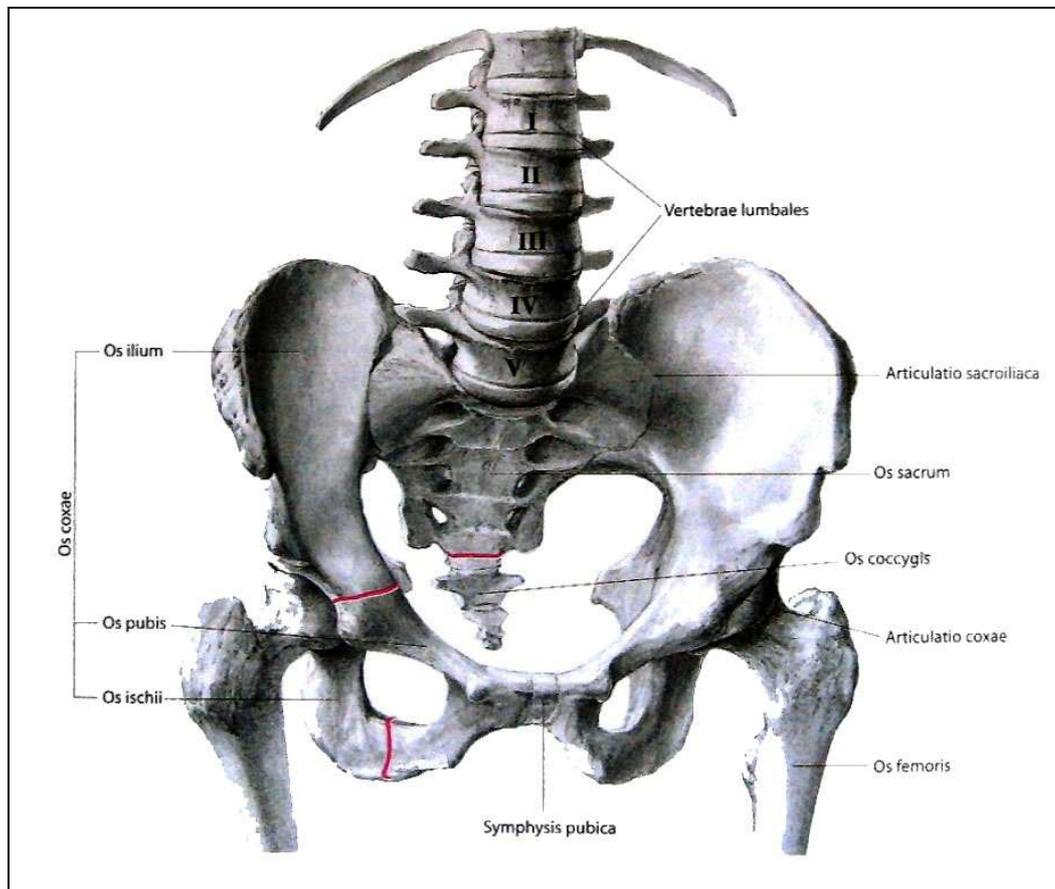


Abbildung 1: Becken mit Os coxae und dessen Bestandteilen [6]

Der obere Teil des Os coxae wird vom Os ilium, der vordere untere vom Os pubis und der hintere untere vom Os ischii gebildet. Die Belastungen im Inneren des Hüftbeins sind gering. Das Innere der Darmbeinschaukel besteht aus einer Knochenplatte, die im Gegensatz zu den äußeren Anteilen des Os ilium sehr dünn ist

[44]. Die Einsparung des Knochens im unteren Hüftbeinanteil ist das Foramen obturatum, welches nur durch eine Bindegewebeplatte, Membrana obturatoria, verschlossen ist. Die durchflochtenen Faserzüge bilden die Fortsetzung des Periosts der umgebenden Knochen. Die Membrana obturatoria besitzt ventrokraniel eine von Bindegewebe bedeckte Öffnung, den Canalis obturatorius, durch welchen Vasa obturatoria, Nervus obturatorius und Lymphgefäße hindurchtreten [43].

Das Azetabulum (Hüftgelenkpfanne) liegt auf der lateralen Seite des Os coxae. Drei Knochenanteile - das Os ilium, das Os pubis und das Os ischii - treffen dort aufeinander. Es bildet die halbkugelförmige Pfanne des Hüftgelenks, in der der Femurkopf liegt [44] (Abbildung 2).

Das Dach der Hüftgelenkpfanne stellt das Corpus ossis ilii (Darmbeinkörper) dar. Dieser ist mit zwei Fünftel am Aufbau des Azetabulums beteiligt. Die Grenze zwischen Corpus und Ala ossis ilii (Darmbeinschaukel) wird durch die Linea arcuata, eine knochenförmige Leiste, gebildet. Weitere zwei Fünftel der Hüftgelenkpfanne werden durch das Corpus ossis ischii (Sitzbeinkörper) aufgebaut, das dorsokaudal im Azetabulum an das Os ilium und das Os pubis (Schambein) grenzt. Das Corpus ossis pubis (Schambeinkörper) bildet den ventralen Bereich des Azetabulums und beteiligt sich mit einem Fünftel am Aufbau der knöchernen Hüftgelenkpfanne [45] (Abbildung 2).

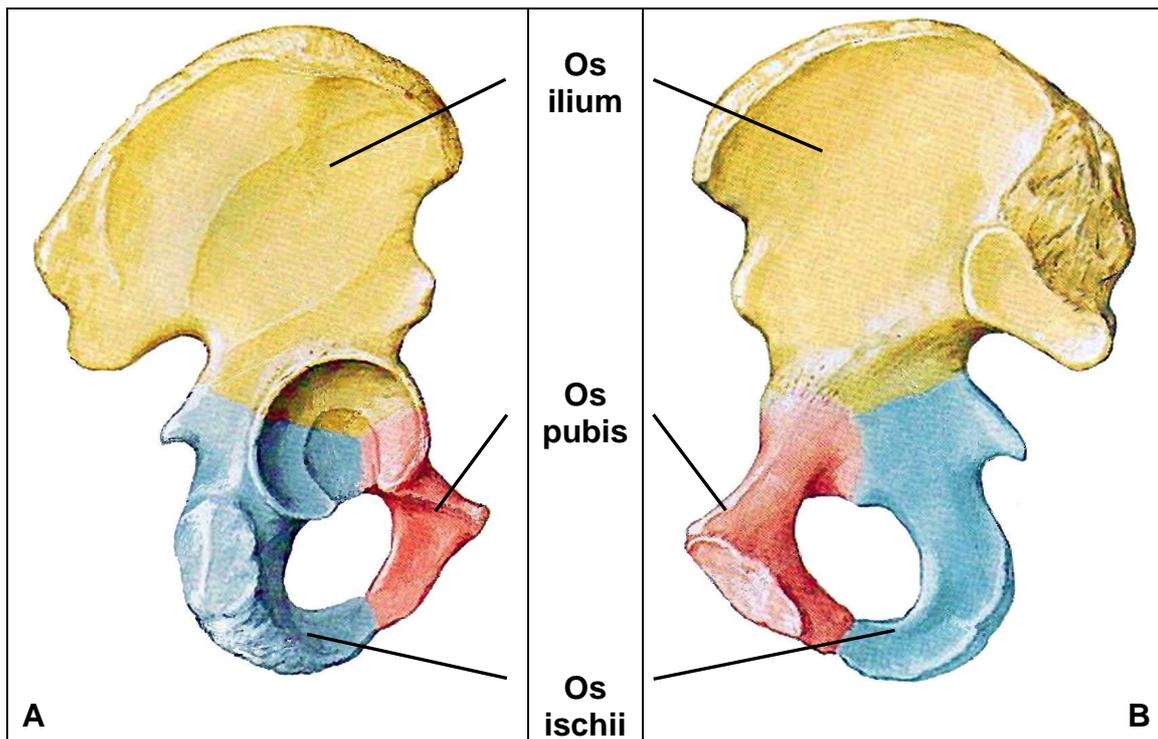


Abbildung 2: Aufbau des Os coxae aus drei Knochenanteilen [46]; Ansicht von medial (A) und lateral (B)

Das Azetabulum wird umgeben von einem kräftigen knöchernen Randwulst, dem Limbus acetabuli. Dieser wird kaudal durch die Incisura acetabuli unterbrochen, die fast vollständig durch das Ligamentum transversum acetabuli ausgefüllt wird [44].

Das Labrum acetabulare, eine ringförmige Gelenkklippe aus Faserknorpel, ist am Rand des Azetabulums und am Ligamentum transversum acetabuli befestigt. Dadurch wird die Hüftpfanne auf mehr als die Hälfte einer Hohlkugel vertieft. Diese Besonderheit kennzeichnet ein Nußgelenk als Sonderform eines Kugelgelenks [43, 45].

Die dünnwandige Fossa acetabuli (Hüftpfannenboden) wird von Fettgewebe ausgefüllt. Die Facies lunata stellt die druckübertragende Gelenkfläche dar und ist in einem halbmondförmigen Areal überknorpelt. Durch diese wird die Last des Rumpfes auf das Femur (Oberschenkelknochen) übertragen. Daher weist die Knorpelschicht im ventralen Anteil des Pfannendaches ihre größte Breite und Dicke auf und wird in Richtung des Vorder- und Hinterhorns zunehmend schmaler und dünner [45].

Die Gelenkkapsel entspringt am Pfannenrand, ohne eine feste Verbindung mit dem Labrum acetabulare einzugehen. Sie ist ventral am Femur und dorsal am Schenkelhals befestigt.

Das Hüftgelenk wird durch drei Bänder stabilisiert. Dazu gehören das Ligamentum iliofemorale, das Ligamentum ischiofemorale und das Ligamentum pubofemorale, welche zur Verstärkung in die Gelenkkapsel eingewebt sind und sich um den Femurkopf und -hals schlingen (Abbildung 3).

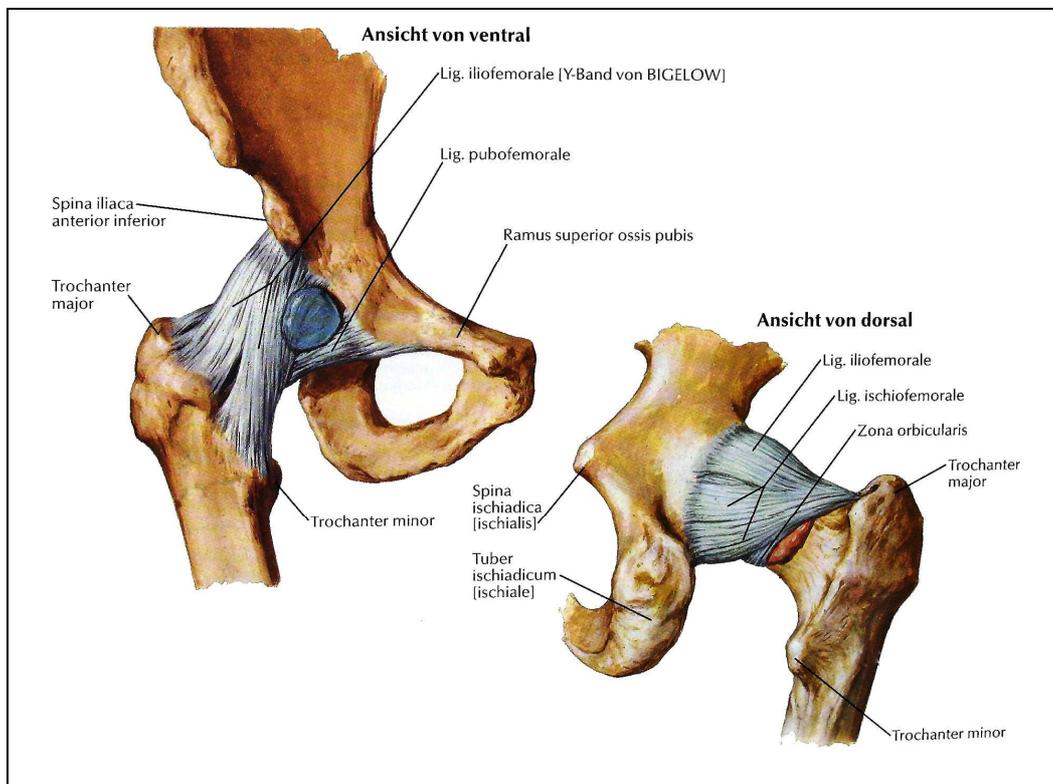


Abbildung 3: Bänder des rechten Hüftgelenkes: Ansichten von ventral und dorsal [46]

Das Ligamentum capitis femoris zieht von der Incisura acetabuli zur Fovea capitis femoris. Es ist in Fettgewebe eingelagert, welches die Fossa acetabuli ausfüllt. Das Ligamentum capitis femoris erfüllt keine mechanische Aufgabe. Es leitet im Jugendalter den Ramus acetabularis aus der Arteria circumflexa femoris medialis und Arteria obturatoria, welche zur Ernährung des Oberschenkelkopfes beitragen [43].

Die arterielle Versorgung des Azetabulum wird durch ein dichtes Anastomosennetz sichergestellt. Dieses wird gebildet von Abgängen aus der Arteria iliaca interna (Arteria obturatoria, Arteriae gluteae superior et inferior) und weiteren Anastomosen, hauptsächlich mit der Arteria circumflexa femoris medialis [6].

Die komplexe dreidimensionale Struktur des Beckens erschwert das Erkennen von Frakturlinien und das Verständnis des Verlaufs von Azetabulumfrakturen beträchtlich.

Eine genaue anatomische Kenntnis des Os innominatum (Os coxae) ist eine unerlässliche Voraussetzung [11].

1.1.2 Pfeilerstruktur

Nach Judet und Letournel wird das Os coxae in einen vorderen und einen hinteren Pfeiler unterteilt, welche durch die Verschmelzung der einzelnen Knochen die Form eines kopfstehenden „Y“ (λ) annehmen. Im Mittelpunkt ist das Azetabulum eingelassen [11] (Abbildung 4).

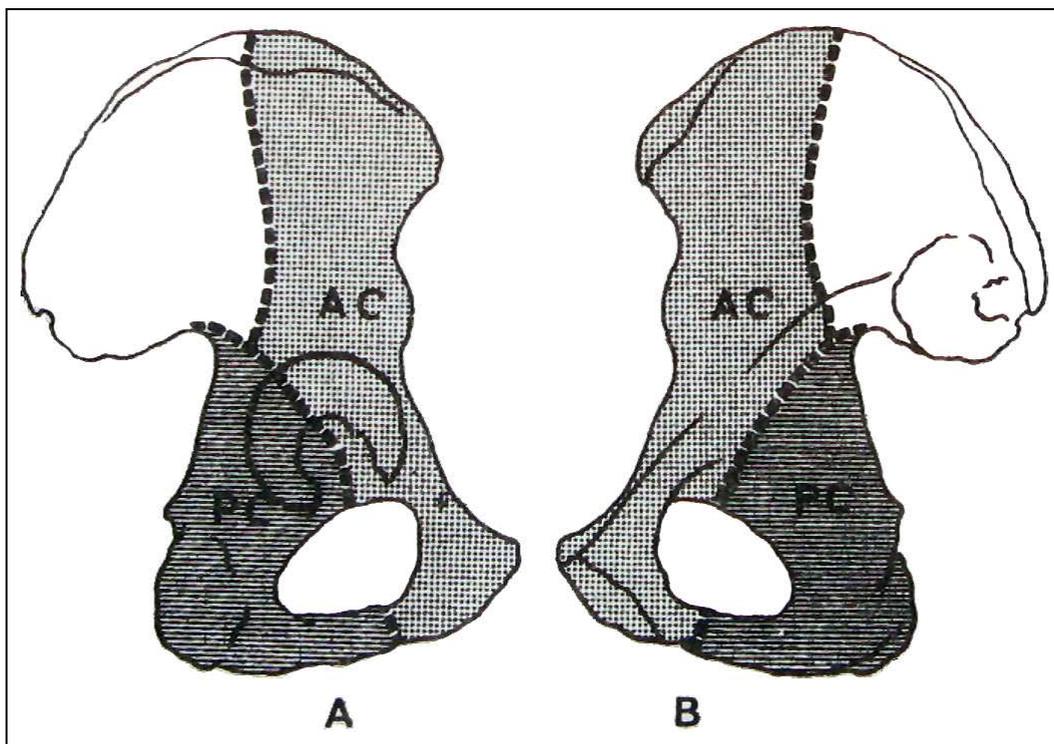


Abbildung 4: schematische Darstellung der Pfeilerstruktur des Os coxae nach Letournel [47]; Ansicht von medial (A) und lateral (B); AC – anterior column = vorderer Pfeiler, PC – posterior column = hinterer Pfeiler

Der vordere Pfeiler umfasst die größeren Anteile des Os ilium und schließt dabei die vordere Hälfte des Azetabulums mit ein. Kranial wird der vordere Pfeiler von der Spina iliaca anterior superior entlang bis zur Mitte des Beckenkamms begrenzt, die distale Begrenzung bildet der obere Schambeinast einschließlich der Symphyse. Er beinhaltet die kräftige und dichte Knochenstruktur entlang der Linea arcuata [6, 11].

Der hintere Pfeiler ist im Vergleich zum vorderen Pfeiler kürzer und setzt sich aus den Anteilen des Os ilium und des Os ischii zusammen. Er reicht vom Oberrand des Foramen ischiadicum majus bis zum Tuber ischiadicum und einem kleinen Anteil des

unteren Schambeinastes. Die mediale Begrenzung des hinteren Pfeilers wird dabei vom Foramen ischiadicum majus, Foramen ischiadicum minus und der Spina ischiadica gebildet. Er ist aus dichter, sehr kräftiger Knochensubstanz aufgebaut und trägt wesentlich zur Lastübertragung vom Azetabulum zum Sakroiliakalgelenk (SI-Gelenk) bei [6, 11].

Die Eminentia iliopubica bildet die kortikale Begrenzung der Azetabulumvorderwand. Die Hinterwand des Azetabulums sowie die dorsal davon gelegene retroazetabuläre Fläche sind Bestandteile des hinteren Pfeilers.

Die mediale Begrenzung des Azetabulums wird von der quadrilateralen Fläche gebildet. Sie wird ventral und kranial von der Linea arcuata begrenzt und nach kaudal mit dem Foramen obturatorum abgeschlossen. Die hintere Begrenzung bilden das Foramen ischiadicum majus und minus. Der größte Teil der quadrilateralen Fläche wird dem hinteren Pfeiler zugerechnet, wobei die Trennlinie zum vorderen Pfeiler vom Canalis obturatorius gebildet wird [11].

1.2 Unfallursachen und Verletzungsmechanismen

Azetabulumfrakturen entstehen überwiegend als Folgen von Traumen mit hoher kinetischer Energie, den so genannten Hochrasanztraumen. Dazu zählen Verkehrsunfälle, insbesondere Motorradunfälle, sowie Stürze aus großer Höhe.

Eine besondere Bedeutung kommt dabei den Straßenverkehrsunfällen zu. Veränderte äußere Bedingungen wie die verschärfte Gesetzgebung, Unfallprävention und die signifikante Verbesserung in der Sicherheitsausstattung von Automobilen nehmen einen direkten Einfluss auf die Entstehungsmechanismen und die Inzidenz von Azetabulumfrakturen, welche seit der Einführung der Gurtpflicht im Jahre 1984 rückläufig ist. Trotz allem sind Pkw-Unfälle immer noch die wesentlichste Verletzungsursache [6, 11, 48-52].

Aufgrund der ausgezeichneten Weichteildeckung der Hüftgelenkpfanne durch die extrem straffe Gelenkkapsel, den sehr starken Bandapparat und Muskelmantel entstehen Azetabulumfrakturen meist durch indirekte Frakturmechanismen mit Kraftüberleitung durch das Femur. Ausnahmen bilden beispielsweise Pfählungen durch Gabelstapler und Stürze. Solche seltenen direkten Traumen sind meistens mit erheblichen Weichteilschäden und offenen Fraktursituationen verbunden [6, 51].

Die indirekte Krafteinleitung kann prinzipiell über vier verschiedene Angriffspunkte erfolgen (Abbildung 5): (1) Trochanter major (seitlicher Anprall); (2) Knie, bei gebeugtem Unterschenkel (dashboard); (3) Fuß, bei gestrecktem Knie (Sturz aus großer Höhe); (4) dorsales Becken.

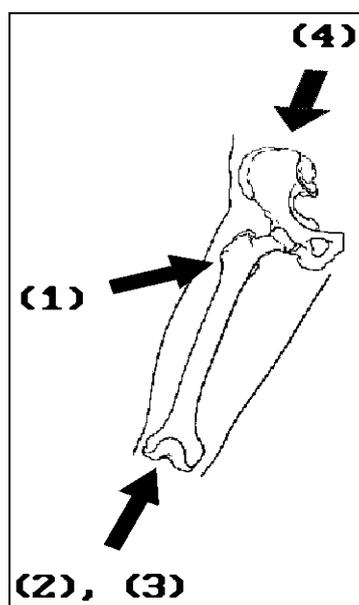


Abbildung 5: mögliche Punkte der indirekten Krafteinleitung [9]

Dabei geschieht die punktförmige Kraftübertragung von der Kugel des Hüftgelenks auf das Azetabulum an einer spezifischen Stelle, welche von der Stellung des Hüftgelenks im Moment des Anpralls abhängt. Die hohe Variabilität der Frakturverläufe erklärt sich durch die unendlich großen Kombinationsmöglichkeiten zwischen Größe des Kraftvektors und Stellung des Hüftgelenks beim Anprall [6] (Abbildung 6).

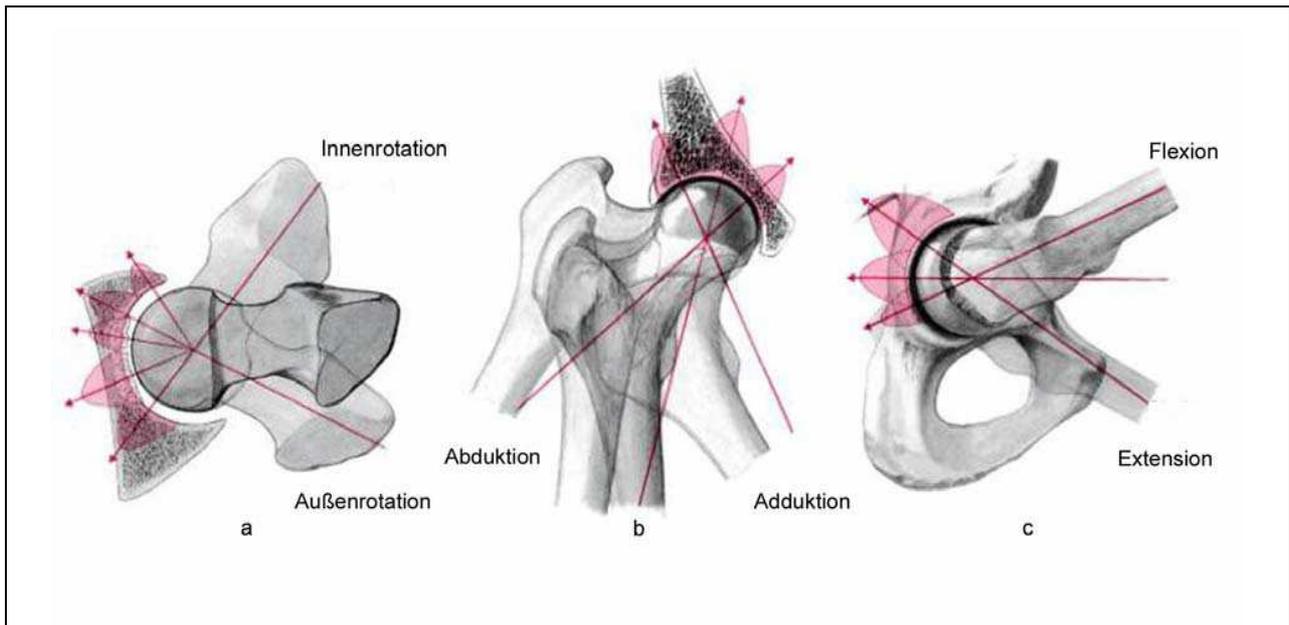


Abbildung 6: Pathobiomechanische Entstehung von Azetabulumfrakturen, Frakturtypen in Abhängigkeit von a) der Innen- und Außenrotationsstellung des Hüftgelenks, b) der Adduktion- und Abduktionsstellung des Hüftgelenks bei gebeugtem und gestrecktem Hüftgelenk, c) der Beugung des Hüftgelenks bei Krafteinleitung durch den Oberschenkel [6]

Frakturen der hinteren Wand entstehen durch indirekte Kraftübertragung über das im Hüftgelenk flektierte Femur in das Becken. Dieser Unfallmechanismus ist typisch für Pkw-Unfälle, bei denen das Knie des sitzenden Insassen gegen das Armaturenbrett gedrückt wird (dashboard-injuries) (Abbildung 7). Sie sind häufig mit einer hinteren Luxation des Femurkopfes verbunden.



Abbildung 7: Dashboard-Injury – nachgestellt im Crashtest [53]

Hintere Pfeilerfrakturen entstehen auf ähnliche Weise, jedoch muss sich das Hüftgelenk in Abduktionsstellung befinden. Durch einen Schlag oder Stoß auf den Trochanter major ereignen sich vordere Wandfrakturen und bei zusätzlich außenrotierter Hüftgelenksstellung vordere Pfeilerfrakturen [6, 11, 17] (Abbildung 6).

1.3 Klassifikation

1.3.1 Historische Entwicklung

Anfang der 60er Jahre war für Rowe und Lowell das Azetabulumdach das wichtigste Kriterium in der Beurteilung von Azetabulumfrakturen (Abbildung 8). Wegen unzureichender Prägnanz bei zahlreichen Frakturen ist diese Einteilung aufgegeben worden [16, 23].

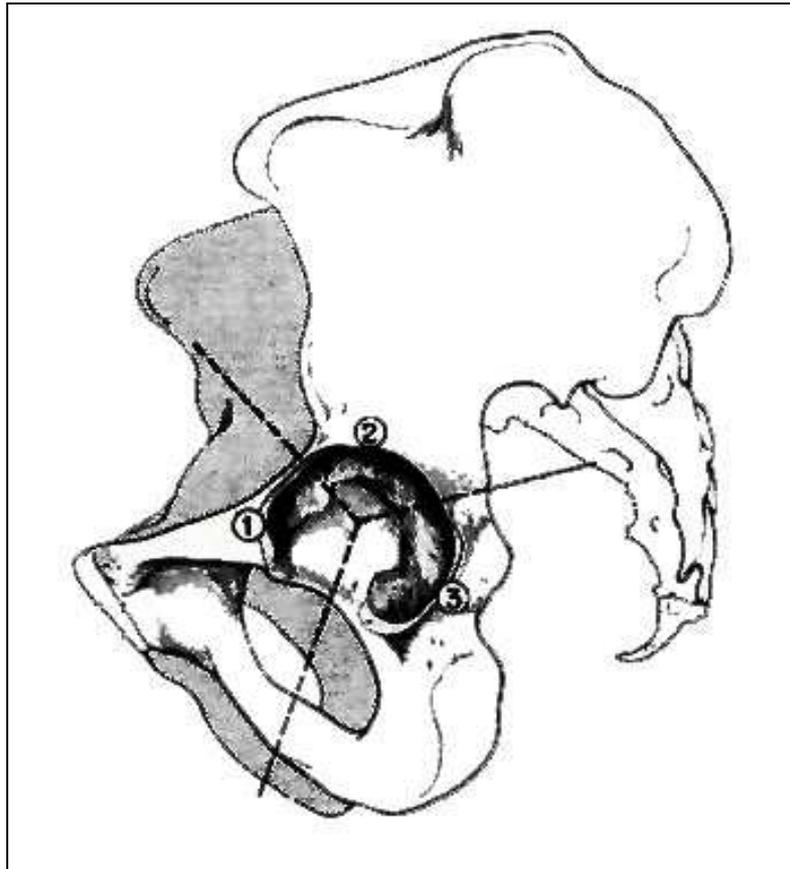


Abbildung 8: Unterteilung des Azetabulums für die klinische Klassifikation nach Rowe und Lowell; 1 – Inner Wall = innerer Rand, 2 – Superior Dome = Azetabulumdach, 3 – Posterior Acetabulum = hinteres Azetabulum [54]

Aufgrund der damals hauptsächlich verfügbaren therapeutischen Möglichkeiten – geschlossene Reposition und Extensionsbehandlung gegebenenfalls unterstützt durch einen Seitzug - erfolgte bis in die 70er Jahre die einfache Unterscheidung in posteriore und zentrale Hüftluxationsfrakturen. 1964 regte Judet umfangreiche anatomisch-radiologische Untersuchungen zur Morphologie des Azetabulums an, welche von Letournel durchgeführt wurden. Grundlegend für das Verständnis der Röntgenanatomie des Azetabulums wurde daraus von beiden die weltweit am weitesten verbreitete und heute gebräuchlichste Klassifikation von

Azetabulumfrakturen entwickelt. Dieses rein deskriptive, auf 2-D-Röntgenbildern basierende System stützt sich auf die Beschreibung anatomischer Frakturverläufe durch eine prägnante Terminologie und wurde 1980 durch Letournel leicht modifiziert. Zwischenzeitlich wurden weitere Klassifikationen entwickelt. Die Klassifikation der Arbeitsgruppe für Osteosynthese (AO) - den Richtlinien von Müller et al. aus dem Jahre 1990 folgend [21] – basiert ebenfalls nur auf 2-D-Röntgenbildern und bezieht sich in der Grundlage auf die von Letournel angegebenen Frakturtypen. Die Unterteilungsmöglichkeiten werden durch weitere Untergruppen und die integrierte Berücksichtigung von Zusatzverletzungen des Hüftgelenks vielfältiger [1, 6, 11, 17]. 1996 wurde eine detaillierte Klassifikation auf der Basis der AO-Klassifikation durch die Orthopaedic Trauma Association (OTA) vorgestellt [55].

Unabhängig vom verwendeten System stellt die korrekte Klassifikation der Fraktur die Grundlage für die Entscheidung über das therapeutische Konzept dar und lässt prognostische Aussagen über zu erwartende Spätschäden zu.

1.3.2 Klassifikation nach Judet und Letournel

Die anatomische Grundlage bildet die Pfeilerstruktur. Je nach Beteiligung der beiden Pfeiler unterscheidet die Klassifikation zehn Frakturtypen. In zwei Hauptgruppen werden jeweils fünf „einfache“ oder elementare und fünf „zusammengesetzte“ oder komplexe Frakturtypen zusammengefasst (Abbildung 9). Die elementare Gruppe beinhaltet alle Frakturen, bei denen lediglich eine einzelne, durch das Azetabulum verlaufende Hauptfrakturlinie vorliegt. Dazu gehören Frakturen der hinteren Wand und des hinteren Pfeilers, der vorderen Wand und des vorderen Pfeilers sowie beide Pfeiler gleichzeitig betreffende Querfrakturen. Die elementaren Frakturtypen betreffen - mit Ausnahme des transversen Typs – nur einen Pfeiler. Letztere wurde wegen ihres relativ einfachen Verlaufs ebenfalls den elementaren Typen zugeordnet [1, 6, 11].

Die komplexen Frakturtypen setzen sich aus Kombinationen der vorgenannten einzelnen Frakturlinien und -typen zusammen. Dazu zählen Frakturen des hinteren Pfeilers mit hinterer Wand, Querfrakturen mit hinterer Wand, T-Frakturen, Frakturen des vorderen Pfeilers mit Hemiquerfraktur und Zweipfeilerfrakturen. Übergangsformen entstehen wegen vieler Variationsmöglichkeiten durch die ungenaue Differenzierung „benachbarter“ Frakturtypen [6].

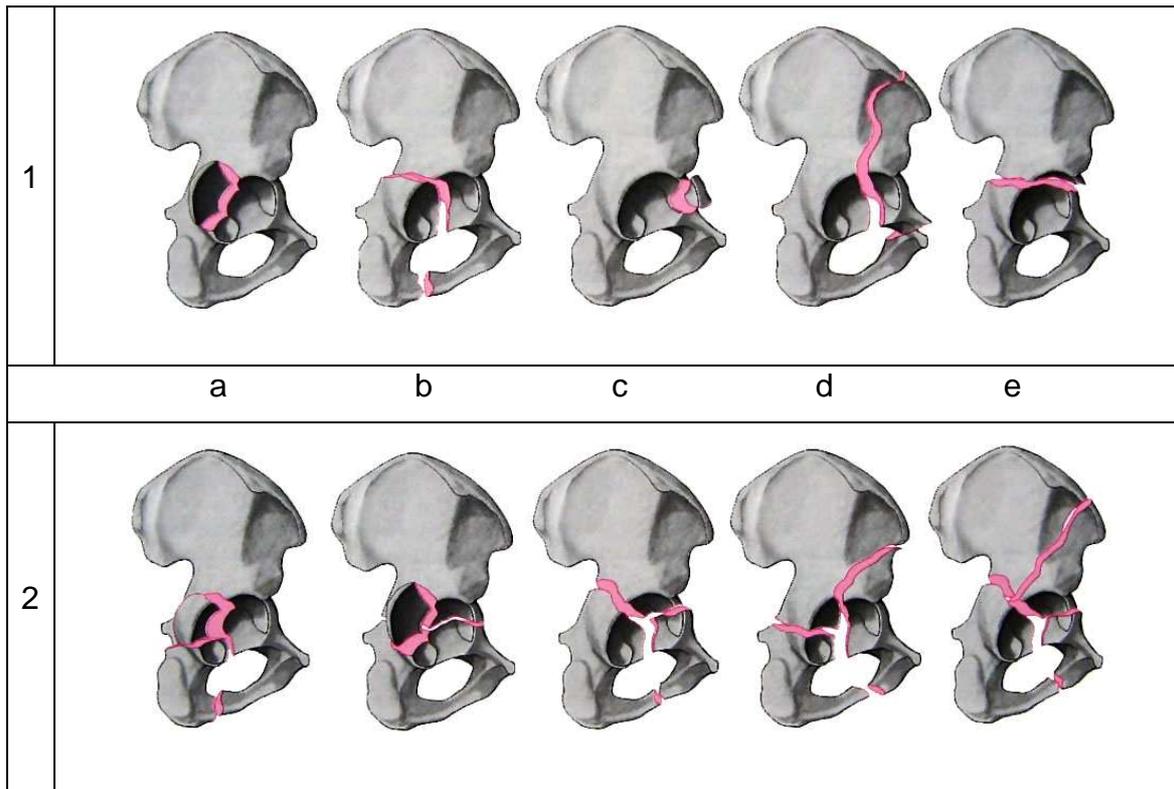


Abbildung 9: Klassifikation von Azetabulumfrakturen nach Letournel und Judet [6];
 1: Elementare Frakturtypen - a) hintere Wand, b) hinterer Pfeiler, c) vordere Wand,
 d) vorderer Pfeiler, e) Querfraktur;
 2: Komplexe Frakturtypen - a) hinterer Pfeiler + hintere Wand, b) Querfraktur + hintere
 Wand, c) T-Fraktur, d) vorderer Pfeiler + Hemiquerfraktur, e) Zweipfeilerfraktur

1.3.3 AO-Klassifikation

In diesem Klassifikationssystem sind die Azetabulumfrakturen ebenfalls anatomisch beschrieben, aber die Richtung der verursachenden Krafteinwirkung wird hervorgehoben. Die Kodierung erfolgt alphanumerisch, wobei das Azetabulum die anatomische Lokalisation 62 darstellt. Aufsteigend nach Verletzungsschwere und Grad der Instabilität des Hüftgelenkes können die Frakturen drei Typen zugeordnet werden:

Die A-Typen umfassen alle Pfannenrandfrakturen und die isolierten Frakturen eines einzelnen Pfeilers oder seiner Anteile.

Die B-Typen beinhalten die Frakturen mit Querkomponenten und die T-Frakturen, wobei eine stabile Verbindung eines Teils des Azetabulums zum hinteren Beckenringsegment und damit zum Achsenskelett besteht.

Die C-Typen schließen alle Zweipfeilerfrakturen ein, die mit einer vollständigen Separation des Azetabulums vom Ilium und damit zum Achsenskelett einhergehen.

Durch „Modifikatoren“ und „Spezifikatoren“ ist es möglich, die Frakturtypen einschließlich ihrer Zusatzverletzungen detailliert zu beschreiben (Tabelle 1) [6, 12, 21].

AO-Klassifikation der Azetabulumfrakturen (Lokalisation 62)
A: partiell artikulär, Fraktur eines Pfeilers
A1: hintere Wand
A2: hinterer Pfeiler
A3: vordere Wand/vorderer Pfeiler
B: partiell artikulär, Fraktur mit Querkomponente
B1: Querfraktur
B2: T-Fraktur
B3: vordere Wand/Pfeiler und posterior hemitransvers
C: komplett artikulär, Zwei-Pfeiler-Fraktur
C1: hohe Variante
C2: tiefe Variante
C3: mit Beteiligung des Iliosakralgelenks
Modifikatoren:
A: Hüftkopfsubluxation
B: Hüftluxation
C: Knorpelverletzung/- impression Azetabulum
D: Knorpelverletzung/- impression Hüftkopf, Hüftkopffraktur
E: intraartikuläre(s) Fragment(e), operative Entfernung notwendig
F: nicht-dislozierte Azetabulumfraktur
Spezifikatoren: beschreiben die Fragmentanzahl

Tabelle 1: AO-Klassifikation der Azetabulumfrakturen nach Typen A, B, C und Modifikatoren sowie Spezifikatoren

1.3.4 OTA-Klassifikation

Die Klassifikation der Orthopaedic Trauma Association gleicht in großen Teilen der AO-Klassifikation. Verletzungsgruppen und Verletzungsuntergruppen tragen ähnliche Namen. Die Bezeichnung erfolgt numerisch. Der Frakturtyp leitet auf die therapeutische Konsequenz und den operativen Zugang hin.

1.4 Diagnostik

1.4.1 Anamnese und körperliche Untersuchung

Die Versorgung einer Azetabulumfraktur ist in der Regel keine Notfallmaßnahme. Eine ausführliche Unfallanamnese gibt meist Aufschluss über den Unfallhergang. Typische Unfallmechanismen (dashboard- oder Absturztraumen) erhärten den Verdacht auf eine Azetabulumverletzung, denn aufgrund der spezifischen Lage des Hüftgelenkes fehlen sichere klinische Zeichen einer Azetabulumfraktur. Das klinische Leitsymptom ist die schmerzhafte Bewegungseinschränkung in der Hüfte. Bei begleitender Luxation des Hüftkopfes ist häufig die federnde Fixation in Verkürzung, Adduktion und Innenrotation des Beines (hintere Luxation) zu beobachten. Seltener findet sich diese in Verkürzung und Außenrotation (vordere Luxation). Die primär klinische Untersuchung des wachen Patienten konzentriert sich deswegen auf das Erkennen von Verdachtsmomenten für das Vorliegen einer Azetabulumfraktur und auf die Diagnose bzw. den Ausschluss von neurovaskulären, pelvinen oder extrapelvinen Begleitverletzungen [5, 6, 21]. Die grundlegende Reposition bei Femurkopfluxationen gehört zu den Notfallmaßnahmen. Bei Instabilitäten kann gegebenenfalls eine Extension notwendig sein.

Bei schwerstverletzten, bewusstlosen Patienten liegt der Fokus zunächst auf dem Polytraumamanagement mit Erhaltung oder Herstellung einer kreislaufstabilen Situation.

1.4.2 Konventionelle radiologische Diagnostik

Grundsätzlich werden drei konventionelle radiologische Projektionen zur Beurteilung von Azetabulumfrakturen empfohlen. Dazu gehören die Beckenübersichtsaufnahme und zwei Schrägprojektionen – Ala- und Obturatoraufnahme. Bei allen drei Standardprojektionen sollte immer das gesamte Becken abgebildet werden, um die frakturierte Seite mit der in der Regel unverletzten Gegenseite vergleichen zu können [11].

Bei der Beckenübersichtsaufnahme verläuft der Strahlengang von anterior nach posterior senkrecht zur Liegefläche. Die Schrägaufnahmen werden durch Kippung des Patienten um die Körperlängsachse bei gleich bleibendem Strahlengang mit Zentrierung auf das Hüftgelenk erstellt. Bei der Obturatoraufnahme wird die frakturierte Beckenseite um 45° zur Filmebene angehoben. Kennzeichnend für eine korrekte Einstellung ist die nahezu kreisrunde Darstellung des Foramen obturatum mit einer eher tangentialen Darstellung der Darmbeinschaukel. Bei der Alaaufnahme wird die unverletzte Beckenseite um 45° zur Filmebene angehoben. Die flächenhafte Darstellung der Darmbeinschaukel und das komplette Verschwinden des Foramen obturatum kennzeichnen hierbei die korrekte Einstellung (Abbildung 10).

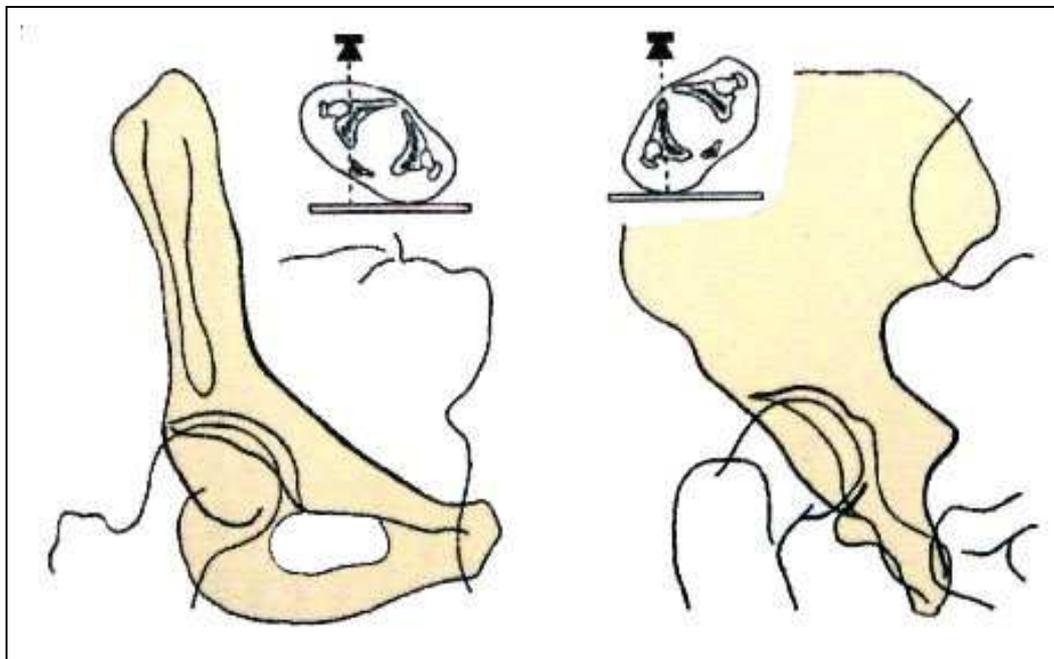


Abbildung 10: schematische Darstellung der konventionellen Röntgentechniken Obturator- und Alaaufnahme [56]

Die dreidimensionale Struktur des Azetabulums führt zu zahlreichen Überlagerungen auf den konventionellen Röntgenaufnahmen. Die systematische Analyse und Beurteilung radiologischer Kennlinien bzw. Landmarken auf allen drei konventionellen Aufnahmen ist die unabdingbare Voraussetzung für die richtige Interpretation der Frakturverläufe und Zuordnung des Frakturtyps [11].

Zunächst sollte auf der a.p.-Beckenübersichtsaufnahme der gesamte Beckenring nach Verletzungen und Verschiebungen überprüft werden. Azetabulumfrakturen können durch die Beurteilung von sechs grundlegenden radiologischen Landmarken erkannt werden (Abbildung 11):

1. Kontur der Vorderwand
2. Kontur der Hinterwand
3. Tragzone (Pfannendach)
4. Köhlersche Tränenfigur
5. Linea ilioischiadica (kennzeichnet den hinteren Pfeiler)
6. Linea iliopectinea (kennzeichnet den vorderen Pfeiler)

In der Ala-Projektion dienen die Leitlinien der Beurteilung von der dorsomedialen Begrenzung des hinteren Pfeilers (durch das Foramen ischiadicum majus und minus sowie der Spina ischiadica gebildet), der Kontur der Vorderwand, der Beckenschaufel in orthograder Aufsicht und der mehr ventral gelegenen Anteile der azetabulären Tragzone. In der Obturator-Projektion können besonders gut die Linea iliopectinea, das Foramen obturatum, die Kontur der Hinterwand, die Beckenschaufel im Querschnitt und der dorsal gelegene Abschnitt der azetabulären Tragfläche betrachtet werden [6, 11].

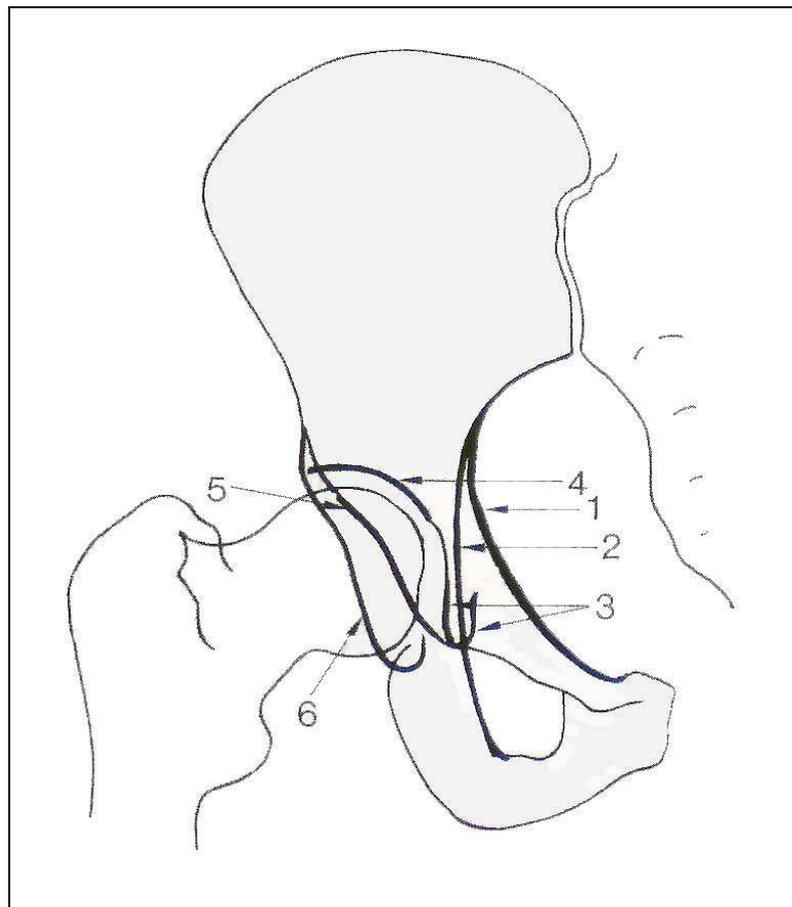


Abbildung 11: radiologische Leitlinien in der a.p.-Aufnahme [22]; 1 – Linea iliopectinea, 2 – Linea ilioischiadica, 3 – Köhler-Tränenfigur, 4 – Pfannendach, 5 – vorderer Pfannenrand, 6 – hinterer Pfannenrand

Für die Diagnosestellung anhand der Beurteilung der Leitlinien in einfachen radiologischen Bildern gilt: Bei Einpfeilerfrakturen ist nur eine Linie (iliopectineal oder ilioischial) unterbrochen. Die Durchtrennung beider Linien bei noch bestehender Verbindung eines Gelenkflächenteils mit dem Ilium spricht für Querfrakturen. Durch die Beurteilung des Obturatorrings können T-Frakturen diagnostiziert werden. Besteht bei beiden unterbrochenen Linien kein Kontakt mehr mit dem Ilium, handelt es sich um Zweipfeilerfrakturen [21].

1.4.3 Erweiterte Diagnostik

Die Computertomographie (CT) ist heutzutage bei der Analyse von Beckenverletzungen ein routinemäßiger Bestandteil [17]. Bei Azetabulumfrakturen sollte die computertomographische Untersuchung immer das ganze Becken umfassen, d.h. von der kranialen Begrenzung des SI-Gelenks bis nach distal zum Tuber ischiadicum. Um eine genaue Beurteilung vornehmen zu können, sollten im Bereich des Azetabulums Schichtabstände von 2-3 mm vorliegen. Vorteilhaft ist, dass die CT-Untersuchung ohne Bewegen oder Drehen des Patienten durchgeführt werden kann [6, 21].

Aufgrund der kontinuierlichen Datenerhebung bei Benutzung der Spiral-CT-Technik können durch Umrechnung des Bilddatensatzes sekundäre Schnittebenen, auch nach Abschluss der Untersuchung, frei festgelegt werden. Diese Darstellungsweise erlaubt es, koronare und sagittale Schnittebenen, aber auch schräge Schnittebenen unterschiedlicher Dicke in beliebiger Anzahl zu erstellen und damit nahezu jede topographische Beziehung zu verdeutlichen [6, 21, 33].

Die CT hat ihre entscheidende Bedeutung in der Feindiagnostik der Azetabulumverletzungen. Durch die überlagerungsfreie und vollständige Darstellung können die Frakturverhältnisse exakt erfasst werden. Sie ermöglicht die Beurteilung des Frakturlinienverlaufs, der Richtung und des Ausmaßes der Dislokation sowie der Kongruenz der Gelenkfläche. Auch Aussagen über gelenktragende Anteile wie das Azetabulumdach und den dorsalen Pfeiler können somit getroffen werden. Sie liefert vor allem zusätzliche Informationen über freie Gelenkkörper, Anzahl und Größe von Pfannenrandfragmenten und marginal impaktierten Fragmenten. Die CT ist nützlich zur Bestimmung von Wandfrakturen und deren Größe und zur Darstellung von Trümmerzonen. Des Weiteren können die Position und osteochondrale Läsionen des Femurkopfes sowie die angrenzenden Weichteile bezüglich Verletzungen beurteilt

werden. Die computertomographische Untersuchung dient ebenso der Verlaufsbeurteilung nach konservativer oder operativer Behandlung [6, 10, 11, 16, 34].

Die Indikation der computertomographischen Untersuchung ist bei allen Azetabulumfrakturen zwischenzeitlich unbestritten. Sie erleichtert die räumliche Beurteilung komplexer Frakturen durch die Möglichkeit der genauen Beschreibung der Fraktur mit allen zusätzlichen Verletzungen. Die Computertomographie ist damit entscheidend für die Diagnose und Behandlung von Azetabulumverletzungen und wichtig für die operative Planung [6, 21, 23, 57].

Die 3-D-Oberflächenrekonstruktion dient als bildliche Zusammenfassung aller bisher gewonnenen Informationen. Sie wird aus einer Reihe von axialen oder koronaren Schnittbildern erzeugt [58]. Dabei ist die Qualität des 3-D-Abbildes abhängig von der Schichtdicke – je feiner die Schnitfführung, desto höher die Auflösung [58, 59]. Strukturen wie der Femurkopf können rechnerisch aus dem Bilddatensatz entfernt werden. Diese Darstellung erlaubt eine bessere räumliche Vorstellung des Frakturverlaufs - überwiegend bei verschobenen Frakturen - da die knöcherne Oberfläche des Os coxae in allen Ebenen des Raumes angesehen werden kann. 3-D-Oberflächen-Rekonstruktionen dienen vor allem der OP-Planung hinsichtlich Zugangswahl, Implantatlage, Reihenfolge der Repositions- und Stabilisierungsschritte und der schnellen intraoperativen Orientierung, beispielsweise bei komplexen Frakturen. Der Nachteil bei der 3-D-Darstellung ist die fehlende Transparenz und somit der Informationsverlust über intraossäre Frakturverläufe [30]. Isoliert betrachtet hat die 3-D-Darstellung ihre Begrenzung [32, 42]. Letztendlich liefert sie keine zusätzlichen Informationen, die nicht bereits im CT gezeigt werden konnten [6, 10, 59].

1.5 Therapie

1.5.1 Allgemein

Azetabulumfrakturen stellen hinsichtlich der Behandlung auf Grund der komplexen knöchernen Beckenanatomie eine große Herausforderung dar [60]. Ziel der Behandlung ist die Wiederherstellung der anatomischen Gelenkverhältnisse der tragenden Azetabulumanteile [10-12, 61]. Um ein optimales funktionelles Resultat und langfristig ein beschwerdefreies Hüftgelenk zu erhalten, sollte eine maximal sichtbare Frakturspaltweite von 1 mm und Kongruenz zwischen Femurkopf und Azetabulum angestrebt werden. Dafür stehen prinzipiell zwei Möglichkeiten zur Auswahl: konservative und operative Therapie, welche beide von mehreren Faktoren abhängig sind. Oft ist eine offene Reposition und Osteosynthese unumgänglich [11-13, 61].

Für die Entscheidungsfindung müssen frakturbestimmte und allgemeine Parameter abgewogen werden. Die Erstgenannten entscheiden, inwieweit überhaupt eine Indikation zur operativen Therapie besteht und ob ein Rekonstruktionsversuch Erfolg versprechend ist – dazu zählen der Frakturtyp, das Ausmaß der verbliebenen Kopfüberdachung und das Vorliegen von so genannten Zusatzpathologien, wie z.B. Hüftkopfverletzungen oder Knorpelimpressionen. Besteht die prinzipielle Indikation zur operativen Rekonstruktion muss abgewogen werden, ob die allgemeinen Parameter, wie das Alter und der Aktivitätszustand des Patienten, sein Allgemeinzustand, die Verletzungsschwere und evtl. vorliegende Begleitverletzungen sowie das „Alter“ der Fraktur, eine operative Rekonstruktion Erfolg versprechend erscheinen lassen. Des Weiteren fließen auch eher technische Parameter, wie chirurgische Durchführbarkeit mit Operationsdauer und Blutverlust in Abhängigkeit des Zugangs und die Rekonstruierbarkeit des Gelenkes in die Entscheidung mit ein. Neben all diesen Überlegungen sollte die Entscheidung - insofern möglich - gemeinsam mit dem Patienten gefällt und der Wunsch des Patienten respektiert werden [6].

Da der gewichtstragende Pfannendachanteil der größte prognostische Indikator bei Azetabulumfrakturen ist, muss für die Therapieentscheidung die Größe und Unversehrtheit des tragenden Azetabulumsegments (Dom) radiologisch ermittelt werden. Um die Kongruenz zwischen Femurkopf und Azetabulum zu beurteilen, hat sich die Vermessung des Azetabulumdachbogens (roof arc) nach Matta bewährt (Abbildung 12). Fehler bei dieser Beurteilung können entstehen, wenn nur die

Beckenübersicht zur Berechnung benutzt wird. Da aber das Azetabulum eine 3D-Struktur ist, sind Schrägaufnahmen notwendig. Beträgt der Roof-Arc-Winkel 45° und mehr in allen drei konventionellen Standardaufnahmen und zeigen Femurkopf und Azetabulum eine konstant gute Kongruenz, so kann die Fraktur konservativ behandelt werden und ein gutes funktionelles Ergebnis ist zu erwarten [8, 23, 62].

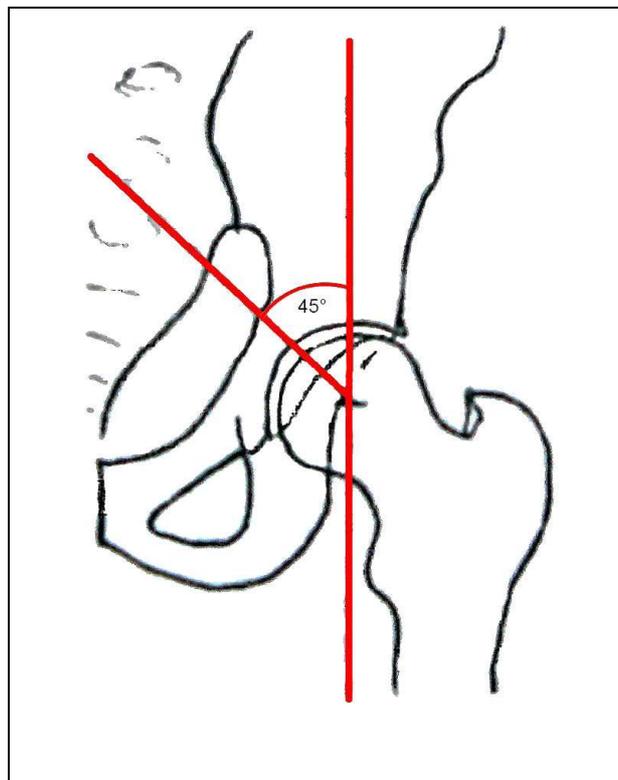


Abbildung 12: Bestimmung des Azetabulumdachbogens nach J. Matta [12]; von der Mittelsenkrechten durch das Hüftgelenk entspricht der 45° -Winkel nach medial dem tragenden Azetabulumsegment

1.5.2 Konservative Therapie

Indikationen zur konservativen Therapie bei Monotraumatisierten und grundsätzlich operationsfähigen Patienten sind [6, 11, 63]:

- undislozierte Frakturen oder gering verschobene ($< 2\text{mm}$) Frakturen mit Gelenkkongruenz
- Hüftgelenk gut zentriert
- stabiles Hüftgelenk, d.h. keinerlei Luxationstendenz
- geringes Dislokationsrisiko der Fragmente
- ausreichende Überdachung des Hüftkopfes (Messung des Azetabulumdachbogens größer 45° in allen drei Standardprojektionen nach Matta)

- „Sekundäre Kongruenz“ bei Zweipfeilerfrakturen (Hüftgelenk in Gesamtheit medialisiert, jedoch Kongruenz des Femurkopfes mit Azetabulum)
- Trümmerbrüche der Hüftpfanne mit fehlender Möglichkeit der Rekonstruktion
- mangelnde OP-Fähigkeit des Patienten.

Bei älteren Patienten ist über eine postprimäre oder frühsekundäre Versorgung mittels Endoprothese als günstigere Alternative zu diskutieren. Bei Polytraumatisierten kann unter Umständen ein semikonservatives Vorgehen mit geschlossener Reposition und temporärer Transfixation des Hüftgelenks mittels gelenküberschreitendem Fixateur externe sinnvoll sein [63].

Grundsätze der konservativen Behandlung sind Reposition, Retention und Rehabilitation. Luxationen des Femurkopfes sollten möglichst frühzeitig, notfallmäßig - spätestens 6-12 Stunden nach dem Trauma - geschlossen reponiert werden, um die Femurkopfdurchblutung zu gewährleisten und somit einer Femurkopfnekrose vorzubeugen. Eine Extensionsbehandlung schließt sich nur bei sehr ausgedehnten Hinterwanddefekten mit großer Tendenz zur Reluxation an [11, 63].

Bei der konservativen Therapie steht die frühfunktionelle Behandlung im Vordergrund. Unter Antiphlogistikagabe und einer Thromboseprophylaxe wird der Patient mit 15 kg Teilbelastung frakturabhängig für sechs bis zehn Wochen mobilisiert. Bei regelmäßigen Röntgenverlaufskontrollen erfolgt die Steigerung der Belastung bis zur Vollbelastung ab der 12. posttraumatischen Woche. Unterstützend kann die Hüftbewegungsschiene zur passiven, kontinuierlichen Bewegung eingesetzt werden. Lange Immobilisationszeiten sind, vor allem bei älteren Menschen, zu vermeiden. Sie können zu erheblichen therapiebegleitenden Komplikationen führen [5, 6].

1.5.3 Operative Therapie

Indikationen zur operativen Therapie sind [6, 8]:

- unzentriertes, inkongruentes Hüftgelenk
- instabiles Hüftgelenk
- erhebliche Diastase (Stufenbildung) im Hüftgelenk und im Bereich des dachbildenden Anteils, Azetabulumdachbogen geringer als 45°
- irreponibel luxiertes Hüftgelenk und/oder Frakturen mit Femurkopffrakturen Pipkin Typ 4

- Pfannenfrakturen mit freiem intraartikulären Fragment.

Notfallindikationen sind Repositionshindernisse, offene Frakturen und instabile Hüftgelenke mit Nervenschäden. Notfallmäßig sollten auch alle irreponiblen und/oder instabilen Hüftkopfluxationen und solche mit gleichzeitiger Femurkopfsegmentfraktur (Pipkin Typ 4) operiert werden. Alle anderen Luxationsfrakturen sind zumindest umgehend zu reponieren [5, 8].

Der OP-Zeitpunkt sollte so früh wie möglich und nicht später als 10-14 Tage nach dem Unfallereignis unter Beachtung der Zusatzverletzungen gewählt werden, da er für die Repositionsqualität eine entscheidende Rolle spielt [8, 16]. Als idealer Versorgungszeitpunkt gilt der dritte bis fünfte Tag posttraumatisch.

Für die jeweilige Diagnose erfolgt eine spezifizierte Operationsplanung, in der entsprechend der Möglichkeit der Lagerung des Patienten bezüglich seiner Begleitverletzungen die Wahl des operativen Zugangs vorrangig ist. Da jeder chirurgische Zugang nur die Darstellung einer begrenzten Region des Beckens und des periazetabulären Bereichs erlaubt, richtet sich die Wahl des richtigen Zugangs in erster Linie nach dem/den involvierten Pfeiler/n und dessen/deren Dislokation/en. In den meisten Fällen können sowohl die Reposition als auch die Stabilisierung mit einem einzigen Zugangsweg durchgeführt werden [8, 11].

Grundsätzlich stehen unterschiedliche operative Zugänge zur Wahl [6, 8, 11, 61]. Die Einteilung erfolgt in *Limitierte* – nur einen bestimmten Bereich des Hüftgelenks zugänglich machend – und *Erweiterte* – annähernd vollständige Darstellung des Hüftgelenks. Letztere werden bei gleichzeitigem Vorliegen von Frakturen des hinteren und vorderen Pfeilers benutzt, die durch einen limitierten Zugang allein nicht ausreichend reponiert und stabilisiert werden können [61].

Zu den *limitierten*, klassischen Zugängen gehören:

1) Der Kocher-Langenbeck-Zugang (dorsal / dorsolateral) (Abbildung 13):

Er wird bevorzugt bei:

- Frakturen der hinteren Wand oder des hinteren Pfeilers
- Frakturen des hinteren Pfeilers mit hinterer Wand
- vielen transversen Frakturen und einigen T-förmigen Frakturen mit vorwiegend dorsaler Dislokation.

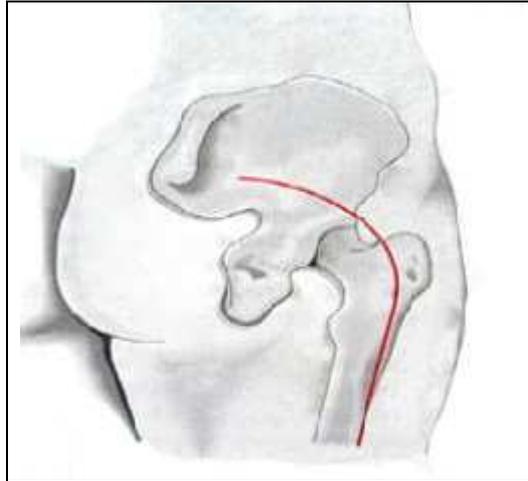


Abbildung 13: dorsaler Zugang [64]

2) Der ilioinguinale Zugang (ventral) (Abbildung 14):

Dieser ermöglicht die Darstellung des gesamten vorderen Pfeilers – bietet jedoch keine direkte Gelenkeinsicht - und wird präferenziell verwendet bei:

- Frakturen der vorderen Wand oder des vorderen Pfeilers
- kombinierten Frakturen des vorderen Pfeilers und der vorderen Wand
- einigen transversen Frakturen sowie den meisten Zweipfeilerfrakturen und Vorderpfeilerfrakturen mit hinterer hemitransverser Komponente.

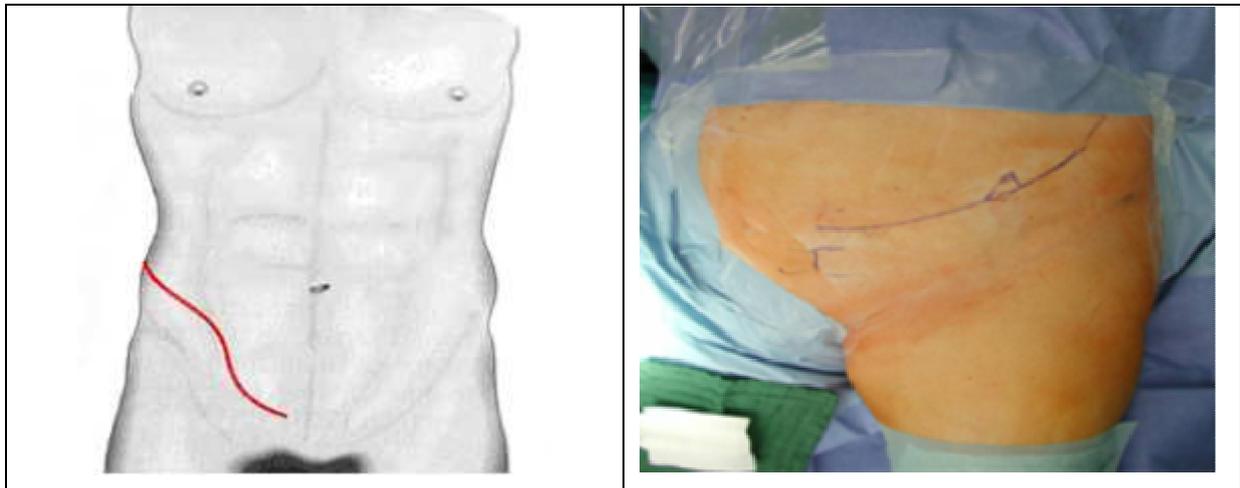


Abbildung 14: ventraler Zugang schematisch und intraoperativ [64]

3) Der iliofemorale Zugang (ventral): Dieser wird benutzt bei [8, 61]:

- reinen vorderen Pfeilerfrakturen evtl. mit Alafraktur/Kombinationsfraktur (vorderer und halb hinterer Querbruch); meistens wird jedoch der ilioinguinale Zugang bevorzugt.

Zu den *erweiterten* Zugängen zählt beispielsweise der erweiterte iliofemorale Zugang (Abbildung 15), der eine komplette Darstellung des hinteren und vorderen Pfeilers, des Iliums lateral und medial bis zum Iliosakralgelenk ermöglicht [61].

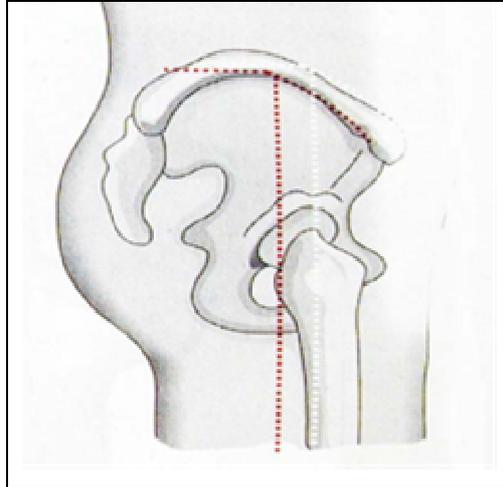


Abbildung 15: erweiterter iliofemoraler Zugang [64]

Frakturen, die wegen des Typs (T-Fraktur oder transverse Frakturen mit starker Dislokation, oft auch kombiniert mit Hinterwandfrakturen und Zweipfeilerfrakturen bis ins Iliosakralgelenk oder den dorsalen Beckenkamm auslaufend) Schwierigkeiten in der Reposition erwarten lassen, werden häufig über diesen Zugang oder zwei verschiedene Zugänge simultan oder sukzessiv mit dem Vorteil einer besseren Zugänglichkeit zum unteren Teil des vorderen Pfeilers operativ versorgt [11]. Die Indikation des ausgedehnten lateralen Zugangs sollte wegen der großen Weichteilexposition und der höheren perioperativen Morbidität auf komplexe und ältere Frakturen beschränkt bleiben [6, 8, 11, 61].

Entscheidend für die Wahl des adäquaten chirurgischen Zugangs ist - neben dem Frakturtyp - das Alter der Fraktur. Azetabulumfrakturen können innerhalb der ersten zwei bis drei Wochen wie frische Frakturen behandelt werden, da die Frakturlinien meistens noch gut erkennbar sind und die Kallusbildung noch recht gering ist. Das Zurückliegen von mehr als drei Wochen macht durch aufwendiges Entfernen von Kallus und ggf. einer Osteotomie die Wahl eines größeren chirurgischen Zugangs notwendig [11].

Um zusätzliche Traumata durch die operative Versorgung der Verletzung so gering wie möglich zu halten, werden zunehmend minimal invasive Zugänge und Verfahren benutzt [65]. Der Einsatz von Navigationssystemen erhöht die Präzision der

operativen Verfahren bei gleichzeitiger Reduzierung der Strahlenexposition. Bildwandler- und CT-gestützt (2D und 3D) können bei undislozierten oder wenig dislozierten Brüchen perkutane Verschraubungen vorgenommen werden, die jedoch auf Grund der komplexen Beckengeometrie hohe technische Ansprüche an den Operateur stellen [65-67].

C) Problemstellung und Zielsetzung

1.1 Problemstellung

Als komplexe Verletzungen bedürfen Azetabulumfrakturen einer exakten bildgebenden Diagnostik, um die Fraktur zu klassifizieren und damit die therapeutischen Möglichkeiten für den Patienten festzulegen.

Bestehende Klassifikationssysteme nach Judet/Letournel und AO basieren auf der Analyse konventioneller Röntgenaufnahmen - Beckenübersichtsaufnahme a.p. und Schrägaufnahmen Ala und Obturator - die jedoch mit Nachteilen verbunden sind:

- Patienten müssen für Schrägaufnahmen umgelagert werden, welches zu Schmerzen führt und bei polytraumatisierten Patienten Risiken birgt [33].
- Anatomische Strukturen können durch die Summationsabbildung, Überlagerungen, Vergrößerungen und Verzerrungen nur eingeschränkt beurteilt werden [15].
- Röntgen – somit auch die CT – führt für den Patienten zu einer erhöhten Strahlenbelastung.

Aufgrund der Weiterentwicklung in der Bildgebung hinsichtlich Spiral-CT und 3-D-Bildnachbearbeitung haben sich die Darstellungsmöglichkeiten erheblich erweitert. Konventionelle Röntgenaufnahmen sollten deshalb in Bezug auf ihre Notwendigkeit kritisch neu beurteilt werden [30]. Da bei Becken- und Azetabulumverletzungen immer eine CT angefertigt wird, sollten Ala- und Obturatoraufnahmen in Frage gestellt werden.

Die Arbeitsgruppe (AG) Becken der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) [68] hat es sich zur Aufgabe gesetzt, im Rahmen prospektiver multizentrischer Studien Richtlinien für die Diagnostik und Behandlung von Becken- und Azetabulumfrakturen zu erarbeiten [69]. Zu den teilnehmenden Kliniken gehört auch das Muskuloskeletale Centrum der Charité [68]. Im Jahr 2005 ergab die klinikinterne Auswertung der 82 dokumentierten und klassifizierten Patienten im Rahmen einer vorbereitenden Studie, dass als Erstdiagnostik stets eine Beckenübersichtsaufnahme angefertigt wurde. Eine weiterführende CT-Diagnostik des Beckens schloss sich bei allen 82 Patienten an. Nur bei drei Patienten wurden die klassischen, konventionellen Röntgenaufnahmen – Ala, Obturator – angefertigt. Bezüglich der Notwendigkeit spezifischer Röntgenaufnahmen beim Vorhandensein einer CT-Diagnostik konnte belegt werden, dass die Klassifizierung von Becken- und/oder

Azetabulumverletzungen anhand der in der Akutversorgung von Schwerverletzten angefertigten Beckenübersichtsaufnahme und den entsprechenden CT-Bildern möglich ist.

Kritisch bleibt demnach der Einwand einiger Autoren zu berücksichtigen, dass auf Schrägaufnahmen nicht verzichtet werden sollte [33, 62, 70, 71]. In der Untersuchung von Ohashi [24] führten Schrägaufnahmen in nur zwei von 101 Fällen zu einer Veränderung der CT-basierten Klassifikation. Der geringe zusätzliche Informationsgewinn bot auch in der Arbeit von Petrisor et al. [25] für die Zuverlässigkeit der Klassifikation unter den Begutachtern keine Verbesserung.

Die CT-Diagnostik mit den Möglichkeiten der Erstellung multiplanarer Rekonstruktionen und der 3-D-Projektion hingegen liefert wichtige diagnostische Informationen und ersetzt zunehmend die Schrägaufnahmen [24, 32, 72, 73]. Sie gehört nach der Beckenübersichtsaufnahme heutzutage bei Verletzungen des Beckens und Azetabulum im Sinne der Feindiagnostik [12] durch bessere Visualisierung des gesamten Verletzungsausmaßes und Beurteilung von Begleitverletzungen zum Standard [15, 30, 31, 33, 74]. Die Computertomographie liefert wichtige diagnostische Informationen mit geringerem Strahlenrisiko [72]. Sie ist in den meisten Kliniken rasch verfügbar und schnell durchführbar, was vor allem in der Versorgung von Polytraumatisierten von großer Bedeutung ist.

Geläufige Einteilungen nach Judet/Letournel und AO unterliegen einer stark differierenden interpersonellen und intrapersonellen Klassifizierung [25, 38]. Deshalb werden Klassifikationssysteme benötigt, die auf computertomographischen Bilddaten basieren. Mittels 2-D-Projektionen und 3-D-Rekonstruktionen kann die Qualität der Klassifikation gesteigert und die Reproduzierbarkeit erhöht werden [28, 31, 40]. In der Untersuchung von Ohashi et al. fanden sich in 72% der Klassifikationen höhere Übereinstimmungen bei der Nutzung von Multidetektor-CT-Bildern gegenüber Röntgenbildern allein [24]. Insbesondere für unerfahrene Kollegen und unspezialisierte Zentren scheint eine CT-basierte Klassifikationsmethode von Vorteil zu sein [15], um nicht nur in Notfallsituationen ohne Zeitverzögerung Frakturen exakt klassifizieren zu können.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die bestehende Klassifikation von Azetabulumfrakturen nach Judet und Letournel durch die Vorteile der computertomographischen Schichtdarstellung zu ergänzen.

In dieser Arbeit wird überprüft inwiefern es möglich ist, Azetabulumfrakturen mittels Beckenübersichtsaufnahme und ausgewählten CT-Schichten ohne Verwendung von speziellen Röntgenaufnahmen nach dem System von Judet und Letournel zu klassifizieren. Dafür wurde eine CT-basierte Klassifikationshilfe entwickelt, klinisch erprobt und durch Mitglieder der AG Becken der DGU evaluiert. Es sollen Standard-CT-Schichten etabliert und die Grenzen erarbeitet werden.

D) Material und Methoden

1.1 Patientengut

Das zu Grunde liegende Patientengut erstreckt sich über einen Zeitraum von mehr als zwei Jahren. Im Rahmen einer Multicenterstudie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) wurden in mehreren großen, deutschen unfallchirurgischen Kliniken im Jahr 2005 1128 Fälle und im Jahr 2006 1051 Fälle mit Becken- und/oder Azetabulumverletzungen dokumentiert. Das Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie, Klinik für Orthopädie, Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie an der Charité in Berlin zählte 2005 82 Patienten und 2006 119 Patienten mit Becken- und Azetabulumfrakturen [75].

Unter den insgesamt 201 Patienten fand sich folgende Verteilung der Verletzungen (Tabelle 2):

- Becken isoliert: 126 Patienten,
- Azetabulum isoliert: 44 Patienten, davon 1 Patient beidseitig und
- 28 Patienten mit kombinierten Verletzungen.

In Jahr 2005 entfielen dabei 51 Verletzungen auf das Becken, 16 isoliert auf das Azetabulum und in 15 Fällen lagen kombinierte Becken- und Azetabulumverletzungen vor.

Von den im Jahr 2006 Erfassten verletzten sich 75 isoliert am Becken, 28 isoliert am Azetabulum, 1 davon beidseits und in 2 Fällen handelte es sich um periprothetische Frakturen. 13 Patienten hatten eine Kombination aus Becken- und Azetabulumverletzung.

	2005	2006	Gesamt
Becken	51	75	126
Azetabulum			
- einseitig	16	28	44
- beidseitig	0	1	1
- periprothet.	0	2	2
Kombination	15	13	28
Gesamt	82	119	201

Tabelle 2: Anzahl der Verletzungen im Patientenpool – Verteilung für die Jahre 2005 und 2006 [75]

Entsprechend der Unterteilung der Azetabulumfrakturen nach Frakturtypen gemäß Judet und Letournel ergab sich für den Patientenpool folgende Häufigkeitsverteilung (Abbildung 16):

Die meisten Frakturen mit insgesamt 26 % betrafen den vorderen Pfeiler, gefolgt von der Kombination mit der hinteren Querfraktur in 22 % und der Zwei-Pfeiler-Fraktur mit 16 %. In absteigender Häufigkeit fanden sich Frakturen der hinteren Wand (9 %), Frakturen des hinteren Pfeilers und Frakturen der vorderen Wand mit jeweils 8 %. Querfrakturen traten in 5 % auf. Die Kombination von hinterem Pfeiler mit hinterer Wand wurde bei 4 % beobachtet. Die wenigsten Frakturen mit jeweils 1 % entfielen auf die Typen Querfraktur mit hinterer Wand und T-Fraktur.

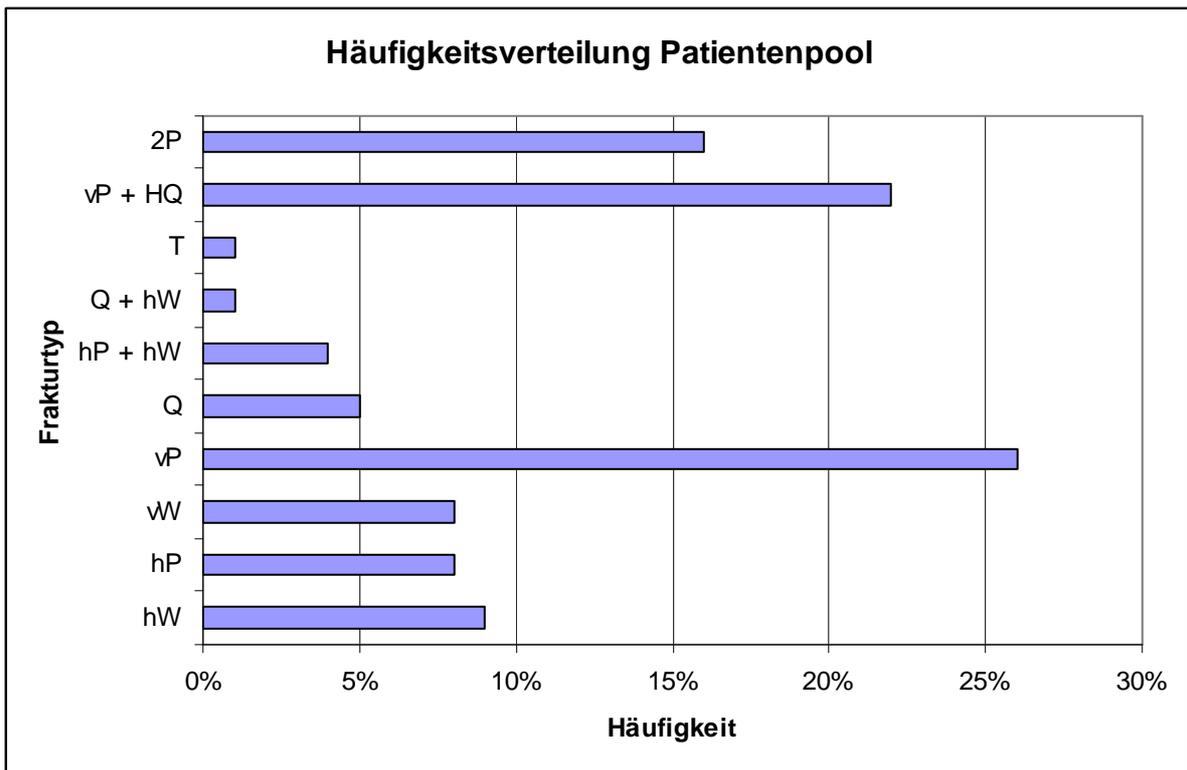


Abbildung 16 : Häufigkeitsverteilung der Frakturtypen im Patientenpool

In mehreren großen Studien wurde die Verteilung der Häufigkeiten der verschiedenen Frakturtypen nach Judet und Letournel untersucht. Vergleichend zu unserer Darstellung fanden sich dabei in der Untersuchung von Letournel 1993 Frakturen der hinteren Wand, Zweipfeilerfrakturen und Querfrakturen mit Beteiligung der hinteren Wand am häufigsten. Die AG Becken beschrieb 1998 die häufigsten Frakturen für den Typ Zwei-Pfeiler-Fraktur, gefolgt von Querfrakturen und Frakturen des Typs hintere Wand (Abbildung 17) [6].

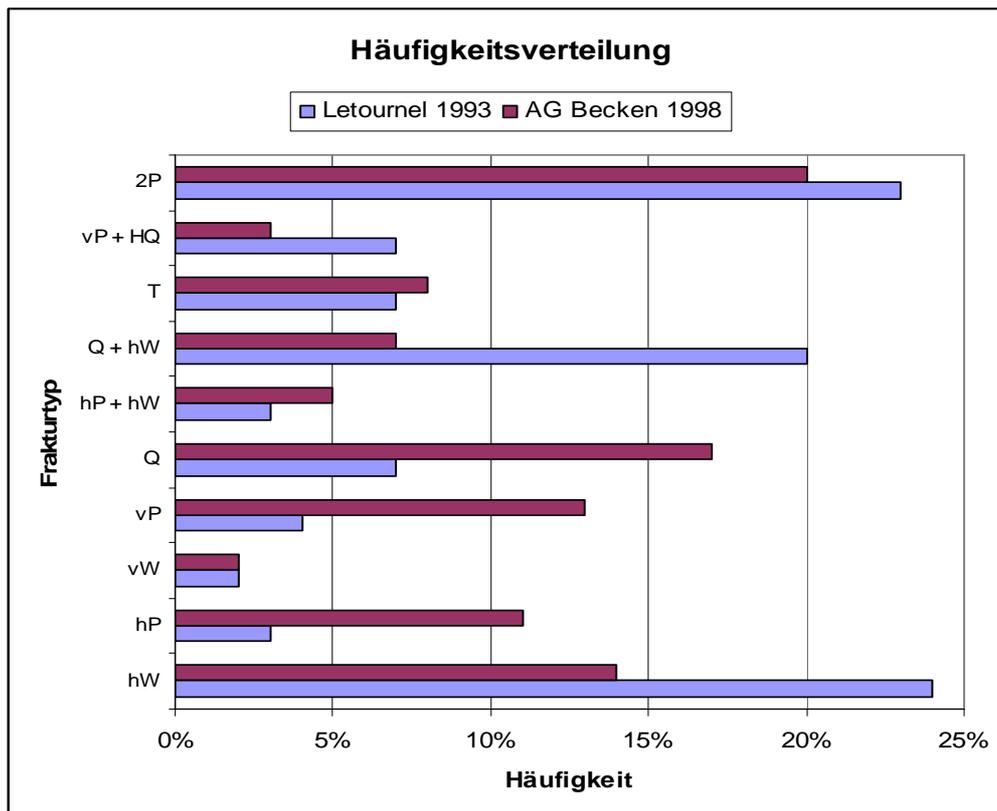


Abbildung 17 : Häufigkeitsverteilung nach Frakturtypen zweier großer Untersuchungen [6]; Letournel mit n=940 Patienten, AG Becken mit n=503 Patienten

Eine ähnliche Verteilung stellten auch Rommens et al. 1997 in ihrer Untersuchung von 175 Fällen fest. Darin waren Frakturen der hinteren Wand, Querfrakturen mit hinterer Wand, T-Frakturen, Zweifelderfrakturen und Querfrakturen am häufigsten [76].

Im Laufe der Zeit scheint es zu Änderungen in der Verteilung zu kommen. Wie auch unsere Häufigkeitsverteilung zeigt, nahmen Frakturen der hinteren Wand durch verbesserte Sicherungssysteme im Straßenverkehr ab, hingegen scheinen die komplizierteren, zusammengesetzten Frakturtypen zuzunehmen [6, 51].

1.2 Interne Evaluation

Im Rahmen der Akutversorgung wird im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie von allen verunfallten Patienten, bei denen der Verdacht auf eine Azetabulumfraktur besteht, als diagnostische Grundlage eine Beckenübersichtsaufnahme a.p. erstellt. Zum Ausschluss von Zusatz- und Begleitverletzungen erhalten die Patienten eine so genannte Traumaspirale. Dabei wird eine Computertomographie von der Schädelbasis bis zum Trochanter minor in 1,25 mm Schichtdicke angefertigt. Je nach Verfügbarkeit steht dafür ein 16-Zeiler-Computertomograph (Siemens) bereit. Mit

Hilfe einer Workstation werden die Bilddaten der Computertomographie bearbeitet und mit einer Auflösung von 512 x 512 Bildpunkten dargestellt. Für alle 201 Patienten, die 2005 und 2006 aufgrund des Verdachtes oder einer bestehenden Azetabulumverletzung im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité untersucht worden sind, wurde die entsprechend angefertigte Bildgebung herausgesucht und zur Klassifikation der Fraktur herangezogen. Die Interpretation der Bilder erfolgte im Team erfahrener Unfallchirurgen. Bei der Durchsicht der Computertomogramme erwiesen sich acht CT-Schichten als charakteristisch, welche im Folgenden evaluiert werden sollen.

Zunächst konnte somit die CT-basierte Klassifikationshilfe für Azetabulumfrakturen hausintern getestet werden, bevor sie Mitgliedern der AG Becken der DGU zur externen Evaluation vorgelegt wurde.

1.3 Definition der CT-Schichten

Entsprechend der Fragestellung erfolgte mit Hilfe einer vollständigen Computertomographie eines gesunden Beckens - nach zuvor genannten Kriterien angefertigt - die Festlegung auf acht charakteristische CT-Schichten. Aufgrund langjähriger Erfahrungen in der Diagnostik und Behandlung von Azetabulumfrakturen sollten aussagekräftige Schichten ausgewählt werden, welche für die Klassifikation von Azetabulumfrakturen durch die Abbildung anatomischer Leitstrukturen notwendig sind.

In der Vergangenheit hatten sich für die Frakturanalyse folgende typische Strukturen „axialer“ Computertomogramme von Becken und Azetabulum bewährt, die für uns eine Orientierung darstellten [6, 29, 77]:

- a) in Höhe des SI-Gelenks,
- b) kranial der Gelenkfläche zur Beurteilung des vorderen Pfeilers,
- c) im Bereich des Pfannendachs für Quer- und Pfeilerfrakturen,
- d) in Höhe der Fossa acetabuli zur Darstellung der vorderen und hinteren Wand
- e) am kaudalen Rand des Azetabulums am Übergang zum Foramen obturatum für hintere Pfeiler- und T-Frakturen.

Insgesamt verteilen sich die ausgewählten acht CT-Darstellungen auf fünf axiale Schichten von kranial nach kaudal und zusätzlich zwei koronare und eine sagittale Schichtung. Für die Beschreibung der einzelnen Schichten war es wichtig, diese

unabhängig vom Hüftkopf zu definieren, da durch Luxationen das Auffinden dieser Schicht erschwert

werden könnte. Im Einzelnen lassen sich diese wie folgt anatomisch beschreiben:

Schicht 1 liegt in der axialen Ebene am weitesten kranial und befindet sich in Höhe des kaudalen Anteils des Sakroiliakgelenks (SI-Gelenk) an der Oberkante der Spina iliaca anterior superior. Die Darmbeinschaukel wird beidseits abgebildet (Abbildung 18). Sie dient der Beurteilung der Intaktheit der SI-Gelenke und möglicher Ausstrahlungen von Zwei-Pfeilerfrakturkomponenten.

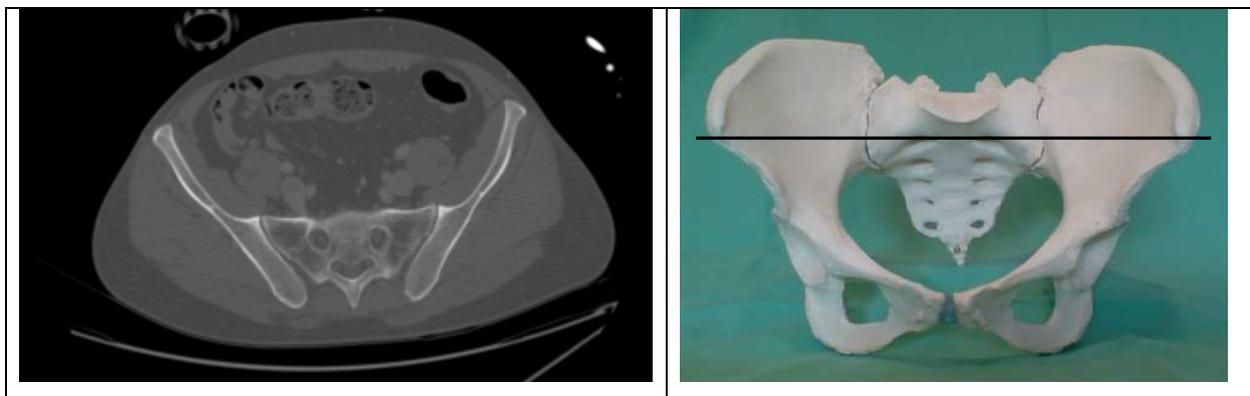


Abbildung 18: Schicht 1 – CT-Bild und schematisch

Schicht 2 kennzeichnet die axiale Darstellung der Spina iliaca anterior inferior des Iliums (Abbildung 19). Anhand dieser Schicht können Quer- und Pfeilerfrakturen beurteilt werden.

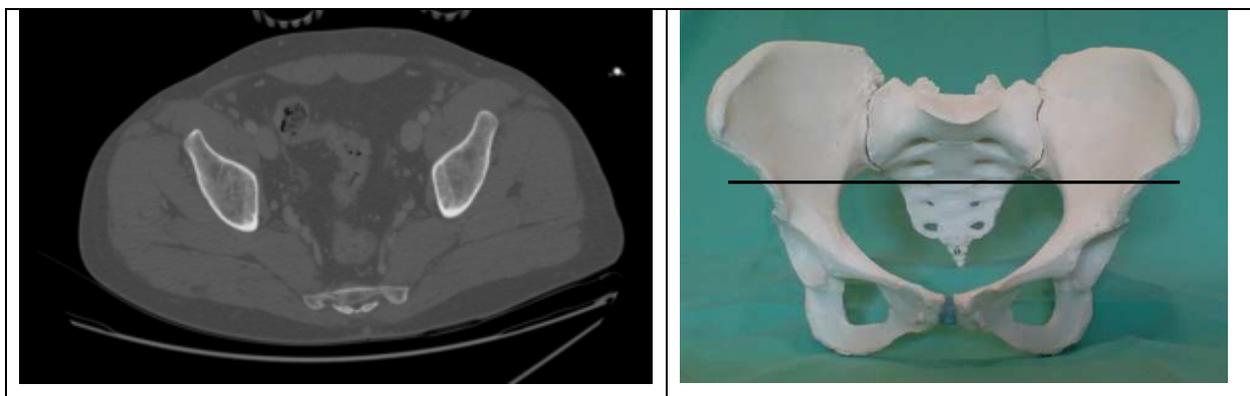


Abbildung 19: Schicht 2 – CT-Bild und schematisch

Charakteristisch für *Pfeilerfrakturen* sind Frakturlinien mit ihrem transversalem Verlauf von medial nach lateral in den axialen Schichten sowie die eindeutige Darstellung in der sagittalen Ebene (Abbildung 20, Abbildung 21).

Kennzeichnend für *Querfrakturen* ist ein Verlauf von anterior nach posterior in der transversalen Ebene, besonders in Schicht 3 zu erkennen (Abbildung 20, Abbildung 21). In Kombination mit hinteren Wandfrakturen zeigen sich die zusätzlichen Pathologien in Schicht 3 und 4 sowie der sagittalen Abbildung (siehe hintere Wand).

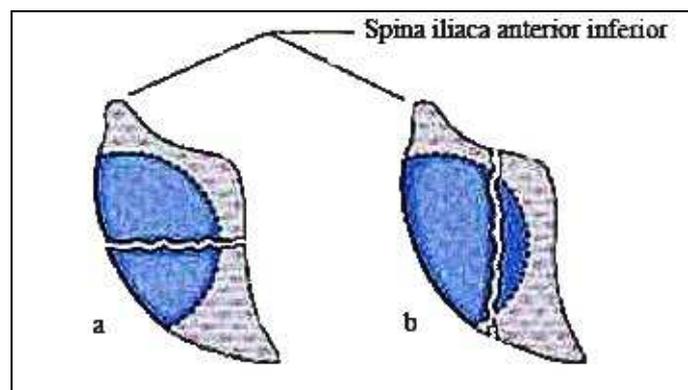


Abbildung 20: schematische Darstellung eines axialen CT-Schnitts durch das Azetabulumdach rechts [11]; a – Frakturverlauf überwiegend in frontaler Ebene entsprechend einer vorderen Pfeilerfraktur, b – Frakturverlauf überwiegend in sagittaler Ebene entsprechend einer transversen Frakturform

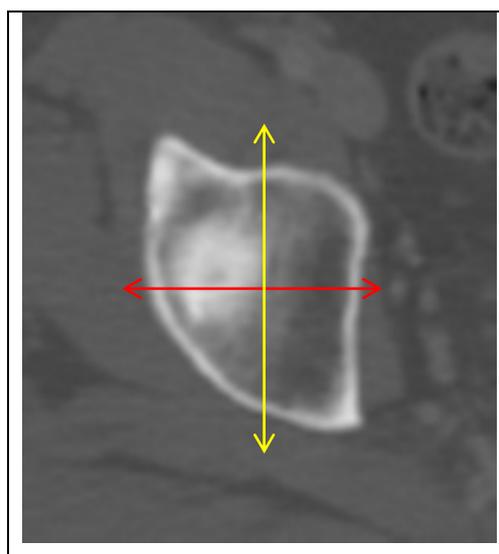


Abbildung 21: Frakturverläufe in axialen CT-Schnitten – rot: Frakturen des vorderen Pfeilers, gelb: Querfrakturen [78]

Schicht 3 liegt ebenfalls in der axialen Ebene und bildet das Hüftpfannendach ab. Höhengleich stellt sich am hinteren Bildrand das Os coccygis dar (Abbildung 22). Impaktionen im Dachbereich können anhand dieser Schicht beurteilt werden.

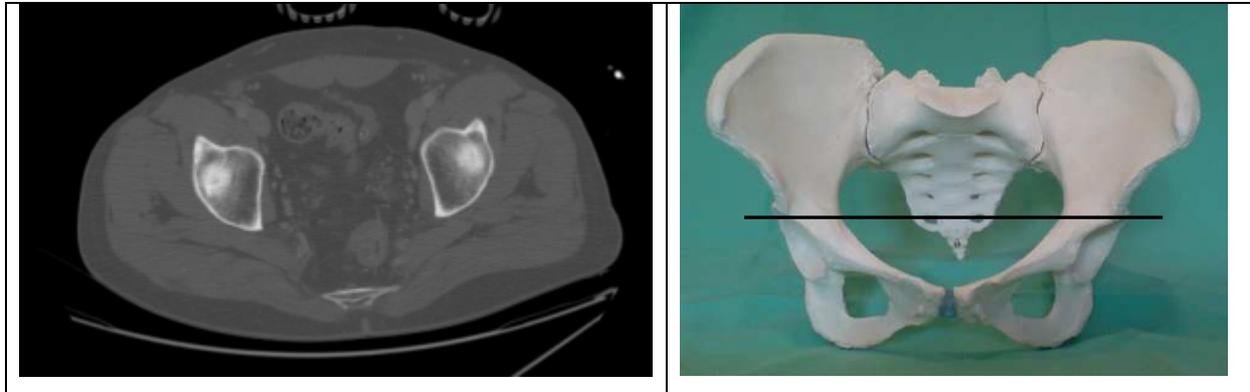


Abbildung 22: Schicht 3 – CT-Bild und schematisch

Typischerweise stellt sich der kombinierte Frakturtyp *vordere Wand/Pfeiler und hintere hemiquere Fraktur* durch den Verlauf der vorderen Pfeilerkomponente in den axialen Schichten mit der zusätzlich nach dorsal gerichteten Querkomponente überwiegend in Schicht 3 dar. Die sagittale Abbildung verdeutlicht ebenfalls die Frakturlinien.

Schicht 4 zeigt das Azetabulum axial im größtmöglichen Querschnitt vom vorderen bis zum hinteren Pfeiler mit der typischen Einkerbung durch die Fossa acetabuli. Kennzeichnend sind die Darstellung des Femurkopfes, der Anschnitt des Trochanter majors und die Spitze des Os coccygis. Im Normalfall stellt sich der Hüftkopf im größten Durchmesser dar, Ausnahmen sind hier Luxationen im Hüftgelenk (Abbildung 23). Sie dient vorrangig der Beurteilung von Verletzungen an der vorderen und hinteren Wand sowie einer Medialisierung und Protrusion des Hüftkopfes.

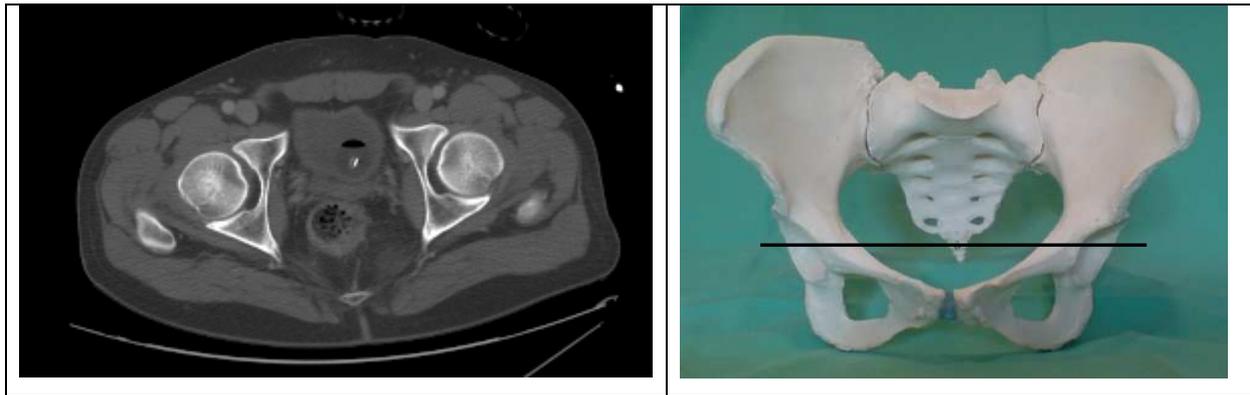


Abbildung 23: Schicht 4 – CT-Bild und schematisch

Frakturen der *hinteren Wand* sind in Schicht 3 und Schicht 4 sowie in der sagittalen Abbildung am deutlichsten sichtbar. In den axialen Schichtungen zeigen diese Verletzungen einen markanten diagonalen Verlauf von medial nach lateral im dorsalen Anteil des Azetabulums. Analog dazu verlaufen im anterioren Anteil des Azetabulums Frakturen der *vorderen Wand* (Abbildung 24).

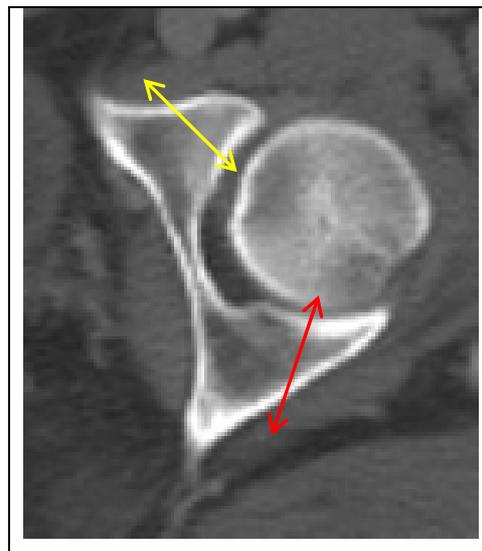


Abbildung 24: Frakturverläufe in axialen CT-Schnitten – gelb: Frakturen der vorderen Wand, rot: Frakturen der hinteren Wand [78]

Schicht 5 bildet in der axialen Ebene den kaudalen Azetabulumrand ab. Sie zeigt sowohl den Ramus inferior ossis pubis (unterer Schambeinast) als auch den Ramus ossis ischii (Sitzbeinast) (Abbildung 25). Eine Frakturbeteiligung des Foramen obturatum kann beurteilt werden.

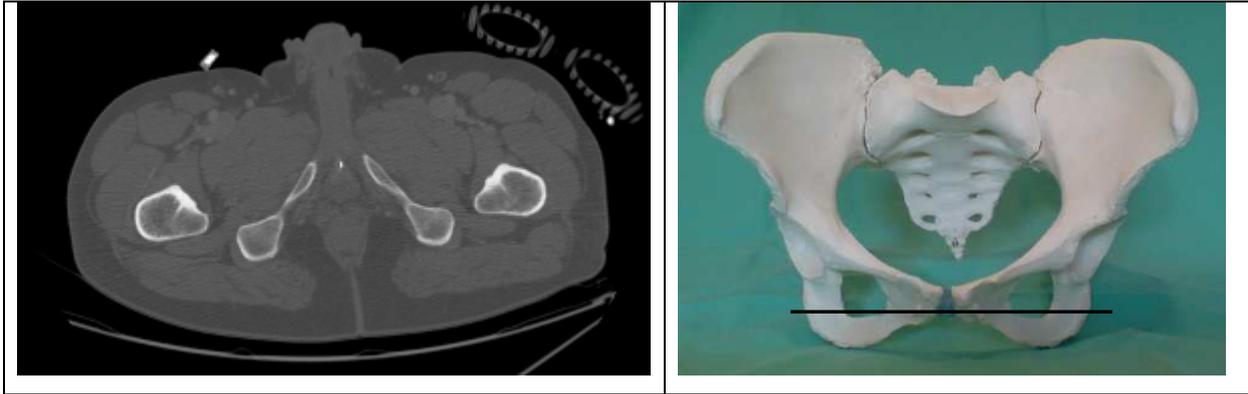


Abbildung 25: Schicht 5 – CT-Bild und schematisch

Schicht 6 bildet das Hüftgelenk koronar im größtmöglichen Durchmesser ab. In der gleichen Ebene erstreckt sich der vordere Pfeiler von der Crista iliaca (Beckenkamm) bis zum Os pubis (Schambein) (Abbildung 26). Sie dient der Beurteilung des Hüftkopfes und des Pfannendachbereichs.

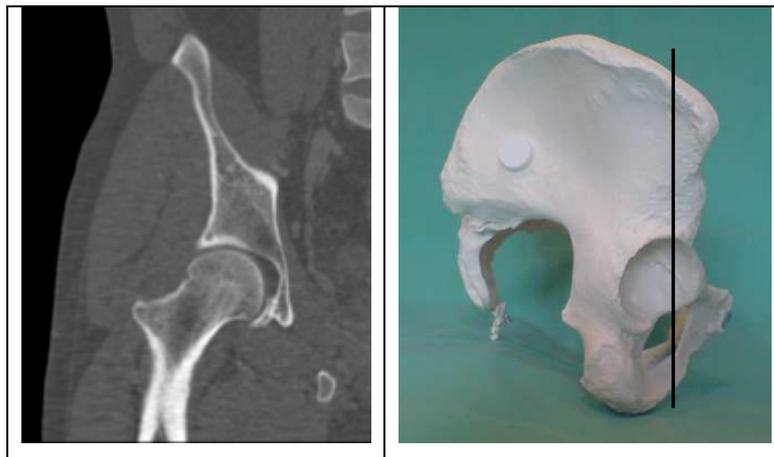


Abbildung 26: Schicht 6 – CT-Bild und schematisch

Schicht 7 zeigt koronar die gesamten Strukturen des hinteren Pfeilers von der Crista iliaca (Beckenkamm) bis zum Tuber ischiadicum (Sitzbein) am dorsalen Azetabulumrand (Abbildung 27). Anhand dieser Schicht können Aussagen über den hinteren Pfeiler getroffen werden.

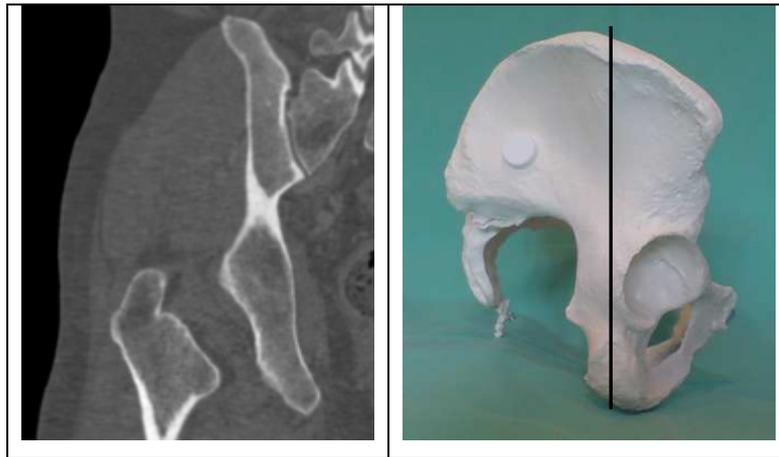


Abbildung 27: Schicht 7 – CT-Bild und schematisch

Schicht 8 liegt in der sagittalen Ebene zur Abbildung des Hüftgelenks in der maximalsten Ausdehnung. Ebenfalls stellt sich der hintere Pfeiler vom Beckenkamm bis zum Sitzbein dar (Abbildung 28). Sie erlaubt die Beurteilung des supraazetabulären Pfannendachbereichs und der Gelenkkongruenz.

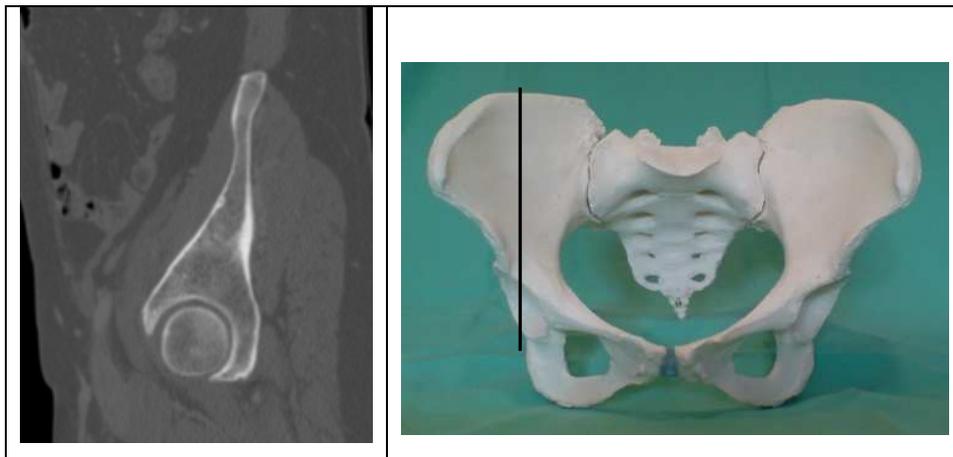


Abbildung 28: Schicht 8 – CT-Bild und schematisch

Bei *Zweipfeilerfrakturen* zeigen sich Frakturlinien in allen definierten Schichten mit der charakteristischen kompletten Separation des Azetabulums vom Ilium.

1.4 Selektion von zwölf Patienten für die Arbeitsgruppe

Aus dem Patientengut der Multicenterstudie 2005/2006 wurden alle Patienten mit typischen, vorrangig isolierten Frakturen des Azetabulums ausgewählt. Ausschlaggebend waren dabei markante Frakturverläufe mit dem Ziel alle Frakturtypen nach Judet und Letournel abdecken zu können, um ein allumfassendes

Ergebnis zu erhalten. Eine Einschränkung erfolgte nach folgenden Kriterien: für alle Patienten mussten initial eine röntgenologische Beckenübersichtsaufnahme a.p. sowie eine Computertomographie des Beckens beziehungsweise des verletzten Hüftgelenks mit allen definierten CT-Schichten vorhanden sein.

Von den verbliebenen Patienten fiel die endgültige Auswahl auf insgesamt zwölf Fälle. Einer davon wies neben der Azetabulumfraktur auch eine begleitende Verletzung des Beckens auf.

1.5 Klinische Daten der ausgewählten Patienten

1.5.1 Alters- und Geschlechtsverteilung

Unter den ausgewählten Patienten fanden sich neun Männer und drei Frauen. Das Durchschnittsalter betrug 50,8 Jahre bei einer Altersspanne von 20-86 Jahren. Wie Tabelle 3 verdeutlicht waren dabei die Männer mit 49,3 Jahren im Vergleich zu den Frauen mit 55,3 Jahren durchschnittlich etwas jüngeren Alters.

Patienten	n	Durchschnittsalter	Altersspanne
Gesamt	12	50,8	20-86
Männlich	9	49,3	25-81
Weiblich	3	55,3	20-86

Tabelle 3: Alters- und Geschlechtsverteilung – Altersangaben in Jahren

1.5.2 Ätiologie und Unfallstatistik

Bei sieben Patienten (58,3 %) wurde die Azetabulumfraktur durch einen Sturz verursacht. Dabei konnte zwischen Stürzen aus großer Höhe und Stürzen in häuslicher Umgebung beziehungsweise bei sportlichen Aktivitäten unterschieden werden. Die restlichen fünf Patienten (41,7 %) waren in Verkehrsunfälle verwickelt. Die Azetabulumfrakturen entstanden entweder im Rahmen von PKW-Unfällen oder die Patienten wurden als Fahrradfahrer von einem PKW erfasst und verletzt. Ein Patient verunglückte mit einem Motorrad (Tabelle 4).

Ätiologie		n von 12	%
Stürze	gesamt	7	58,3
	aus großer Höhe	3	25
	in häuslicher Umgebung/ beim Inlineskaten	4	33,3
Verkehrsunfälle	gesamt	5	41,7
	mit PKW	2	16,7
	Als Fahrradfahrer	2	16,7
	mit Motorrad	1	8,3

Tabelle 4: Ätiologie der Azetabulumfrakturen der untersuchten Patientenfälle

1.6 Erarbeiten des Fragebogens

Für die Auswertung der Untersuchung wurde ein Fragebogen entwickelt (Abbildung 29). Ziel war es, eine schnelle, übersichtliche und einheitliche Bewertung der zwölf Patientenfälle zu gewährleisten.

Jeder Beurteiler hatte die Möglichkeit entsprechend der Einteilung von Azetabulumfrakturen nach Judet und Letournel zwischen zehn Frakturtypen auszuwählen. Jedem Patientenfall sollte ein Frakturtyp eindeutig zugeordnet werden. Des Weiteren konnten fallspezifische Bemerkungen notiert werden.

Auf dem Fragebogen wurden vier Zusatzfragen formuliert, die zur Einschätzung der CT-basierten Klassifikationshilfe in ihrer Gesamtheit dienten. Dabei wurde zum einen nach der ausreichenden Darstellung und nach der Erforderlichkeit von weiteren CT-Schichten, zum anderen nach der Notwendigkeit von Ala- und Obturatoraufnahmen zur Klassifikation gefragt.

Außerdem wurde die klinische Erfahrung eines jeden Beurteilers mittels Angabe des Weiterbildungsstatus (Assistenz- oder Facharzt) und der Anzahl der selbst chirurgisch versorgten Azetabulumfrakturen (keine, < 20 oder > 20) dokumentiert.

Klassifikation von Azetabulumfrakturen anhand definierter CT-Schichten – Auswertungsblatt

Ihre klinische Erfahrung?		AA (LW.)	FA	OA	Anzahl der selbst operierten Azetabulumfrakturen?	Keine	< 20	> 20			
Frakturtypen nach Judet und Letournel											
Elementare Frakturtypen			Kombinierte Frakturtypen								
Pat.	Hint. Wand	Hint. Pfeiler	Vord. Wand	Vord. Pfeiler	Querfx.	Hint. Wand + hint. Pfeiler	Querfx. + hint. Wand	T-Fx.	Vord. Wand/Pfeiler + hint. hemiquere Fx.	Zwei-Pfeiler-Fx	Bemerkungen
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
Ist aus Ihrer Sicht die Darstellung so ausreichend?			Ja						Nein		
Sind aus Ihrer Sicht weitere CT-Schichten erforderlich?			Ja						Nein		
Wenn Ja, welche?											
Bräuchten Sie Ala-/Obturatoraufnahmen zur Klassifikation?			Ja						Nein		

Für weitere Bemerkungen und Kritik benutzen Sie bitte die Rückseite! Vielen Dank für Ihr Bemühen!

Abbildung 29: Fragebogen zur Auswertung der Frakturklassifikation und zur Evaluation der CT-basierten Klassifikationshilfe

1.7 Demonstration der anonymisierten Patienten

Im Rahmen eines Treffens der AG Becken II der DGU an der Charité im November 2006 erfolgte die anonymisierte Evaluation. Zuvor wurden allen Mitgliedern das Klassifikationssystem und die Untersuchung in einem kurzen Vortrag erläutert. Die patientenbezogenen, anonymisierten Bilddaten, bestehend aus der Beckenübersichtsaufnahme und den CT-Schichten, lagen in Folienform vor und wurden von allen Begutachtern separat und unabhängig voneinander an einem Röntgenscreen betrachtet. Dabei erfolgte zeitgleich die Präsentation von der Beckenübersichtsaufnahme und den dazugehörigen acht CT-Schichten für jeden Fall einzeln. Die Beurteilung erfolgte anhand des Fragebogens (Abbildung 29) anonym.

1.8 Auswertung der Frakturklassifikation

Zunächst wurden die ausgewählten Patientenfälle im Team klassifiziert und somit eine Referenzklassifikation festgelegt. Die Auswertung der externen Ergebnisse erfolgte dann in Bezug auf unsere Referenzklassifikation. Dabei wurde zwischen absoluter Übereinstimmung und Abweichung von der Referenz unterschieden. Hinsichtlich der Abweichung erfolgte eine weitere Differenzierung in eine abweichende Klassifikation, die keine Auswirkungen auf den operativen Zugang hatte und eine Abweichung, die Veränderungen im operativen Zugang mit sich zog (siehe 1.5.3). Zur Vereinfachung der Auswertung wird für Letzteres der Begriff Fehlklassifikation, stets bezogen auf unsere Referenzklassifikation, benutzt. Dieser Begriff bezieht sich nur auf die Auswertung dieser Studie und dient der Vereinfachung und dem leichteren Verständnis.

E) Ergebnisse

1.1 Externe Evaluationsgruppe

Vierzehn Mitglieder mit unterschiedlichem Erfahrungsgrad und Weiterbildungsstatus aus der Arbeitsgruppe Becken der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie bildeten die externe Evaluationsgruppe.

Darunter fanden sich fünf Assistenzärzte und neun Oberärzte aus dem Fachgebiet der Unfall- und Wiederherstellungschirurgie aus verschiedenen unfallchirurgischen Kliniken Deutschlands.

Hinsichtlich der operativen Erfahrungen in der Versorgung von Azetabulumfrakturen hatten fünf Beurteiler, vier Assistenzärzte und ein Oberarzt, noch keine Azetabulumfraktur eigenständig operiert. Vier Begutachter, ein Assistenz- und drei Oberärzte, wiesen weniger als 20 selbst operativ versorgte Azetabulumfrakturen auf. Die größte chirurgische Erfahrung mit mehr als 20 Operationen frakturierter Azetabula hatten fünf Oberärzte.

1.2 Interne Evaluation

Bei der Betrachtung der zwölf Fälle im Team der Unfallchirurgen des Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité ergaben sich folgende Frakturklassifikationen nach Judet und Letournel (J/L) für die ausgewählten Patientenfälle (PF) (Tabelle 5), wobei Doppelnennungen der Frakturtypen erlaubt waren:

Patientenfall	Frakturtyp nach Judet und Letournel
1	Vorderer Pfeiler (kaum disloziert)
2	Vorderer Pfeiler mit hinterer Hemiquerfraktur
3	Querfraktur mit hinterer Wand
4	Hintere Wand
5	Vorderer Pfeiler
6	Zweipfeilerfraktur
7	T-Fraktur
8	Hinterer Pfeiler mit hinterer Wand
9	Vorderer Pfeiler mit hinterer Hemiquerfraktur
10	Hintere Wand
11	Vorderer Pfeiler
12	Zweipfeilerfraktur mit Beckenverletzung

Tabelle 5: Ausgewählte Patientenfälle mit dazugehöriger Referenzklassifikation

Für die Klassifikation zeigen sich bei den einzelnen Frakturtypen die zuvor genannten charakteristischen Merkmale hinsichtlich des Frakturverlaufs und der Darstellung in den definierten CT-Schichten. Tabelle 6 stellt die von uns untersuchten Frakturtypen der zwölf Fälle bezüglich der Erscheinung von Frakturlinien auf den unterschiedlichen CT-Schichten gegenüber.

PF	Frakturtyp	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
1	vP	X	X	X	X	X	X		X
2	vP+hHQ		X	X	X	X	X	X	X
3	Q+hW			X	X			X	X
4	hW		X	X	X			X	X
5	vP	X	X	X	X	X	X	X	X
6	2P	X	X	X	X	X	X	X	X
7	T	X	X	X	X	X	X	X	X
8	hP+hW		(X)	X	X			X	X
9	vP+hHQ	X	X	X	X		X	X	X
10	hW		(X)	X	X			(X)	X
11	vP	X	X	X	X	X	X		X
12	2P+Becken		X	X	X	X	X	X	X

Tabelle 6: Patientenfall, Frakturtyp und das Auftreten von Frakturlinien in den definierten CT-Schichten; X – Frakturlinie vorhanden, (X) – Fragment vorhanden, S – Schicht, hW – hintere Wand, vP – vorderer Pfeiler, vW/P+hHQ – vordere Wand/Pfeiler + hintere Hemiquer, Q – Querfraktur, 2P - Zweipfeilerfraktur

Die markanten Frakturverläufe als frakturtypspezifische Charakteristika werden im Folgenden an einigen unserer Patientenfällen (PF) demonstriert. Dabei bestimmte sowohl die allgemeine Häufigkeit des Frakturtyps als auch das wiederholte Vorkommen von Frakturtypen in unseren Patientenfällen die Auswahl. Beispielhaft werden sowohl einfache als auch komplexe Frakturtypen vorgestellt.

Beispiel 1 (Abbildung 30) zeigt den elementaren Frakturtyp hintere Wand. Die dorsale Azetabulumbegrenzung ist unterbrochen, ein Teil des Margo acetabularis bricht aus. Am deutlichsten ist dieses in den axialen Schichten S3 und S4 sowie in S7 koronar und S8 sagittal zu erkennen. Je nach kranialen Verletzungsausmaß kann die Frakturlinie auch in S2 sichtbar sein.

Beispiel 1 (PF 4) – elementarer Frakturtyp *hintere Wand* nach J/L

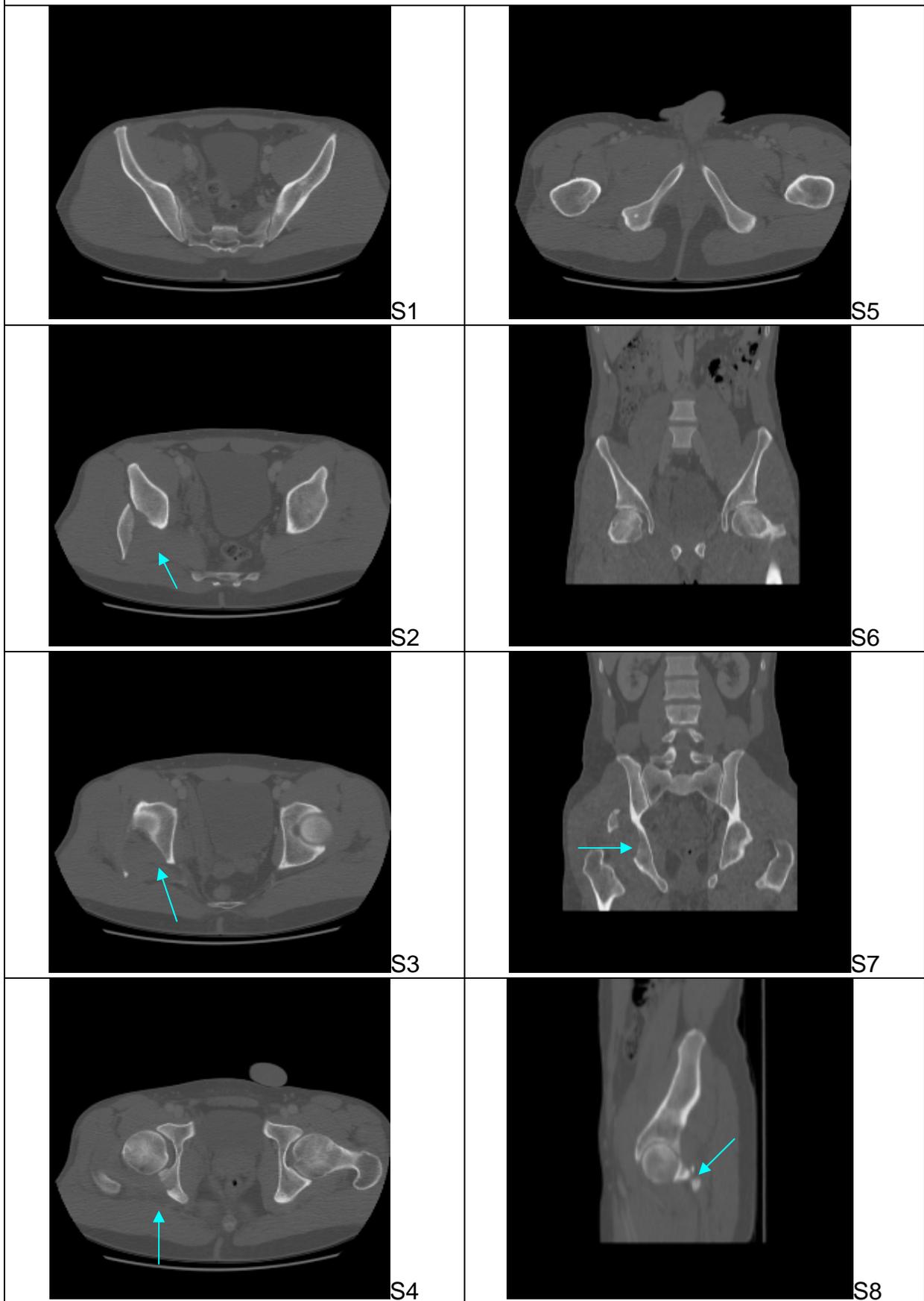


Abbildung 30: Beispiel 1 – elementarer Frakturtyp hintere Wand

Beispiel 2 (Abbildung 31) zeigt den elementaren Frakturtyp vorderer Pfeiler. Charakteristisch für diesen Typ verläuft die Frakturlinie von medial nach lateral in den axialen Schichten S2 bis S4. Je nach Frakturausmaß können hohe vordere Pfeilerfrakturen auch in S1 sichtbar sein. Der Pfannendachbereich kann in der ersten koronaren Schicht S6 und in der Sagittalen S8 beurteilt werden. Die Frakturlinie verläuft nach kaudal durch das Foramen obturatum.

Beispiel 2 (PF 1) – elementarer Frakturtyp vorderer Pfeiler nach J/L

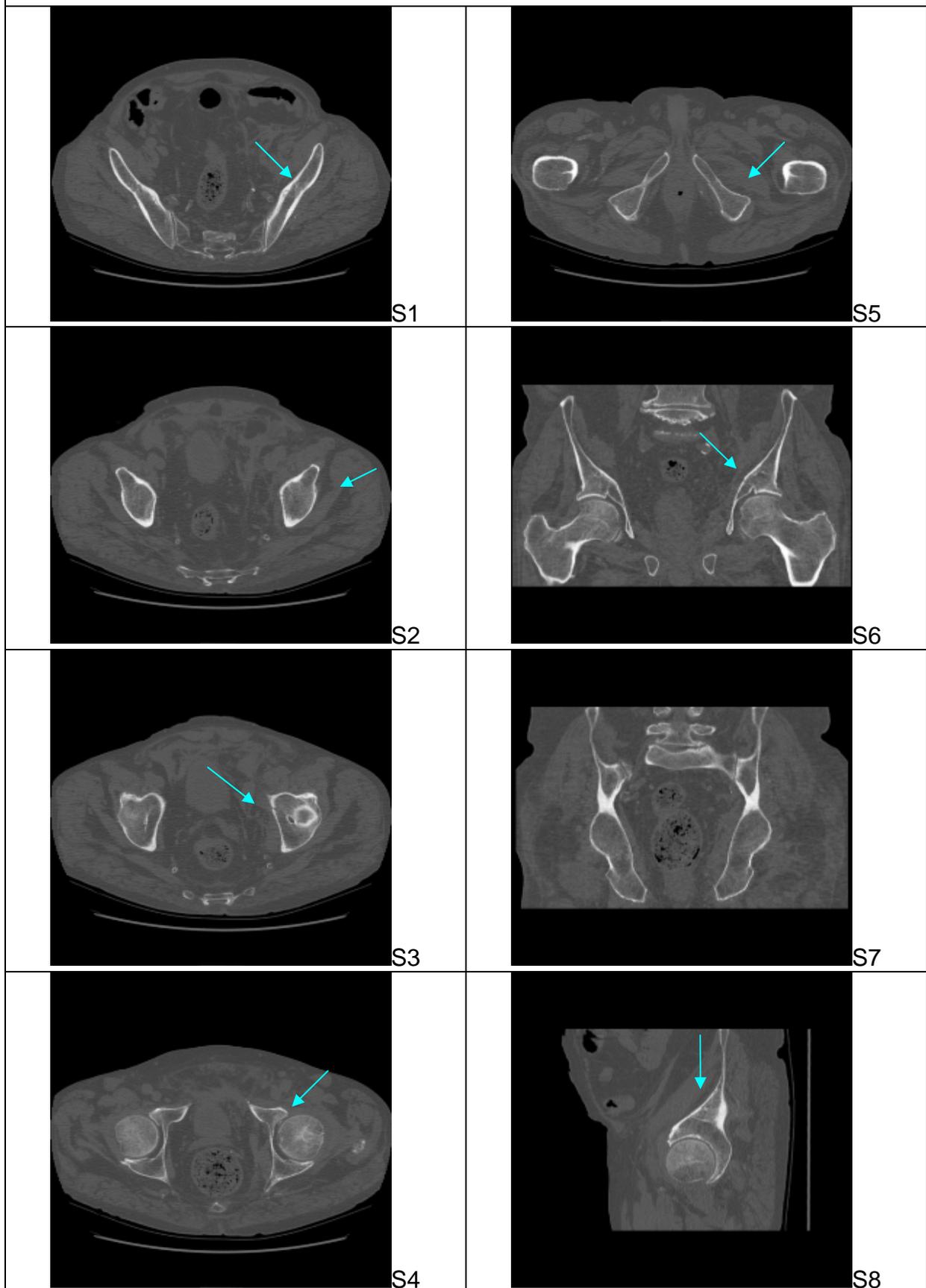


Abbildung 31: Beispiel 2 – elementarer Frakturtyp vorderer Pfeiler

Beispiel 3 (Abbildung 32) zeigt den komplexen Frakturtyp Querfraktur plus hintere Wand. Der für Querfrakturen kennzeichnende Verlauf der Frakturlinie von anterior nach posterior quer durch das Azetabulum wird besonders in axialen Schicht S3 deutlich. Die Beteiligung der hinteren Wand entspricht den Kriterien wie in Beispiel 1 mit guter Darstellung in S3, S4 sowie den Rekonstruktionen S7 und S8.

Beispiel 3 (PF 3) – komplexer Frakturtyp *Querfraktur plus hintere Wand* nach J/L

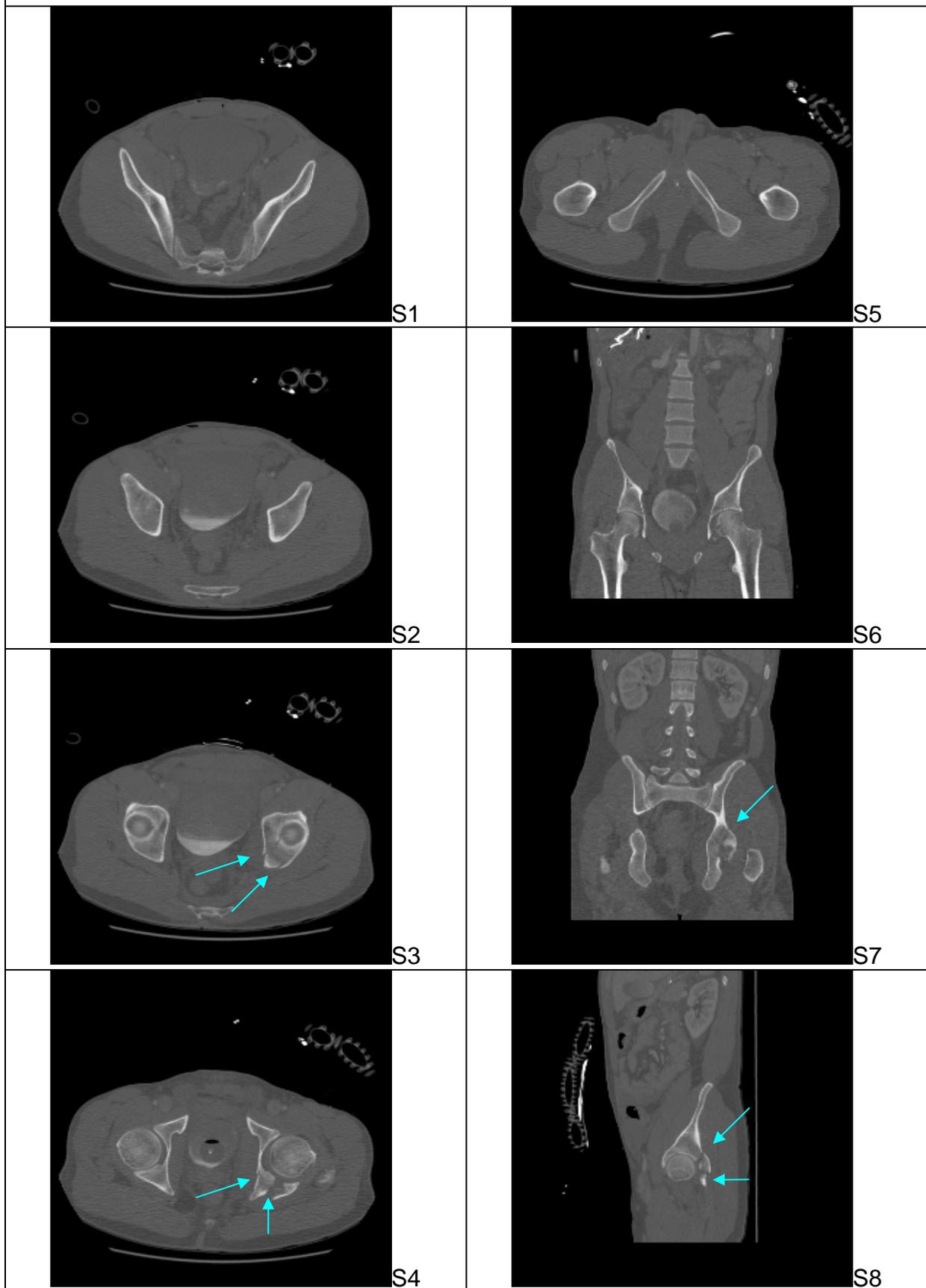


Abbildung 32: Beispiel 3 - komplexer Frakturtyp Querfraktur plus hintere Wand

Beispiel 4 (Abbildung 33) zeigt den komplexen Frakturtyp vorderer Pfeiler und hintere Hemiquerfraktur. Für die vordere Pfeilerkomponente gelten die gleichen Kriterien wie in Beispiel 2 beschrieben. Typischerweise wird die Kombination mit der hinteren hemiqueren Fraktur in der axialen Schicht S3 am deutlichsten sichtbar. Hier zeigt sich der Verlauf der Fraktur in frontaler Ebene mit der zusätzlich nach dorsal gerichteten Querkomponente.

Beispiel 4 (PF 9) – komplexer Frakturtyp vP + hHQ nach J/L

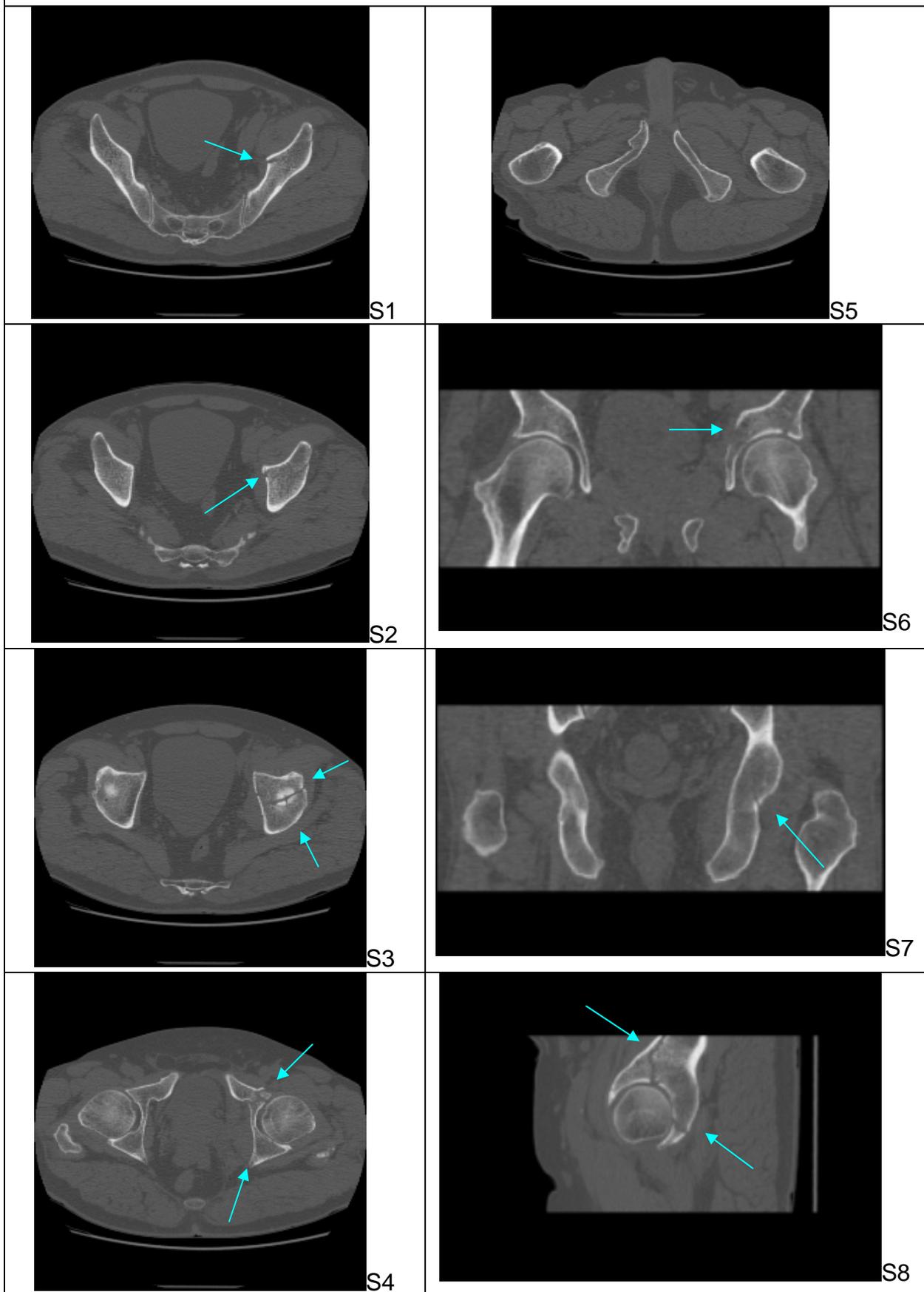


Abbildung 33: Beispiel 4 – komplexer Frakturtyp vP + hHQ

Beispiel 5 (Abbildung 34) zeigt den komplexen Frakturtyp Zwei-Pfeilerfraktur. Charakteristisch für diesen Typ ist die vollständige Separation des Azetabulums vom Ilium, am deutlichsten sichtbar in den koronaren und sagittalen Rekonstruktionen. Die Frakturlinien verlaufen in allen definierten Schichten und vereinen die Kriterien der vorderen und hinteren Pfeilerfrakturen.

Beispiel 5 (PF 6) – komplexer Frakturtyp *Zwei-Pfeilerfraktur* nach J/L

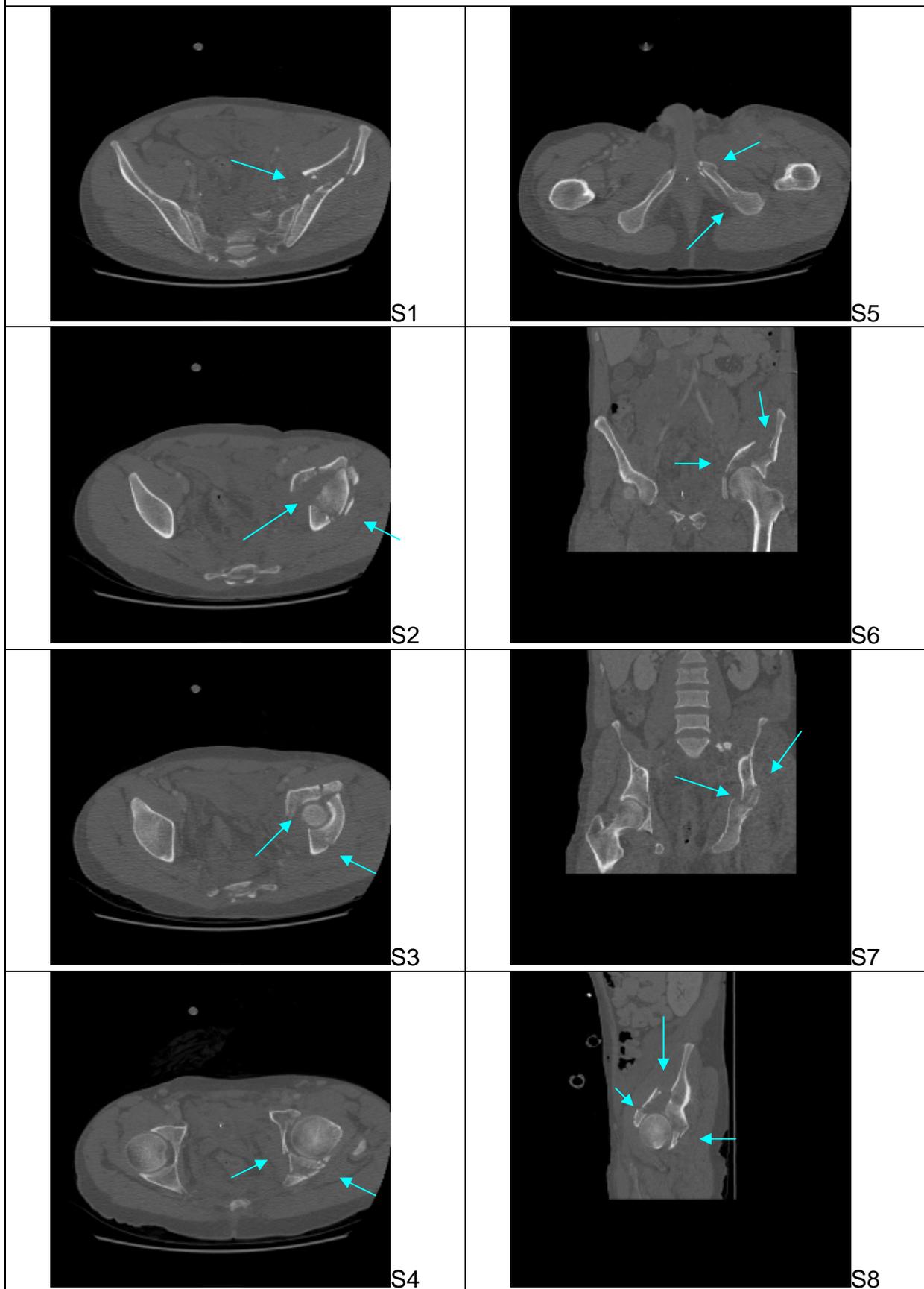


Abbildung 34: Beispiel 5 - komplexer Frakturtyp *Zwei-Pfeilerfraktur*

1.3 Externe Evaluation

1.3.1 Einzelergebnisse der Patientenfälle 1-12

Fall 1 (Tabelle 7) wurde zehnmal als Fraktur des vorderen Pfeilers und viermal als Querfraktur klassifiziert.

Mit der Referenzklassifikation vorderer Pfeiler gab es demnach zehn absolute Übereinstimmungen. Das entspricht 71 % aller vierzehn Beurteiler. Vier Personen (29 %) urteilten abweichend, jedoch ohne Auswirkungen auf den operativen Zugang. Es lag keine Fehlklassifikation in unserem Sinne vor.

Zu diesem Fall wurde einmal bemerkt, dass die Bilder ausreichend seien und ein Beurteiler wünschte sich mehr Schichten des unteren Schambeinastes zur besseren Darstellung der Frakturkomponente.

Fall 1	Klassifikation der Mitglieder (absolute Zahlen)		Absolute Übereinstimmung (in %)	Abweichende Klassifikation (in %)	Fehlklassifikation (in %)
Referenz vP	vP	10	71 %		
	Q	4		29 %	
					0 %

Tabelle 7: Klassifikationsergebnisse Fall 1

Bei **Fall 2** (Tabelle 8) verteilten sich die Häufigkeiten der Frakturtypen auf einmal vorderer Pfeiler, dreimal Querfraktur plus hintere Wand, achtmal vordere Wand/Pfeiler plus hintere Hemiquerfraktur und zweimal Zwei-Pfeilerfraktur. Ein Beurteiler schwankte zwischen Querfraktur plus hintere Wand zu tendenziell auch vordere Wand/Pfeiler plus hintere Hemiquerfraktur.

In acht Fällen (57 %) gab es eine absolute Übereinstimmung mit der Referenzklassifikation vordere Wand/Pfeiler plus hintere Hemiquerfraktur. Drei Personen (21 %) hatten zwar einen anderen Frakturtyp (vorderer Pfeiler und Zwei-Pfeilerfraktur) klassifiziert, jedoch ohne Auswirkungen auf das therapeutische Vorgehen. Dreimal (21 %) lag eine Fehlklassifikation vor. (Eine Querfraktur mit hinterer Wand würde vorrangig über den Kocher-Langenbeck-Zugang operativ versorgt werden.) Bemerkte wurde zu diesem Fall zunächst, dass es sich um eine zentrale Luxation (1x) und Ausbruch eines supraazetabulären Fragments (1x) handelt. Zwei Beurteiler wünschten sich mehr Bildgebung.

Fall 2	Klassifikation der Mitglieder (absolute Zahlen)		Absolute Übereinstimmung (in %)	Abweichende Klassifikation (in %)	Fehlklassifikation (in %)
Referenz vW/P+ hHQ	vW/P +hHQ	8	57 %		
	vP	1		21 %	
	2P	2			
	Q+hW	3			21 %

Tabelle 8: Klassifikationsergebnisse Fall 2

Bei **Fall 3** (Tabelle 9) erfolgte die Klassifikation einmal als Querfraktur, fünfmal als Fraktur der hinteren Wand plus hinterer Pfeiler, siebenmal als Querfraktur mit hinterer Wand und einmal als Fraktur der hinteren Wand.

Die Hälfte der Beurteiler stimmte mit der Referenzklassifikation Querfraktur mit hinterer Wand überein. 43 % klassifizierten andere Frakturtypen, welche zu keiner Veränderung im operativen Zugang führen würden. Einmal (7 %) lag eine Fehlklassifikation vor.

Als einzige Bemerkung wurde erwähnt, dass die Bilder nicht ausreichend waren.

Fall 3	Klassifikation der Mitglieder (absolute Zahlen)		Absolute Übereinstimmung (in %)	Abweichende Klassifikation (in %)	Fehlklassifikation (in %)
Referenz Q + hW	Q+hW	7	50 %		
	hW+hP	5		43 %	
	hW	1			
	Q	1			7 %

Tabelle 9: Klassifikationsergebnisse Fall 3

Fall 4 (Tabelle 10) wurde von allen Betrachtern als Fraktur der hinteren Wand klassifiziert. Das entspricht einer hundertprozentigen Übereinstimmung mit der Referenzklassifikation.

Es wurde einmal angemerkt, dass die Fraktur nur auf einer axialen Schicht zu sehen war. Zweimal waren die Bilder nicht ausreichend und es wurden mehr Schichten verlangt. Ein Beurteiler wies darauf hin, dass die Luxation zwar in der Beckenübersicht, aber nicht im CT zu erkennen war.

Fall 4	Klassifikation der Mitglieder (absolute Zahlen)		Absolute Übereinstimmung (in %)	Abweichende Klassifikation (in %)	Fehlklassifikation (in %)
	hW	14			
Referenz	hW	14	100 %		
hW				0 %	
					0 %

Tabelle 10: Klassifikationsergebnisse Fall 4

Für **Fall 5** (Tabelle 11) lag die Häufigkeitsverteilung der Frakturtypen bei siebenmal vorderem Pfeiler, je einmal Querfraktur mit hinterer Wand und T-Fraktur, zweimal vordere Wand/Pfeiler mit hinterer Hemiquerfraktur und dreimal Zwei-Pfeilerfraktur. 50 % der Beurteiler stimmten mit der Referenzklassifikation vorderer Pfeiler überein. Sechs Personen (43 %) urteilten abweichend, aber der ausgewählte Frakturtyp hatte keine Auswirkungen auf die therapeutischen Optionen. In einem Fall (7 %) erfolgte eine Fehlklassifikation als Querfraktur mit hinterer Wand, die einen anderen operativen Zugang verlangen würde.

Drei Beurteiler wünschten sich mehr Bildgebung, einer bemängelte bei starker Degeneration eine zu geringe axiale Schichtung, ein anderer konnte die Intaktheit des hinteren Pfeilers nicht beurteilen. Einmal wurde eine zentrale Luxation bemerkt. Ala- und Obturatoraufnahmen fehlten einer Person zu Beurteilung.

Fall 5	Klassifikation der Mitglieder (absolute Zahlen)		Absolute Übereinstimmung (in %)	Abweichende Klassifikation (in %)	Fehlklassifikation (in %)
	vP	7			
Referenz vP	vP+hHQ	2	50 %	43 %	
	2P	3			
	T	1			
	Q+hW	1			7 %

Tabelle 11: Klassifikationsergebnisse Fall 5

Fall 6 (Tabelle 12) wurde zweimal als vorderer Pfeiler, je einmal als hintere Wand mit hinterem Pfeiler und vordere Wand/Pfeiler plus hintere Hemiquerfraktur sowie zehnmal als Zwei-Pfeilerfraktur klassifiziert.

In zehn Fällen (71%) gab es eine absolute Übereinstimmung mit der Referenzklassifikation Zwei-Pfeilerfraktur. Drei Personen (21 %) entschieden sich für abweichende Frakturtypen (vordere Wand/Pfeiler mit hinterer Hemiquerfraktur und nur vordere Wand) ohne veränderte therapeutische Konsequenzen. Bei einem Beurteiler kam es zu einer Fehlklassifikation. (Eine Fraktur der hinteren Wand und des hinteren Pfeilers würde vorrangig über den Kocher-Langenbeck-Zugang operativ versorgt werden.)

Das Fehlen von CT-Schichten wurde fünfmal erwähnt.

Fall 6	Klassifikation der Mitglieder (absolute Zahlen)		Absolute Übereinstimmung (in %)	Abweichende Klassifikation (in %)	Fehlklassifikation (in %)
Referenz 2P	2P	10	71 %		
	vP	2		21 %	
	vP+hHQ	1			
	hW+hP	1			7 %

Tabelle 12: Klassifikationsergebnisse Fall 6

Bei **Fall 7** (Tabelle 13) entschieden sich die Beurteiler dreimal für eine T-Fraktur, zweimal für eine Fraktur der vorderen Wand/Pfeiler mit hinterer Hemiquerkomponente und neunmal für eine Zwei-Pfeilerfraktur. Eine dieser Personen schwankte zwischen Zwei-Pfeilerfraktur und T-Fraktur.

Mit der Referenzklassifikation T-Fraktur stimmten drei Personen (21 %) überein. Elfmal (79 %) fiel die Entscheidung für einen anderen Frakturtyp, der über den gleichen Zugang operativ versorgt werden könnte.

Zu diesem Fall fehlten drei Betrachtern CT-Schichten, zwei hielten mehr axiale Schichten für notwendig und einmal waren nicht genügend supraazetabuläre Schichten vorhanden.

Fall 7	Klassifikation der Mitglieder (absolute Zahlen)		Absolute Übereinstimmung (in %)	Abweichende Klassifikation (in %)	Fehlklassifikation (in %)
Referenz T	T	3	21 %		
	vP+hHQ	2		79 %	
	2P	9			
					0 %

Tabelle 13: Klassifikationsergebnisse Fall 7

Bei **Fall 8** (Tabelle 14) verteilten sich die Häufigkeiten der Frakturtypen auf neunmal hintere Wand, zweimal hinterer Pfeiler und dreimal hintere Wand mit hinterem Pfeiler. Zwei der Beurteiler waren sich unschlüssig und tendierten weg von der Fraktur der hinteren Wand hin zur Fraktur des hinteren Pfeilers.

Drei Personen (21%) stimmten mit der Referenzklassifikation hintere Wand plus hinterer Pfeiler überein. Elf (79 %) wählten einen anderen Frakturtyp aus, jedoch ohne Auswirkungen auf das therapeutische Vorgehen. Es gab keine Fehlklassifikation.

Je einmal wurde bemerkt, dass die Unterscheidung zwischen Wand und Pfeiler nicht sicher möglich war und Schichten fehlten.

Fall 8	Klassifikation der Mitglieder (absolute Zahlen)		Absolute Übereinstimmung (in %)	Abweichende Klassifikation (in %)	Fehlklassifikation (in %)
Referenz hP+hW	hP+hW	3	21 %		
	hW	9		79 %	
	hP	2			
					0 %

Tabelle 14: Klassifikationsergebnisse Fall 8

Bei **Fall 9** (Tabelle 15) gaben nur dreizehn Beurteiler ihre Stimme ab, folglich sind die nachfolgenden Angaben auf eine Gesamtmenge von n=13 Beurteiler bezogen. Die Entscheidung fiel auf je einmal Fraktur des vorderen Pfeilers und T-Fraktur, dreimal Querfraktur und achtmal Fraktur der vorderen Wand/Pfeiler mit hinterer Hemiquerkomponente.

Mit der Referenzklassifikation vordere Wand/Pfeiler mit hinterer Hemiquerkomponente stimmten acht Beurteiler (62 %) überein. In den anderen fünf Fällen (38 %) wurden abweichende Frakturtypen ausgewählt, die über den gleichen operativen Zugang versorgt werden können. Eine Fehlklassifikation lag nicht vor. Der Wunsch nach mehr Bildern/Schichten wurde zweimal geäußert. Ein Beurteiler hätte diese Fraktur als Typ vorderer Pfeiler mit hinterer Wand eingeordnet, doch dieser existiert nicht in der aktuellen Klassifikation nach Judet und Letournel.

Fall 9	Klassifikation der Mitglieder (absolute Zahlen)		Absolute Übereinstimmung (in %)	Abweichende Klassifikation (in %)	Fehlklassifikation (in %)
Referenz vP+hHQ	vP+hHQ	8	62 %		
	vP	1		38 %	
	Q	3			
	T	1			
					0 %

Tabelle 15: Klassifikationsergebnisse Fall 9

Fall 10 (Tabelle 16) wurde von allen Betrachtern als Fraktur der hinteren Wand klassifiziert. Das entspricht einer hundertprozentigen Übereinstimmung mit der Referenzklassifikation.

Einmal waren die Bilder ausreichend. Eine Luxation und ein intraartikuläres Fragment wurden je einmal erkannt.

Fall 10	Klassifikation der Mitglieder (absolute Zahlen)		Absolute Übereinstimmung (in %)	Abweichende Klassifikation (in %)	Fehlklassifikation (in %)
Referenz	hW	14	100 %		
hW				0 %	
					0 %

Tabelle 16: Klassifikationsergebnisse Fall 10

Bei **Fall 11** (Tabelle 17) erfolgte die Klassifikation zweimal als Fraktur des hinteren Pfeilers, sechsmal als Fraktur des vorderen Pfeilers und je zweimal als T-Fraktur, als vorderer Pfeiler mit hinterer Hemiquerfraktur und als Zwei-Pfeilerfraktur.

Die Übereinstimmung mit der Referenzklassifikation vorderer Pfeiler war bei sechs Beurteilern (43 %) vorhanden. Weitere sechsmal (43 %) fiel die Entscheidung für einen abweichenden Frakturtyp mit gleicher therapeutischer Konsequenz. Eine Fehlklassifikation lag in zwei Fällen (14 %) vor. (Hintere Pfeilerfrakturen würden über den Kocher-Langenbeck anstatt des ilioinguinalen Zugangs operativ versorgt werden.)

Mehr Schichten in allen Ebenen bzw. mehr Bilder wünschten sich sechs und zusätzliche axiale Schichten ein Beurteiler. Eine Person bemerkte, dass die hintere Hemiquerkomponente nicht sicher erkennbar war.

Fall 11	Klassifikation der Mitglieder (absolute Zahlen)		Absolute Übereinstimmung (in %)	Abweichende Klassifikation (in %)	Fehlklassifikation (in %)
Referenz vP	vP	6	43 %		
	vP+hHQ	2		43 %	
	2P	2			
	T	2			
	hP	2			14 %

Tabelle 17: Klassifikationsergebnisse Fall 11

Fall 12 (Tabelle 18) wurde je einmal als Fraktur der vorderen Wand, Querfraktur, T-Fraktur, viermal als vordere Pfeilerfraktur und siebenmal als Fraktur der vorderen Wand/Pfeiler mit hinterer Hemiquerkomponente klassifiziert. Zwei dieser Beurteiler waren sich unsicher mit ihren Angaben. Einer tendierte weg von vorderer Wand/Pfeiler mit hinterer Hemiquerkomponente hin zur isolierten Fraktur des vorderen Pfeilers, der andere genau entgegengesetzt.

Es gab keine Übereinstimmung mit der Referenzklassifikation Zwei-Pfeilerfraktur mit Beckenbeteiligung. Von vierzehn Beurteilern (100 %) wurden abweichende Frakturtypen ausgewählt, die keine Veränderung der therapeutischen Optionen mit sich zogen.

Fünfmal wurden mehr Bilder/Schichten in allen Ebenen gewünscht. Eine atypische Zwei-Pfeilerfraktur, eine Gelenkfragmentimpression in der Hauptbelastungszone und eine zusätzliche Beckenring-C-Fraktur wurden je einmal erkannt.

Fall 12	Klassifikation der Mitglieder (absolute Zahlen)		Absolute Übereinstimmung (in %)	Abweichende Klassifikation (in %)	Fehlklassifikation (in %)
Referenz 2P+ Becken	2P	0	0 %		
	vP+hHQ	7		100 %	
	vP	4			
	vW	1			
	Q	1			
T	1				
					0 %

Tabelle 18: Klassifikationsergebnisse Fall 12

1.3.2 Zusammenfassende Auswertung der 12 Patientenfälle

Insgesamt konnten 168 einzelne Klassifikationen ausgeführt werden. Elf Fälle wurden von vierzehn Beurteilern und ein Fall nur von dreizehn klassifiziert. Somit gingen 167 Einzelergebnisse in die Bewertung ein. Davon lagen in 90 Fällen (54 %) absolute Übereinstimmungen mit der jeweiligen Referenzklassifikation vor. Weitere 69 Ergebnisse (41 %) wiesen abweichende Frakturtypen auf, welche jedoch keine Änderung der Therapie bzw. in dem zu verwendenden operativen Zugang zur Folge gehabt hätten. Insgesamt ergaben sich damit 159 (95 %) gute bis sehr gute Klassifikationsergebnisse. Fehlklassifikationen, die eine Änderung der Frakturversorgung mit sich gezogen hätten, lagen achtmal (5 %) vor (Abbildung 35).

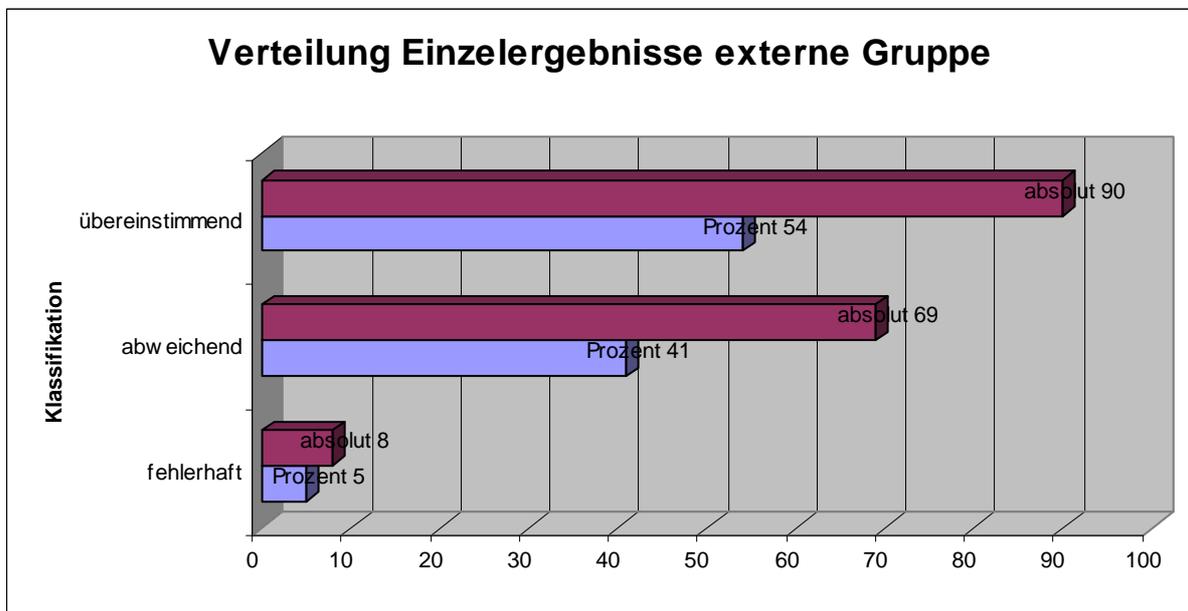


Abbildung 35: Klassifikation der externen Gruppe - Einzelergebnisverteilung

Betrachtet man die zwölf Fälle entsprechend den Frakturtypen nach Judet und Letournel, ließen sich zusammenfassend folgende Ergebnisse hinsichtlich der Übereinstimmungen festhalten (Tabellen 19):

Frakturtyp (Fallanzahl)	Übereinstimmung absolut	Frakturtyp	Übereinstimmung plus Abweichung
HW (2)	100 %	HW	100 %
VP+HHQ (2)	57 %	HW+HP	100 %
VP (3)	55 %	T	100 %
Q+HW (1)	50 %	2P	97 %
2P (2)	35,5 %	Q+HW	93 %
T (1)	21 %	VP	93 %
HW+HP (1)	21 %	VP+HHQ	90 %

Tabelle 19: Klassifikationsergebnisse Mitglieder entsprechend den Frakturtypen

Damit zeigte sich bei unserem Frakturtyp hintere Wand mit 100 % die meisten absoluten Übereinstimmungen mit der Referenzklassifikation, die wenigstens mit 21 % fanden sich bei den Frakturtypen T-Fraktur und hintere Wand hinterer Pfeiler. Unter Einbeziehung der Abweichungen ergaben sich sehr gute Klassifikationsergebnisse für die Frakturtypen hintere Wand, T-Fraktur sowie hintere Wand plus hinterer Pfeiler. Die Frakturtypen Zwei-Pfeiler, Querfraktur plus hintere Wand, vorderer Pfeiler und vorderer Pfeiler plus hintere Hemiquerfraktur erzielten gute Klassifikationsergebnisse (Tabelle 19).

Betrachtet man die Fehlklassifikationen, ergeben sich die meisten mit 10,5 % beim Frakturtyp vorderer Pfeiler plus hintere Hemiquerfraktur, gefolgt mit jeweils 7 % die Typen vorderer Pfeiler und Querfraktur plus hintere Wand. Weniger Fehlklassifizierungen lagen bei den Zwei-Pfeilerfrakturen mit 3,5 % vor. Keine Fehlklassifikationen fanden sich bei den Frakturtypen hintere Wand, hintere Wand plus hinterer Pfeiler und T-Fraktur (Tabelle 20).

Frakturtyp	VP+HHQ	VP	Q+HW	2P	HW	HW+HP	T
Fehlklassifikationsrate in Prozent	10,5	7	7	3,5	0	0	0

Tabelle 20: Fehlklassifikationsraten nach Frakturtypen

1.3.2 Auswertung in Abhängigkeit vom Weiterbildungsstatus

Zusammenfassend für alle zwölf Patientenfälle hinsichtlich der Klassifikation ergab sich Folgendes: Die meisten absoluten Übereinstimmungen erzielten die Oberärzte mit 54 % direkt gefolgt von den Assistenzärzten mit 53 %. Bei den Abweichungen lagen die Assistenzärzte mit 47 % vor den Oberärzten mit 38,5 %. Insgesamt ergeben sich damit sehr gute bis gute Klassifikationsergebnisse für die Assistenzärzte. Die Oberärzte urteilten entsprechend unserer Definition in 7,5 % fehlerhaft (Abbildung 36).

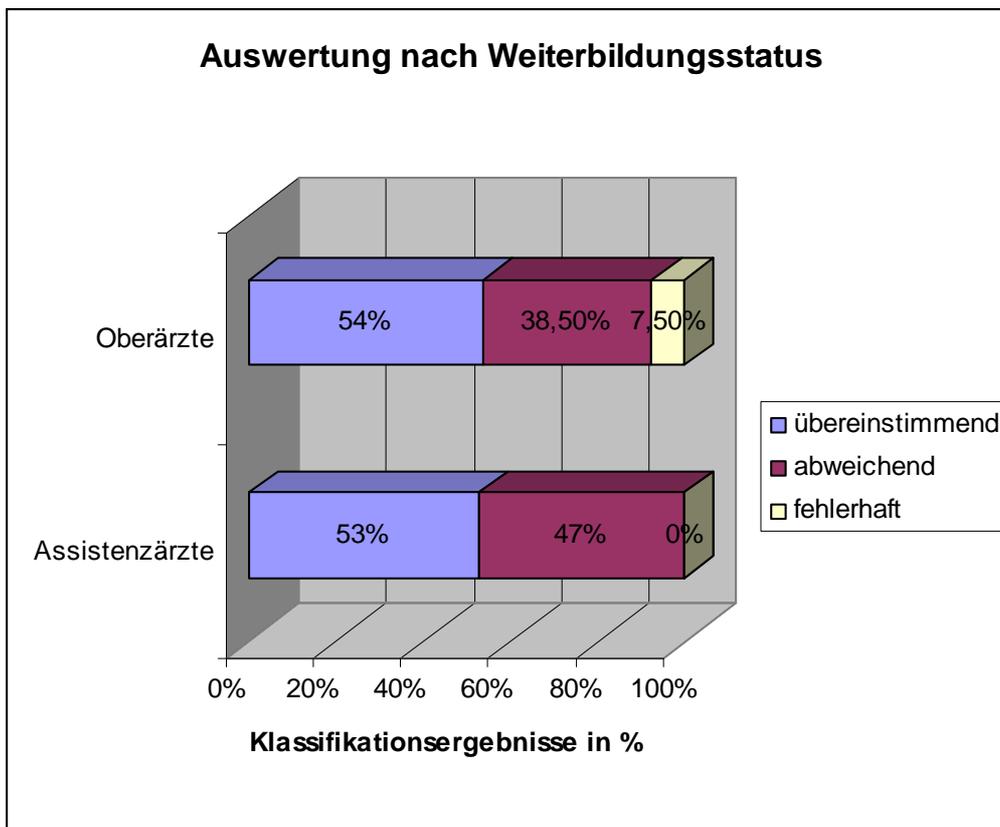


Abbildung 36: Auswertung der Klassifikationsergebnisse nach Weiterbildungsstatus in %

1.3.3 Auswertung der Zusatzfragen und schriftlichen Bemerkungen

Die erste Frage beschäftigte sich damit, ob die Darstellung zur Klassifikation von Azetabulumfrakturen für jeden Beurteiler individuell so ausreichend war. Die überwiegende Mehrheit, dreizehn Mitglieder (93 %), urteilten mit „nein“. Nur ein Oberarzt (7 %) empfand die Darstellung als genügend.

Absolute Einigkeit bestand darüber, dass weitere CT-Schichten erforderlich seien. Die genaue Nachfrage ergab Folgendes: Mehr koronare und axiale Schichten wünschte sich ein Beurteiler. Für eine dünnere Schichtung im Allgemeinen sprachen sich zwei Personen aus. Ebenfalls zweimal wurden tiefere Schichten bis zum Os pubis und Os ischii verlangt. Jeweils einmal wurde erwähnt, dass mehr Schichten für die Darstellung der Hinterwand und mehr vom gesamten Azetabulum notwendig wären. Ein Beurteiler äußerte den Wunsch nach 3D-Rekonstruktionen.

Bei der Frage über die Erforderlichkeit von Ala- und Obturatoraufnahmen zur Klassifikation dieser Azetabulumfrakturen entschieden sich fünf Mitglieder (35,7 %), ein Assistenzarzt und vier Oberärzte, für „ja“. Die anderen Neun (64,3 %), bestehend aus vier Assistenzärzten und fünf Oberärzten, würden keine Schrägaufnahmen zur Beurteilung des Frakturtyps benötigen (Abbildung 37).

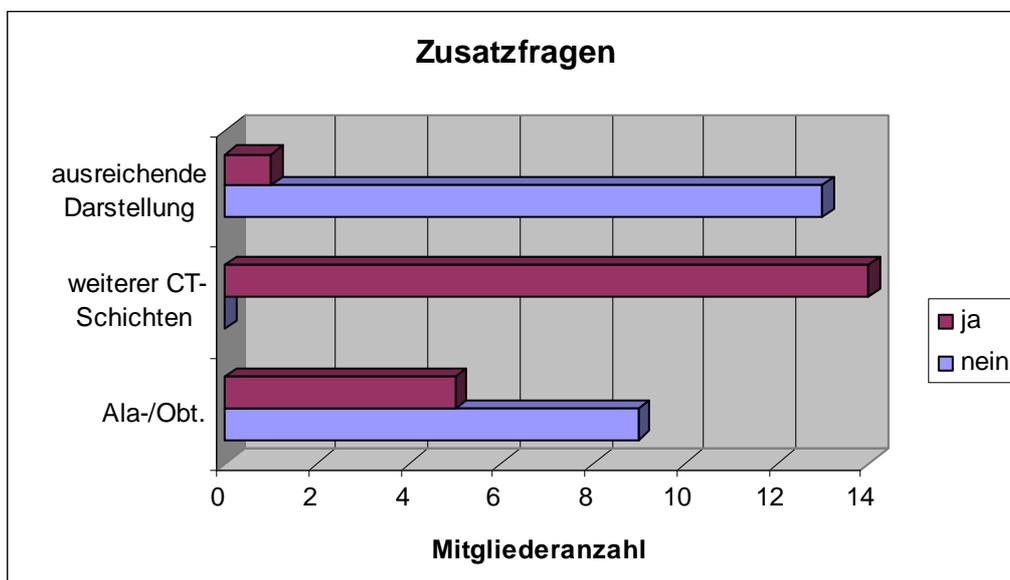


Abbildung 37: Auswertung der Zusatzfragen – absolute Häufigkeiten der Antworten

Für die ausgewählten Patienten konnten auf dem Fragebogen fallspezifische Bemerkungen notiert werden. Die Auswertung dieser Kommentare, nach Frakturtypen zusammengefasst, ergab Folgendes:

Beim Frakturtyp *vorderer Pfeiler*, insgesamt drei Patientenfälle, wurde in zwei von drei Fällen bemerkt, dass CT-Schichten fehlen (siebenmal) und mehr Bildgebung wünschenswert wäre (dreimal). Zweimal wurde speziell nach axialen Schichten verlangt. In einem von drei Fällen wollte ein Beurteiler mehr Schichten in allen Ebenen, einer mehr Schichten vom unteren Schambeinast und einem anderen fehlten Ala- und Obturatoraufnahmen. Ein einziger empfand bei einem Patienten mit einer vorderen Pfeilerfraktur die Bilder als ausreichend zur Klassifikation. Zusammenfassend lässt sich damit für die Fraktur des vorderen Pfeilers feststellen, dass die Beurteiler der Meinung waren, die CT-Schichten beziehungsweise die Bildgebung seien so nicht ausreichend genug, um die Frakturen exakt klassifizieren zu können.

Für den Frakturtyp *Zweipfeilerfraktur* wünschten sich zehn Mitglieder in zwei von zwei Fällen mehr CT-Schichten, in einem von zwei Fällen wurde zweimal mehr Bildgebung verlangt. In einem von zwei Fällen wollte ein Beurteiler mehr Schichten in allen Ebenen und einer empfand die Bilder als ausreichend. Damit ergibt sich für Zweipfeilerfrakturen die überwiegende Meinung der so unzureichenden Darstellung.

Bei den Patienten mit dem Frakturtyp *hintere Wand* wurde in beiden Fällen zweimal „Bilder ausreichend“ notiert. In einem dieser Fälle fehlten für ein Mitglied CT-Schichten. Zusätzliche axiale Schichten wurden verlangt. Folglich herrscht bei diesem Frakturtyp Uneinigkeit darüber, ob die Darstellung so ausreichend ist.

Die folgenden Frakturtypen waren jeweils mit einem Patientenfall vertreten. Bei allen wurde das Fehlen von CT-Schichten bemängelt - im Speziellen einmal beim Frakturtyp *Querfraktur mit hinterer Wand*, fünfmal bei der *T-Fraktur*, davon verlangte je ein Beteiligter nach mehr axialen beziehungsweise supraazetabulären Schichten. Auch bei den Frakturtypen *hinterer Pfeiler mit hinterer Wand* und *vordere Wand/Pfeiler mit hinterer Hemiquerfraktur* sollten für insgesamt drei Beurteiler mehr CT-Schichtungen und mehr Bildgebung vorhanden sein.

Auch abhängig vom Frakturtyp spiegeln die einzelnen Kommentare das wider, was die Auswertung der Zusatzfragen bereits ergeben hat. Bei unzureichender Darstellung seien weitere CT-Schichten zur exakten Klassifikation von Azetabulumfrakturen notwendig. Eine Ausnahme scheint der Frakturtyp *hintere Wand* zu sein.

F) Diskussion

Seit Einführung der Computertomographie im Jahre 1972 und deren weit verbreitete Benutzung seit den achtziger Jahren bietet die Literatur eine große Anzahl an Studien zur Bestimmung der Wertigkeit der CT im Vergleich zur konventionellen Röntgenuntersuchung [15, 31, 58, 74, 77, 79-84]

Die Kombination von qualitativ hochwertigen Röntgen-Nativ-Aufnahmen und anschließender CT des Beckens in dünnen Schichten trägt zum Verständnis des Verletzungsmusters bei und hilft den genauen Frakturtyp zu bestimmen [18, 19, 28, 30, 31, 33, 81, 83, 85]. Heutzutage gehören 2-D- und 3-D-CT bei der Behandlung von Azetabulumfrakturen zur grundlegenden bildgebenden Diagnostik [24, 41] - sie bilden den Standard in der Beurteilung von Azetabulumfrakturen [30, 41, 74, 76]. Vor allem bei chirurgischen Interventionen ist die CT hinsichtlich der OP-Planung durch die Möglichkeit der räumlichen Darstellung obligat [70].

Wegen der mehrfach belegten diagnostischen Überlegenheit der CT-Untersuchung gegenüber konventionellen Röntgenaufnahmen bei Azetabulumfrakturen [31, 58, 73, 74, 77, 79-82] fordern deshalb einige Autoren CT-basierte Klassifikationssysteme, um somit Fehlklassifikationen zu verringern und die interpersonelle Übereinstimmung vergrößern zu können [28, 31]. Unerfahrene können nur schwer kontinuierlich alle ausschlaggebenden Eigenschaften von Frakturen erschließen, die die Prognose und die OP-Entscheidung beeinflussen [86].

In der vorliegenden Arbeit wurde ein CT-basierter Ansatz gewählt, um die Klassifikation von Azetabulumfrakturen durch die Vorteile der CT zu erleichtern und auch für Unerfahrene einfacher zu gestalten. In unserem System erfolgt die Analyse von der Beckenübersichtsaufnahme a.p und acht definierten Schichten der CT des Beckens. Dadurch wird die Beschreibung der Fraktur mit deren Ausmaß und deren Verlauf ermöglicht. Alle Ebenen – axial, sagittal und koronar - werden betrachtet, so dass eine Zuordnung zu einem Frakturtyp gemäß der Einteilung nach Judet und Letournel erfolgen kann.

Der Vorschlag von Harris et al. [41] für eine neue, auf axialen CT-Schichten basierende Klassifikation beinhaltet die Unterteilung in vier Kategorien – einfache Wandfrakturen, isolierte Pfeilerfrakturen, kombinierte horizontale Frakturen mit gleichzeitiger Involvierung beider Pfeiler, wozu Quer-, T-, Querfrakturen mit hinterer Wand, vordere Pfeilerfrakturen mit Hemitransverskomponente zählen, und Zwei-

Pfeilerfrakturen mit vollständiger Separation des Azetabulums vom Ilium. Vier zusätzliche Subkategorien beschreiben bei den kombinierten Pfeilerfrakturen das Frakturausmaß und den Frakturverlauf. In deren Untersuchung von 112 Patientenfällen konnte jede Fraktur anhand axialer CT-Bilder einer der vier Hauptgruppen zugeordnet werden, weil die Einteilung ausreichend breit gewählt wurde. Schichten im Abstand von 5 mm beginnend vom Beckenkamm zum Azetabulumdach und im Abstand von 3 mm durch das Azetabulum bis zur ischialen Tuberositas wurden dabei benutzt. In 61 % der Fälle lagen außerdem dreidimensionale Bilder vor, die sich hinsichtlich des Verständnisses der axialen CT-Bilder bei komplexen Zweipfeilerfrakturen als nützlich erwiesen [41].

In Erweiterung zu den Untersuchungen von Harris et al. [41] und Mack et al. [77] benutzten wir außerdem sagittale und koronare Rekonstruktionen zur Darstellung der Azetabulumfrakturen, da sie sich in der Beurteilung durch die mehrdimensionale Darstellung des Frakturverlaufes, vor allem bei parallel zur axialen Schichtführung verlaufenden Frakturlinien, als besonders hilfreich erwiesen [73]. Wichtig ist, dass die Qualität der sekundären Rekonstruktionen abhängig von der gewählten Schichtdicke ist. Dicken größer 2 mm führen zu enormen Einbußen [30]. Zur Erstellung unserer sekundären Rekonstruktionen wurden Schichtdicken von 1,2 mm benutzt. Unsere Auswahl beschränkte sich auf drei Rekonstruktionen in zwei Ebenen, die die isolierte Darstellung des vorderen und des hinteren Pfeilers koronar sowie die des gesamten Hüftgelenks sagittal umfassten. Reformatierungen entlang des vorderen und hinteren Pfeilers sowie entlang beider Pfeiler und des unteren Ramus lieferten auch in der Arbeit von Haveri et al. [79] nachweislich die meisten Informationen zur Beschreibung des Frakturausmaßes.

Untersuchungen bezüglich der Strahlendosis im Vergleich zu konventionellen Aufnahmen von Jurik et al. [72] zeigten, dass die effektive Gesamtdosis mit 4,4 mSv in der Spiral-CT 0,6 mSv niedriger war. Für die gesamte wirksame Strahlendosis ergab sich eine Verringerung um 11%. Auch dieses Ergebnis spricht demnach für das Verzichten auf konventionelle Röntgenaufnahmen im Sinne der bisherigen Stufendiagnostik zugunsten der computertomographischen Untersuchung mit Rekonstruktionen [30]. Das oberste Ziel im Sinne aller Beteiligten ist, die Strahlendosis so gering wie möglich zu halten, aber dennoch alle notwendigen Röntgenuntersuchungen für die eindeutige Diagnostik der Verletzungen des Patienten durchzuführen und unnötige Doppeluntersuchungen zu vermeiden.

Wir teilen die Meinung von Jurik et al. [72], dass die Beckenübersichtsaufnahme a.p. aus der Serie der konventionellen Röntgenaufnahmen vor der CT-Untersuchung weiterhin obligat bleibt, da diese einen Gesamtüberblick der Verletzungen am Becken bietet. Des Weiteren dient sie dem Ausschluss von Begleitverletzungen am Becken, denn Azetabulumfrakturen treten aufgrund der Entstehungsmechanismen, vor allem bei Polytraumatisierten, oftmals in Verbindung mit Beckenringverletzungen, auf [7, 33].

Unsere Ergebnisse zeigen, dass unser System im Großen und Ganzen funktioniert – es eignet sich zur zugangsrelevanten Einschätzung des Verletzungsausmaßes und Frakturverlaufes. Sicherlich wären stets viele CT-Schichten, 2-D- und 3-D-Rekonstruktionen zur Klassifikation von Azetabulumfrakturen wünschenswert, jedoch ist dieses nicht immer, vor allem nicht nachts, realisierbar. Die ausgewählten CT-Schichten können MTAs (Medizinisch-Technische Assistentinnen) selbständig heraussuchen, um den behandelnden Ärzten einen Überblick zu geben und somit die Klassifikation der Fraktur – nicht nur in Notfallsituationen - zu jeder Tages- und Nachtzeit schnell anhand der notwendigen Bildgebung zu ermöglichen. Zur detaillierten Feindiagnostik im Sinne der präoperativen Planung werden immer zusätzliche Schichten erforderlich sein, deren Begutachtung zeitverzögert stattfinden kann.

Bei der Auswertung der Häufigkeiten richtig klassifizierter Fälle fällt auf, dass bestimmte Frakturtypen mehr Schwierigkeiten verursachen als andere. Unsere Ergebnisse sind mit denen von Petrisor et al. [25] zu vergleichen. In ihrer Untersuchung fanden sich die meisten richtigen Klassifikationen für Frakturen der hinteren Wand und die wenigstens bei T-Frakturen. Auch Beaulé et al. [27] erzielten schlechte Ergebnisse bei T-Frakturen mit nur 49 %. Querfrakturen und hintere Wand-Frakturen zeigten mit 99 % und 94 % eine nahezu vollständige Übereinstimmung.

In der gleichen Arbeit von Beaulé fällt auf, dass annähernd gleich viele falsche Ergebnisse bei Frakturen des vorderen Pfeilers isoliert (52 %) und in Kombination mit einer hinteren hemiqueren Komponente vorlagen. Auch in unserer Studie wurden die meistens Fehlklassifikationen, die zu Änderungen des operativen Zugangs geführt hätten, beim Frakturtyp vorderer Pfeiler plus hintere hemiquere Fraktur sowie den Frakturtypen vordere Pfeiler und Querfraktur mit hinterer Wand verzeichnet. Übergangsformen von Azetabulumfrakturen und mangelndes räumliches

Vorstellungsvermögen erschweren die eindeutige Zuordnung und somit die exakte Klassifikation. Unsere Ergebnisse verdeutlichen, dass keine allgemeingültige Aussage getroffen werden kann, ob die Frakturtypen gemäß ihrer Einteilung in der Klassifikation von Azetabulumfrakturen nach Judet und Letournel in einfache und komplexe Frakturen, dementsprechend einfach beziehungsweise schwer zu klassifizieren sind.

Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass die Frakturklassifikation und die Beurteilung von Zusatzverletzungen abhängig von der persönlichen klinischen Erfahrung sind [15, 25, 27]. Nur eine regelmäßige Konfrontation mit Azetabulumfrakturen führt zu einem erhöhten Verständnis für die Diagnostik und Versorgung und zu einem Anstieg der Erfahrung [16]. Zu wenig davon und nur die Benutzung von konventionellen Röntgenaufnahmen führen oft zu Fehleinschätzungen [85]. Die korrekte Frakturklassifikation am Azetabulum mittels konventioneller Röntgenaufnahmen in Abhängigkeit unterschiedlicher klinischer Erfahrung in der Arbeit von Hüfner et al. [15] variierte mit Zunahme der klinischen Erfahrung von 11-61 %. Durch die Benutzung von 2-D-CT erhöhte sie sich auf 30-76 %. Durch die 3-D-Darstellung stimmten die „korrekten“ Klassifikationen in 65-83 % überein. Folglich ist die Computertomographie ein wesentlicher Bestandteil zur exakten Analyse und Klassifikation von Azetabulumfrakturen und entscheidend für die Diagnose von Zusatzverletzungen [15]. Vor allem sekundäre Rekonstruktionen und 3-D-CT helfen laut Hüfner den Unerfahrenen den richtigen Frakturtyp zu zuordnen [15]. 2003 fanden Petrisor et al. [25] ähnlich zu Hüfner eine Zunahme der Zuverlässigkeit der Klassifikation mit wachsender klinischer Erfahrung. Die Assistenten zeigten bei Benutzung der sechs radiologischen Leitlinien eine signifikante Verbesserung hinsichtlich der Klassifizierung von Azetabulumfrakturen. Beaulé [27] stellte fest, dass Letournel-Schüler bezogen auf die vergleichende Benutzung von konventionellen Röntgenaufnahmen und CT-Bildern in der Klassifikation von Azetabulumfrakturen den Azetabulumchirurgen, und diese den Unfallchirurgen, überlegen waren.

Unsere Ergebnisse demonstrieren eine annähernd gleiche Anzahl korrekter Klassifikationen in der Gruppe der erfahrenen Oberärzte im Vergleich mit den weniger erfahrenen Assistenten. Einschließlich der abweichenden Klassifikationen, die zu keiner Veränderung für die Therapie oder den operativen Zugang führen, ergibt sich nach Auswertung aller Fälle interessanterweise, dass die Assistenzärzte

mit weniger Erfahrungen besser klassifizierten als die Oberärzte mit mehr Erfahrung. Doch auch die Untersuchung von Hüfner zeigte, dass unter Experten gerade bei schwer zu unterscheidenden Übergangsformen, eine Fehlklassifikationsrate von 20 % existierte [15]. Unser paradoxes Ergebnis lässt sich möglicherweise damit erklären, dass die Unerfahrenen unbefangener durch weniger Wissen an die Klassifikation herangehen und eventuell bei der Betrachtung von Röntgen- und CT-Bildern weniger mögliche Frakturverläufe von unterschiedlichen Azetabulumbrüchen kennen und somit die Frakturlinien anders begutachten und einschätzen als die Erfahrenen.

Laut Harris [41] können durch die CT-basierte Frakturklassifikation Azetabulumfrakturen eindeutiger identifiziert und klassifiziert werden. Sie trägt somit zum besseren Verständnis der Azetabulumfrakturen bei. Wir teilen die Meinung von Harris, denn unsere vorgeschlagene Klassifikationshilfe für Azetabulumfrakturen ist praktisch, zielgerichtet und zeitsparend, weil sie auf den routinemäßig angefertigten Röntgenaufnahmen - Beckenübersicht a.p. und axialen CT-Schichten - beruht. Die ausgewählten Schichten einschließlich der Rekonstruktionen eignen sich gut zur Demonstration der betroffenen Wände und Pfeiler, des gesamten Frakturausmaßes und des genauen Frakturverlaufes auch über das Azetabulum hinaus [41] und leiten somit zum optimalen chirurgischen Zugang hin.

Vor allem Einrichtungen außerhalb spezialisierter Zentren könnten so ihre diagnostischen Möglichkeiten ausnutzen, um das Verletzungsausmaß korrekt einzuschätzen und damit die optimale Versorgung der Patienten, ggf. durch eine Weiterverlegung in ein Schwerpunktzentrum, sicherzustellen [15].

Rechnergestützte Klassifikationssysteme wurden von Dormeier et al. [38, 39] und Westphal et al. [40] beschrieben. 2-D- und 3-D-Projektionen der azetabulären Gelenkfläche werden auf der Basis von CT-Daten mit Hilfe eines Softwareprogrammes erstellt, um die Gelenkfläche, die Position einzelner Fragmente zueinander, den genauen Frakturverlauf sowie Dislokationen aufzuzeigen. Dormeiers Untersuchungen zeigten, dass in 75 % von insgesamt zwölf untersuchten Fällen verwertbare Zusatzinformationen für die Frakturlokalisation in den zusätzlichen Visualisierungen (CT, 2D und 3D) im Vergleich zu konventionellen Röntgenaufnahmen bemerkt wurden. Nachteilig auf die klinische Anwendbarkeit wirken sich die langen Bearbeitungszeiten von 25 bis 30 Minuten pro CT-Datensatz

aus. [38-40]. Für die schnelle Diagnosefindung im Dienst und die Einschätzung von Therapie und Prognose sind diese rechnergestützten Systeme ungeeignet. Für die präoperative Planung sind sie sicherlich sinnvoll und sollten demnach Spezialisten vorbehalten bleiben, die sich intensiver damit beschäftigen.

Unsere CT-basierte Klassifikationshilfe findet im klinischen Alltag Anwendung, weil sie auf der standardmäßig durchgeführten Diagnostik beruht. Auch wenn das Verständnis komplexer Azetabulumfrakturen durch die Visualisierung anhand von individuell erstellten Beckenmodellen nach Hurson et al. [87] erhöht wird und die interpersonelle Variabilität der Frakturklassifikation von Azetabulumfrakturen verringert, scheint es für die tägliche Benutzung in der Klinik ungeeignet - denn die Erstellung eines Beckenmodells ist zeit- und kostenintensiv.

Eine Schwierigkeit im Rahmen unserer Untersuchung bestand darin, optimale Patienten zur Begutachtung zu finden. Vor allem rein isolierte Becken- und Azetabulumverletzungen sind heutzutage auf Grund der Entstehungsmechanismen eher selten, denn Azetabulumfrakturen als Hochrasanzverletzungen treten häufig bei polytraumatisierten Patienten auf [7, 33].

Des Weiteren ist das Muskuloskeletale Centrum der Charité Campus Virchow ein Primärzentrum für die Versorgung Schwerstverletzter, weshalb eher Patienten mit komplexen Schädigungen - bei Azetabulumfrakturen bedeutet das Verletzungen der Gruppe B und C nach AO – behandelt werden. Die einfacheren Frakturen der Gruppe A nach AO werden zur Versorgung meistens in kleinere Krankenhäuser gebracht oder die Patienten begeben sich oftmals selber in die Behandlung bei niedergelassenen Ärzten außerhalb der Klinik. Dieser Sachverhalt erklärt unser Patientengut.

Ein zweiter Kritikpunkt an unserer Studie ist die geringe Anzahl von ausgewählten Patientenfällen. Für eine erste Einschätzung, ob die von uns entwickelte CT-basierte Klassifikationshilfe für Azetabulumfrakturen funktioniert, war es dennoch ausreichend. Die Aussagekraft ist trotzdem eingeschränkt, weil nicht alle Frakturtypen entsprechend der Klassifikation gemäß Judet und Letournel vorkamen. Außerdem erfolgte die Beurteilung nur durch fachkundige Ärzte, die alle an traumatologischen Abteilungen von spezialisierten Zentren arbeiten. Weitere klinische Untersuchungen mit einer größeren Fallzahl und Beurteilern unterschiedlichen Weiterbildungsstandes sowie mit Ärzten außerhalb spezialisierter

Zentren sollten nun folgen, um differenziertere Aussagen über die Breite der klinischen Anwendbarkeit treffen zu können, denn nur eine hohe interpersonelle Zuverlässigkeit und eine hohe intrapersonelle Reproduzierbarkeit zeugen von der Funktionalität der Methode [88].

Frakturklassifikationssysteme basieren auf einer Bildgebung und helfen, die passende Behandlungsmethode für Frakturen zu wählen und das Outcome des Patienten einzuschätzen [21, 36, 88]. Als Voraussetzungen dafür sollten sie eine frakturtypspezifische Unterteilung aufzeigen sowie klinisch relevant, leicht verständlich und anwendbar für alle Ärzte sein, die diese Systeme benutzen [41].

Abschließend lässt sich festhalten, dass unsere vorgestellte Klassifikationshilfe für Azetabulumfrakturen diese Kriterien erfüllt und damit hohes Potential für eine Weiterentwicklung im Sinne eines etablierten Frakturklassifikationssystems zeigt.

G) Zusammenfassung

Frakturen des Azetabulums sind mit einer Inzidenz von 19 bis 37 pro 100.000 Einwohner jährlich eher selten [1-4]. Sie gehören auf Grund ihrer Ätiologie durch enorme Krafteinwirkungen zu den schwerwiegenden Verletzungen des Hüftgelenks. Deren Behandlung zur Wiederherstellung der anatomischen Gelenkverhältnisse geht eine tiefgründige und exakte bildgebende Diagnostik voraus, die die Grundlage zur Klassifikation der Fraktur darstellt [15, 17-19]. Dafür werden zwei bewährte Systeme - Klassifikation nach Judet/Letournel [20] und die AO-Klassifikation [21, 22] -, welche auf der Analyse konventioneller Röntgenaufnahmen bei Azetabulumfrakturen beruhen, benutzt. Jedoch wurden immer wieder die Grenzen der traditionellen Klassifikation nach Judet und Letournel aufgezeigt [24-26, 28, 41]. Mehrere Untersuchungen bestätigten bei der alleinigen Benutzung von konventionellen Röntgenaufnahmen eine geringe intrapersonelle Reproduzierbarkeit und interpersonelle Zuverlässigkeit [24, 26]. Heutzutage gehören 2-D- und 3-D-CT bei der Behandlung von Azetabulumfrakturen zur grundlegenden bildgebenden Diagnostik [24, 41] - sie bilden den Standard in der Beurteilung von Azetabulumfrakturen [30, 41, 74, 76]. Wegen der mehrfach belegten diagnostischen Überlegenheit der CT-Untersuchung gegenüber konventionellen Röntgenaufnahmen bei Azetabulumfrakturen [31, 58, 73, 74, 77, 79-82] fordern deshalb einige Autoren CT-basierte Klassifikationssysteme, um somit Fehlklassifikationen zu verringern und die interpersonelle Übereinstimmung vergrößern zu können [28, 31].

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, eine neue Klassifikationshilfe zu entwickeln, die es ermöglicht - anhand der Beckenübersichtsaufnahme a.p. und standardisierten CT-Darstellungen - Azetabulumfrakturen ohne die Benutzung von Schrägaufnahmen entsprechend der Einteilung nach Judet und Letournel zu klassifizieren und deren klinische Anwendbarkeit zu überprüfen.

Zwölf ausgesuchte Fälle mit Azetabulumfrakturen aus dem Datenpool Azetabulum- und Beckenverletzungen der Jahre 2005/2006 aus dem Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie, Klinik für Orthopädie, Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie an der Charité in Berlin im Rahmen der Multicenterstudie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie wurden begutachtet. Bei allen Fällen erfolgte die Auswahl acht identischer charakteristischer CT-

Schichten (fünf axiale, zwei koronare und eine sagittale) sowie der konventionellen Beckenübersichtsaufnahme. Diese Fälle wurden den vierzehn teilnehmenden Mitgliedern der AG Becken vorgelegt. Die Klassifikation der Azetabulumfrakturen erfolgte nach Judet und Letournel. Anhand eines anonymisierten Fragebogens wurde dann die Klassifikation dokumentiert. Im Anschluss wurden die Ergebnisse der Klassifikation der Arbeitsgruppe mit der Referenzklassifikation verglichen. Unterschieden wurde hierbei nach der Übereinstimmung der Klassifikation und der zugangsrelevanten Fehlklassifikation. Die Auswertung erfolgte außerdem nach dem Weiterbildungsstatus. Die Evaluation der Klassifikationshilfe wurde durch die Mitglieder der Arbeitsgruppe vorgenommen.

Von insgesamt 168 einzelnen Klassifikationen wurden 167 ausgeführt. In 90 Fällen (54%) lag eine Übereinstimmung mit der jeweiligen Referenzklassifikation vor. 69 Ergebnisse (41%) mit abweichendem Frakturtyp waren vorhanden, welche aber keine Änderung der Therapie bzw. in dem zu verwendenden operativen Zugang zur Folge gehabt hätten.

Insgesamt ergaben sich damit 159 (95%) gute bis sehr gute Ergebnisse. Eine Fehlklassifikation in unserem Sinne mit Änderung der Frakturversorgung und/oder des operativen Zugangs lag acht mal (5%) vor.

Gemäß des Weiterbildungsstatus erzielten die Oberärzte 54%, die Assistenzärzte 53% Übereinstimmung. Bei den Oberärzten lag eine Fehlklassifikation in unserem Sinne von 7,5% vor.

Die angebotene Darstellung wurde von 93% der Mitglieder als nicht ausreichend bewertet, alle wünschten sich für die Klassifikation mehr CT-Schichten.

Unsere vorgeschlagene CT-basierte Klassifikationshilfe stellt eine Anpassung an den heutigen Standard der diagnostischen Bildgebung bei Azetabulumfrakturen dar und bedeutet damit einen Schritt zur Vereinfachung der Klassifikation. Sie eignet sich zur zugangsrelevanten Einschätzung des Verletzungsausmaßes und des Frakturverlaufes, da mittels der ausgewählten CT-Schichten das Azetabulum mit den anatomisch wichtigen Strukturen dargestellt werden kann. Die Klassifikation und die Zuordnung der Fraktur zu einem der zehn Frakturtypen nach dem System von Judet und Letournel werden ermöglicht. Für die detaillierte Begutachtung der Azetabulumverletzung und die exakte Klassifikation sind jedoch mehr Schichten

notwendig. Vor allem bei komplexeren Frakturen verlangt das präoperative Management eine umfassendere Darstellung.

Als effektiv erweist sich dieses System besonders bei Klassifikationsanfängern, da es übersichtlich und schnell erfassbar ist. Die Reduzierung auf Beckenübersichtsaufnahme a.p. und acht ausgewählte CT-Schichten in drei Ebenen ermöglicht eine zielgerichtete und zeitsparende Analyse im klinischen Alltag. Die Strahlendosis wird durch den Verzicht auf konventionelle Schrägaufnahmen verringert.

Die beschriebene Klassifikationshilfe stellt einen Ansatz zur Entwicklung eines Klassifikationsschemas auf der Basis von CT-Schichten dar. Weitere klinische Untersuchungen mit größeren Fallzahlen und Beurteilern unterschiedlichen Weiterbildungsstandes sollten folgen, um differenziertere Aussagen über die klinische Anwendbarkeit treffen zu können.

Literaturverzeichnis

1. Unfallchirurgie, *Hüftpfannenbrüche*, Klinik für Unfallchirurgie der Med. Hochschule Hannover: Hannover.
2. Pohlemann, T., et al., *The German Multicentre Pelvis Registry: a template for an European Expert Network?* Injury, 2007. **38**(4): p. 416-23.
3. Weber K., S.R., Franke J., Wentzensen A., *Systematisierte Diagnostik bei Becken- und Azetabulumfrakturen*. Trauma und Berufskrankheit, 2003(5): p. 65-70.
4. Hauschild, O., et al., *Mortality in patients with pelvic fractures: results from the German pelvic injury register*. J Trauma, 2008. **64**(2): p. 449-55.
5. Culemann, U., G. Tosounidis, and T. Pohlemann, *Weiterbildung: Die Therapie bei Azetabulumfrakturen - aktuelle Diagnostik und Behandlung*. Zentralbl. Chirurgie, 2005. **130**: p. W58-W71.
6. Tscherne, H., Pohlemann, T., *Tscherne Unfallchirurgie*. Becken und Acetabulum. 1998, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
7. Triantaphilopoulos, P.G., et al., *Long-term results in surgically treated acetabular fractures through the posterior approaches*. J Trauma, 2007. **62**(2): p. 378-82.
8. Kuner, E.H., *[Indication, technique and complications in the surgical treatment of acetabular fractures]*. Orthopade, 1997. **26**(4): p. 327-35.
9. Seebode, C., *Ein interaktiver Atlas von Acetabulumfrakturen*. medizinische Dissertation, Universität Hamburg, 2000.
10. Rommens, P.M. and M.H. Hessmann, *[Acetabulum fractures]*. Unfallchirurg, 1999. **102**(8): p. 591-610.
11. Tschauner, C., *Orthopädie und Orthopädische Chirurgie*. Becken, Hüfte, ed. C. Tschauner. 2004, Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
12. Otto, W., *[Acetabulum fractures. Diagnosis, classification, evaluation]*. Zentralbl Chir, 2000. **125**(9): p. 725-9.
13. Fenzl, G., G. Fischer, and P. Galle, *[Acetabular fractures--surgical versus conservative treatment]*. Unfallchirurgie, 1990. **16**(5): p. 230-5.
14. Ovre, S., J.E. Madsen, and O. Roise, *Transitional transverse acetabular fractures: differences between fractures with a large postero-superior fragment and the inverse T-fracture--a report of 10 unusual cases*. Acta Orthop, 2005. **76**(6): p. 803-8.
15. Hufner, T., et al., *[The value of CT in classification and decision making in acetabulum fractures. A systematic analysis]*. Unfallchirurg, 1999. **102**(2): p. 124-31.
16. Ambacher T., K.T., Muhr G., Arens S., *Klassifikation und Diagnostik von Azetabulumfrakturen*. Trauma und Berufskrankheit, 2000(2): p. 19-27.
17. Potok, P.S., K.D. Hopper, and M.J. Umlauf, *Fractures of the acetabulum: imaging, classification, and understanding*. Radiographics, 1995. **15**(1): p. 7-23; discussion 23-4.
18. Theumann, N.H., et al., *Traumatic injuries: imaging of pelvic fractures*. Eur Radiol, 2002. **12**(6): p. 1312-30.
19. Pohlemann, T. and U. Culemann, *Summary of controversial debates during the 5th "Homburg Pelvic Course" 13-15 September 2006*. Injury, 2007. **38**(4): p. 424-30.
20. Letournel, E., *Acetabulum fractures: classification and management*. Clin Orthop Relat Res, 1980(151): p. 81-106.

21. Tile, M., *Classification and assessment of acetabular fractures*. 2nd ed. Fractures of the Pelvis and Acetabulum. 1995, Ed. Baltimore: Williams and Wilkins. 259-320.
22. Müller, M.E., et al., *Manual der Osteosynthese*. 3. Auflage ed. 1992, Berlin Heidelberg New York: Springer.
23. Haag, C. and E.H. Kuner, *Acetabulumfrakturen: Anatomie, Verletzungstypen und Klassifikation, Diagnostik*. Akt. Traumatologie, 1997. **27**: p. 175-179.
24. Ohashi, K., et al., *Interobserver Agreement for Letournel Acetabular Fracture Classification with Multidetector CT: Are Standard Judet Radiographs Necessary?* Radiology, 2006.
25. Petrisor, B.A., et al., *Improving reliability in the classification of fractures of the acetabulum*. Arch Orthop Trauma Surg, 2003. **123**(5): p. 228-33.
26. Visutipol, B., et al., *Evaluation of Letournel and Judet classification of acetabular fracture with plain radiographs and three-dimensional computerized tomographic scan*. J Orthop Surg (Hong Kong), 2000. **8**(1): p. 33-37.
27. Beaulé, P.E., F.J. Dorey, and J.M. Matta, *Letournel classification for acetabular fractures. Assessment of interobserver and intraobserver reliability*. J Bone Joint Surg Am, 2003. **85-A**(9): p. 1704-9.
28. Brandser, E. and J.L. Marsh, *Acetabular fractures: easier classification with a systematic approach*. AJR Am J Roentgenol, 1998. **171**(5): p. 1217-28.
29. Saterbak, A.M., et al., *Acetabular fractures classification of Letournel and Judet--a systematic approach*. Iowa Orthop J, 1995. **15**: p. 184-96.
30. Stroszczyński, C., et al., *[clinical application of multiplanar and 3D reconstruction of spiral CT in diagnosis of acetabulum fractures]*. Aktuelle Radiol, 1996. **6**(2): p. 91-5.
31. Burkhardt, M., et al., *[New possibilities in fracture visualization by means of CT: reconstructions, 3D plannings--difficult joint fractures--modern management--improved visualization and operative planning in joint fractures]*. Zentralbl Chir, 2003. **128**(1): p. 34-9.
32. Geijer, M. and G.Y. El-Khoury, *Imaging of the acetabulum in the era of multidetector computed tomography*. Emerg Radiol, 2007. **14**(5): p. 271-87.
33. Kreitner, K.F., et al., *[Rational diagnostic imaging of pelvic and acetabulum injuries]*. Rofo, 2000. **172**(1): p. 5-11.
34. Gay, B., G. Schindler, and M. Hörl, *CT-Diagnostik bei Acetabulumfrakturen*. Hefte zur Unfallheilkunde, 1985. **174**: p. 399-403.
35. Hilty, M.P., et al., *Pelvic radiography in ATLS algorithms: A diminishing role?* World J Emerg Surg, 2008. **3**: p. 11.
36. Koo, H., et al., *Interobserver Reliability of the Young-Burgess and Tile Classification Systems for Fractures of the Pelvic Ring*. J Orthop Trauma, 2008. **22**(6): p. 379-384.
37. Lang, J.E., et al., *Observer variability in assessing articular surface displacement in acetabular fractures using a standardized measurement technique*. J Surg Orthop Adv, 2009. **18**(1): p. 9-12.
38. Dormeier J., Pohlemann T., and Mieth L., *Rechnerunterstützung für die CT-basierte Klassifikation in der Beckenchirurgie*. Forum der Medizin, Dokumentation und Medizin, Informatik, 2002(Heft 3).
39. Dormeier, J., et al., *Rechnergestützte CT-basierte Klassifikation von Acetabulumfrakturen*, Institut für Medizinische Informatik, TU Braunschweig.
40. Westphal, R., et al., *Virtuelle 3D-Szenen zur Exploration radiologischer Volumendaten am Beispiel der CT-basierten Diagnostik von Kugelgelenken*, TU Braunschweig, Institut für Medizinische Informatik.

41. Harris, J.H., Jr., et al., *Acetabular fractures revisited: part 2, a new CT-based classification*. AJR Am J Roentgenol, 2004. **182**(6): p. 1367-75.
42. White, M.S., *Three-dimensional computed tomography in the assessment of fractures of the acetabulum*. Injury, 1991. **22**(1): p. 13-9.
43. Schiebler, T.H., Schmidt, W., Zilles, K., *Anatomie- Zytologie, Histologie, Entwicklungsgeschichte, makroskopische und mikroskopische Anatomie des Menschen*. 6. Auflage ed, ed. T.H. Schiebler, Schmidt, W., Zilles K. 1995, Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
44. Moll K.J., M., M., *Anatomie - Kurzlehrbuch zum Gegenstandskatalog*. 18, überarbeitete Auflage ed. 2006, München, Jena: Urban & Fischer Verlag.
45. Rauber/Kopsch, *Anatomie des Menschen - Lehrbuch und Atlas*. 2., verbesserte Auflage ed. Bewegungsapparat, ed. B. Tillmann, Töndury, G. Vol. Band 1. 1998, Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
46. Netter, F., *Atlas der Anatomie des Menschen*. 1999: Thieme Verlag, Stuttgart, New York.
47. Harris, J.H., Jr., et al., *Acetabular fractures revisited: part 1, redefinition of the Letournel anterior column*. AJR Am J Roentgenol, 2004. **182**(6): p. 1363-6.
48. Laird, A. and J.F. Keating, *Acetabular fractures: a 16-year prospective epidemiological study*. J Bone Joint Surg Br, 2005. **87**(7): p. 969-73.
49. Schlickewei, W., et al., *Acetabulumfrakturen - Ergebnisse aus der multizentrischen Studie der Arbeitsgruppe Becken der DGU/AO*. Akt. Traumatologie, 1997. **27**: p. 197-203.
50. al-Qahtani, S. and G. O'Connor, *Acetabular fractures before and after the introduction of seatbelt legislation*. Can J Surg, 1996. **39**(4): p. 317-20.
51. Blum, J., K. Beyermann, and G. Ritter, *[Incidence of acetabular fractures before and after introduction of compulsory seatbelt fastening]*. Unfallchirurgie, 1991. **17**(5): p. 274-9.
52. Dong, C., et al., *[Operative outcomes of complex acetabular fractures and its influence factors]*. Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi, 2009. **23**(4): p. 430-4.
53. OEAMTC, *Der Österreichische Automobil-, Motorrad- und Touring Club - Crashtests*. 2009, www.oeamtc.at/netautor/html_seiten/crashtest/Specials/Crash_ohne_Gurt/index_01.html.
54. Rowe, C.R. and J.D. Lowell, *Prognosis of Fractures of the Acetabulum*. J Bone Joint Surg Am., 1961(43): p. 30-92.
55. Duparc, J., *Chirurgische Techniken in Orthopädie und Traumatologie: Beckenring und Hüfte, Band 6*. 1. Auflage ed. 2005: Elsevier Verlag.
56. Euler, E., D. Nast-Kolb, and L. Schweiberer, *[Acetabular and pelvic fractures in multiple trauma]*. Orthopade, 1997. **26**(4): p. 354-9.
57. Borrelli, J., Jr., et al., *Computer-reconstructed radiographs are as good as plain radiographs for assessment of acetabular fractures*. Am J Orthop, 2008. **37**(9): p. 455-9; discussion 460.
58. Billet, F.P., et al., *[3D-reconstruction in computed tomography as a diagnostic plus in traumatology?]*. Rontgenpraxis, 1990. **43**(10): p. 355-64.
59. Carduck, H.P., et al., *[3-dimensional display of computed tomographic bone findings--a critical evaluation]*. Rontgenpraxis, 1990. **43**(4): p. 142-50.
60. Citak, M., et al., *Virtual 3D planning of acetabular fracture reduction*. J Orthop Res, 2008. **26**(4): p. 547-52.
61. Bauer, G.J. and M.R. Sarker, *[Injury classification and surgical approach in hip dislocations and fractures]*. Orthopade, 1997. **26**(4): p. 304-16.

62. Matta, J.M., et al., *Fractures of the acetabulum. A retrospective analysis*. Clin Orthop Relat Res, 1986(205): p. 230-40.
63. Weise, K., F. Maurer, and J. Schrade, [*Hip dislocations and hip fractures--acetabular fractures. Indication, technique and results of conservative treatment*]. Orthopade, 1997. **26**(4): p. 336-47.
64. Stöckle, U., *Azetabulumfrakturen*. 2007/2008: Abteilung für Unfallchirurgie, Klinikum Rechts der Isar, TU München.
65. König, B., et al., [*Percutaneously navigated balloon fracture reduction in a displaced acetabular fracture.*]. Unfallchirurg, 2007. **110**(12): p. 1072-1075.
66. Stockle, U., et al., [*Computer assisted pelvic and acetabular surgery. Clinical experiences and indications*]. Unfallchirurg, 2002. **105**(10): p. 886-92.
67. Stockle, U., K. Schaser, and B. König, *Image guidance in pelvic and acetabular surgery--expectations, success and limitations*. Injury, 2007. **38**(4): p. 450-62.
68. DGU, *Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie AG Becken II*. 2007.
69. Weinberg, A.M. and H. Reilmann, [*The Pelvic Professional Section of the German Society of Accident Surgery and the German Section of AO-International*]. Orthopade, 1992. **21**(6): p. 449-52.
70. Kaulbach, C., et al., [*Radiologic diagnosis of acetabular fractures*]. Radiologe, 1989. **29**(10): p. 501-7.
71. Olson, S.A., *CT-based acetabular fracture classification*. AJR Am J Roentgenol, 2005. **185**(1): p. 277-8; author reply 278-80.
72. Jurik, A.G., L.C. Jensen, and J. Hansen, *Total effective radiation dose from spiral CT and conventional radiography of the pelvis with regard to fracture classification*. Acta Radiol, 1996. **37**(5): p. 651-4.
73. Wedegartner, U., et al., [*Multislice CT (MSCT) in the detection and classification of pelvic and acetabular fractures*]. Rofo, 2003. **175**(1): p. 105-11.
74. Resnik, C.S., et al., *Diagnosis of pelvic fractures in patients with acute pelvic trauma: efficacy of plain radiographs*. AJR Am J Roentgenol, 1992. **158**(1): p. 109-12.
75. MemDoc, *Auswertung Multicenterstudie Becken der DGU*. 2009, Universität Bern www.memdoc.ch.
76. Rommens, P.M., P.L. Broos, and P. Vanderschot, [*Preparation and technique for surgical treatment of 225 acetabulum fractures. 2 year results of 175 cases*]. Unfallchirurg, 1997. **100**(5): p. 338-48.
77. Mack, L.A., J.D. Harley, and R.A. Winkquist, *CT of acetabular fractures: analysis of fracture patterns*. AJR Am J Roentgenol, 1982. **138**(3): p. 407-12.
78. Thornton, D., *Acetabulum, Fractures*. <http://www.emedicine.com/radio/topic5.htm>, 2007.
79. Haveri, M., et al., *Multiphase and 3D CT of acetabular fractures*. Acta Radiol, 1998. **39**(3): p. 257-64.
80. Harley, J.D., L.A. Mack, and R.A. Winkquist, *CT of acetabular fractures: comparison with conventional radiography*. AJR Am J Roentgenol, 1982. **138**(3): p. 413-7.
81. Scott, W.W., Jr., E.K. Fishman, and D. Magid, *Acetabular fractures: optimal imaging*. Radiology, 1987. **165**(2): p. 537-9.
82. Borrelli, J., Jr., et al., *Assessment of articular fragment displacement in acetabular fractures: a comparison of computerized tomography and plain radiographs*. J Orthop Trauma, 2002. **16**(7): p. 449-56; discussion 456-7.

83. Kellam, J.F. and A. Messer, *Evaluation of the role of coronal and sagittal axial CT scan reconstructions for the imaging of acetabular fractures*. Clin Orthop Relat Res, 1994(305): p. 152-9.
84. Leschka, S., et al., *Coronal ultra-thick multiplanar CT reconstructions (MPR) of the pelvis in the multiple trauma patient: an alternative for the initial conventional radiograph*. Rofo, 2005. **177**(10): p. 1405-11.
85. Falchi, M. and G.A. Rollandi, *CT of pelvic fractures*. Eur J Radiol, 2004. **50**(1): p. 96-105.
86. Patel, V., et al., *The value of specific radiological features in the classification of acetabular fractures*. J Bone Joint Surg Br, 2007. **89**(1): p. 72-6.
87. Hurson, C., et al., *Rapid prototyping in the assessment, classification and preoperative planning of acetabular fractures*. Injury, 2007. **38**(10): p. 1158-62.
88. Burstein, A.H., *Fracture classification systems: do they work and are they useful?* J Bone Joint Surg Am, 1993. **75**(12): p. 1743-4.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Becken mit Os coxae und dessen Bestandteilen [6].....	8
Abbildung 2: Aufbau des Os coxae aus drei Knochenanteilen [46]	10
Abbildung 3: Bänder des rechten Hüftgelenkes: Ansichten von ventral und dorsal [46]	11
Abbildung 4: schematische Darstellung der Pfeilerstruktur des Os coxae nach Letournel [47]	12
Abbildung 5: mögliche Punkte der indirekten Kraffteinleitung [9].....	14
Abbildung 6: Pathobiomechanische Entstehung von Azetabulumfrakturen [6]	15
Abbildung 7: Dashboard-Injury – nachgestellt im Crashtest [53]	16
Abbildung 8: Unterteilung der Azetabulums für die klinische Klassifikation nach Rowe und Lowell [54]	17
Abbildung 9: Klassifikation von Azetabulumfrakturen nach Letournel und Judet [6]	19
Abbildung 10: schematische Darstellung der konventionellen Röntgentechniken Obturator- und Alaaufnahme [56].....	22
Abbildung 11: radiologische Leitlinien in der a.p.-Aufnahme [22]	23
Abbildung 12: Bestimmung des Azetabulumdachbogens nach J. Matta [12]	27
Abbildung 13: dorsaler Zugang [64]	30
Abbildung 14: ventraler Zugang schematisch und intraoperativ [64]	30
Abbildung 15: erweiterter iliofemoraler Zugang [64]	31
Abbildung 16 : Häufigkeitsverteilung der Frakturtypen im Patientenpool	38
Abbildung 17 : Häufigkeitsverteilung nach Frakturtypen zweier großer Untersuchungen [6]	39
Abbildung 18: Schicht 1 – CT-Bild und schematisch	41
Abbildung 19: Schicht 2 – CT-Bild und schematisch	41
Abbildung 20: schematische Darstellung eines axialen CT-Schnitts durch das Azetabulumdach rechts [11].....	42
Abbildung 21: Frakturverläufe in axialen CT-Schnitten [78].....	42
Abbildung 22: Schicht 3 – CT-Bild und schematisch	43
Abbildung 23: Schicht 4 – CT-Bild und schematisch	44
Abbildung 24: Frakturverläufe in axialen CT-Schnitten [78].....	44
Abbildung 25: Schicht 5 – CT-Bild und schematisch	45
Abbildung 26: Schicht 6 – CT-Bild und schematisch	45
Abbildung 27: Schicht 7 – CT-Bild und schematisch	46
Abbildung 28: Schicht 8 – CT-Bild und schematisch	46
Abbildung 29: Fragebogen zur Auswertung der Frakturklassifikation und zur Evaluation der CT- basierten Klassifikationshilfe.....	49
Abbildung 30: Beispiel 1 – elementarer Frakturtyp hintere Wand.....	54
Abbildung 31: Beispiel 2 – elementarer Frakturtyp vorderer Pfeiler.....	56
Abbildung 32: Beispiel 3 - komplexer Frakturtyp Querfraktur plus hintere Wand	58
Abbildung 33: Beispiel 4 – komplexer Frakturtyp vP + hHQ	60
Abbildung 34: Beispiel 5 - komplexer Frakturtyp Zwei-Pfeilerfraktur	62
Abbildung 35: Klassifikation der externen Gruppe - Einzelergebnisverteilung	71

Abbildung 36: Auswertung der Klassifikationsergebnisse nach Weiterbildungsstatus in %	73
Abbildung 37: Auswertung der Zusatzfragen – absolute Häufigkeiten der Antworten.....	74

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: AO-Klassifikation der Azetabulumfrakturen nach Typen A, B, C und Modifikatoren sowie Spezifikatoren	20
Tabelle 2: Anzahl der Verletzungen im Patientenpool – Verteilung für die Jahre 2005 und 2006 [75].	37
Tabelle 3: Alters- und Geschlechtsverteilung – Altersangaben in Jahren	47
Tabelle 4: Ätiologie der Azetabulumfrakturen der untersuchten Patientenfälle	48
Tabelle 5: Ausgewählte Patientenfälle mit dazugehöriger Referenzklassifikation	52
Tabelle 6: Patientenfall, Frakturtyp und das Auftreten von Frakturlinien in den definierten CT-Schichten	53
Tabelle 7: Klassifikationsergebnisse Fall 1	63
Tabelle 8: Klassifikationsergebnisse Fall 2	64
Tabelle 9: Klassifikationsergebnisse Fall 3	64
Tabelle 10: Klassifikationsergebnisse Fall 4	65
Tabelle 11: Klassifikationsergebnisse Fall 5	65
Tabelle 12: Klassifikationsergebnisse Fall 6	66
Tabelle 13: Klassifikationsergebnisse Fall 7	67
Tabelle 14: Klassifikationsergebnisse Fall 8	67
Tabelle 15: Klassifikationsergebnisse Fall 9	68
Tabelle 16: Klassifikationsergebnisse Fall 10	68
Tabelle 17: Klassifikationsergebnisse Fall 11	69
Tabelle 18: Klassifikationsergebnisse Fall 12	70
Tabelle 19: Klassifikationsergebnisse Mitglieder entsprechend den Frakturtypen	72
Tabelle 20: Fehlklassifikationsraten nach Frakturtypen	72

Danksagung

Mein Dank geht an Herrn Prof. Dr. med. N. Haas, Leiter des Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie, Klinik für Orthopädie, Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie der Medizinischen Fakultät der Charité, Campus Virchow Klinikum, an dessen Klinik diese Arbeit entstand.

Ich danke meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. U. Stöckle, für die gute Betreuung, die Anregung dieser Arbeit und die Überlassung des Themas.

Besonderer Dank gilt meinem Betreuer Herrn Dr. med. A. Schäffler für seine tatkräftige Unterstützung, seine intensive Betreuung, die stets hilfreiche Zusammenarbeit, seine Motivation und Geduld.

Ich danke der AG Becken der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie unter der Leitung von Herrn PD Dr. med. U. Culemann und deren Mitglieder für die aktive Teilnahme an der Studie und die ehrliche Evaluation.

Der Klinik für Radiologie der Medizinischen Fakultät der Charité, Campus Virchow Klinikum danke ich für die Bereitstellung der Bilddaten. Vielen Dank an Herrn Dr. med. S. Niehues für die Hilfestellung in radiologischen Fragen.

Ich danke Herrn Thomas Hänsel, der zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Ein herzliches Dankeschön geht an meine Familie für ihre stetige Unterstützung, Motivation und Geduld.

Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Erklärung

Hiermit erkläre ich, Diana Knöschke, geboren am 16.04.1982 in Cottbus, an Eides Statt, die unter dem Titel:

Erarbeitung, Evaluation und klinische Erprobung einer CT-basierten Klassifikationshilfe für Azetabulumfrakturen

verfasste Dissertation ausschließlich durch mich selbst geschrieben, ohne unzulässige Hilfe Dritter verfasst, die benutzten Hilfsmittel und die zitierte Literatur vollständig angegeben zu haben. Die oben genannte Dissertation ist keine auch nur in Teilen wiedergegebene Kopie anderer Arbeiten.

Bad Kissingen, 16.10.2009

Diana Knöschke