

Aus dem Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie  
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

**Wertigkeit digital rekonstruierter Röntgenbilder zur Diagnose und Analyse  
von Acetabulumfrakturen**

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der  
Medizin

der Universitätsmedizin  
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz  
vorgelegt von

Alexander Morland  
aus Stepnoje

Mainz, 2021

Tag der Promotion: 06. Juli 2021

Meiner lieben Familie

## **Zusammenfassung**

Die Acetabulumfraktur – der Bruch der Hüftpfanne – gehört zu den Hochgeschwindigkeitstraumen und erfordert aufgrund ihrer anatomischen Besonderheiten eine sorgfältige Diagnostik. Zu dieser zählen eine gründliche Unfallanamnese, eine klinische Befunderhebung und eine radiologische Bildgebung des Beckens in anterior-posteriore (a.p.), Ala- und Obturatorposition sowie eine Computertomografie (CT). Nur so kann die Fraktur exakt klassifiziert und die Entscheidung zwischen einer operativen oder konservativen Therapie getroffen werden. Weiterhin gibt die bildgebende Diagnostik Aufschluss über den optimalen operativen Zugang. Das Ziel der vorliegenden Studie ist die Analyse der Wertigkeit des konventionellen Röntgens im Vergleich zu digital rekonstruierten Röntgenbildern (DRR) zur Diagnose und Analyse von Acetabulumfrakturen.

Hierfür wurden Röntgen- und CT-Aufnahmen von 90 Patienten, die im Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie der Johannes Gutenberg-Universität Mainz aufgrund einer Acetabulumfraktur behandelt wurden, von drei unabhängigen Gutachtern hinsichtlich der Frakturklassifikation, der Gelenkkongruenz, der Erkennbarkeit des Pfannendaches, der Bildqualität und der Dislokation von Frakturfragmenten bewertet. Für jede Beurteilung des Frakturtyps wurden die drei Projektionen (a.p., Ala, Obturator) herangezogen. Die Verlässlichkeit der Auswertung wurde anhand Fleiss' Kappa-Koeffizienten statistisch analysiert.

Es zeigte sich insgesamt eine bessere Übereinstimmung der Auswertungen zwischen den Gutachtern für die konventionellen Röntgenaufnahmen, während die Reliabilität basierend auf den Auswertungen der DRR überwiegend niedrig war.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse lässt sich festhalten, dass DRR zwar durchaus zu einer richtigen Bewertung von Frakturtyp und -klassifikation beitragen können, diesbezüglich aber deutliche Differenzen in der Beurteilung unterschiedlicher Rater bestehen. Dies macht die Umsetzung im klinischen Alltag problematisch, da eine hohe Reliabilität der Auswertung die Grundvoraussetzung für eine breite Anwendbarkeit des diagnostischen Verfahrens ist. Zukünftige Studien mit einer größeren Anzahl unabhängiger Rater müssen durchgeführt werden, um die Vorteile und Beschränkungen der DRR im Vergleich zu den konventionellen Röntgenbildern zu analysieren.



## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	IX
Abbildungsverzeichnis .....	X
Tabellenverzeichnis .....	XII
1 Einleitung .....	1
1.1 Hintergrund .....	1
1.2 Anatomie .....	3
1.2.1 Knöcherne und ligamentäre Anteile .....	3
1.2.2 Blutversorgung .....	5
1.2.3 Topografische Beziehung .....	5
1.2.3.1 Muskulatur .....	5
1.2.3.2 Innervation und Gefäßversorgung .....	6
1.3 Unfallmechanismen und Frakturmechanismen .....	6
1.3.1 Unfallursachen .....	6
1.3.2 Indirekte Gewalteinwirkung .....	7
1.3.3 Direkte Gewalteinwirkung .....	7
1.4 Diagnostik der Acetabulumfrakturen .....	9
1.4.1 Klinische Diagnostik .....	9
1.4.2 Bildgebende Diagnostik .....	9
1.4.3 Pfannendachbogenwinkel .....	13
1.4.4 CT .....	13
1.4.5 Magnetresonanztomografie .....	14
1.5 Frakturklassifikation .....	14
1.5.1 Klassifikation nach Judet und Letournel .....	14
1.5.2 Einfache Frakturtypen .....	14
1.5.2.1 Fraktur der hinteren Wand .....	14
1.5.2.2 Fraktur des hinteren Pfeilers .....	15

1.5.2.3	Fraktur der vorderen Wand .....	15
1.5.2.4	Fraktur des vorderen Pfeilers .....	15
1.5.2.5	Querfraktur .....	15
1.5.3	Kombinierte Frakturtypen.....	16
1.5.3.1	Fraktur der hinteren Wand und des hinteren Pfeilers.....	16
1.5.3.2	Querfraktur mit Fraktur der hinteren Wand .....	16
1.5.3.3	T-Fraktur.....	17
1.5.3.4	Fraktur des vorderen Pfeilers mit hinterer Hemiquerfraktur .....	17
1.5.3.5	Zwei-Pfeiler-Fraktur .....	17
1.5.4	Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese (AO-Klassifikation) .....	18
1.5.4.1	Typ-A-Frakturen .....	18
1.5.4.2	Typ-B-Frakturen .....	18
1.5.4.3	Typ-C-Frakturen .....	18
1.6	Begleitverletzungen .....	19
1.6.1	Nervenverletzungen.....	19
1.6.2	Gefäßverletzungen und Blutungen .....	20
1.7	Therapie .....	20
1.7.1	Entscheidungsfindung und Indikationsstellung .....	20
1.7.2	Konservative Therapie .....	21
1.7.3	Operative Therapie .....	22
1.7.4	Allgemeine Kontraindikationen .....	23
1.7.5	Operationsplanung und Zugangswege .....	23
1.7.5.1	Kocher-Langenbeck-Zugang.....	24
1.7.5.2	Ilioinguinaler-Zugang.....	26
1.7.5.3	Erweiterter iliofemoraler Zugang .....	27
1.7.5.4	Stoppa-Zugang.....	27

1.7.6	Operationstechniken .....	28
1.7.7	Nachsorge und Komplikationen .....	28
1.7.7.1	Nachsorge .....	28
1.7.7.2	Komplikationen .....	29
1.8	Problembeschreibung und Fragestellung .....	31
1.8.1	Problembeschreibung .....	31
1.8.2	Fragestellung .....	32
2	Material und Methoden .....	34
2.1	Patienten und Datenerhebung .....	34
2.2	Bildgebende Verfahren .....	34
2.2.1	Radiologische Verfahren .....	35
2.2.1.1	Konventionelle Röntgendiagnostik .....	35
2.2.2	Computertomografie .....	36
2.2.3	Digital rekonstruierte Röntgenbilder (DRR) .....	37
2.2.4	DICOM-Format .....	37
2.2.5	Strahlenbelastung .....	38
2.2.6	Beurteilungsfragebogen .....	38
2.2.7	Fragebogen zur Erkennbarkeit der Leitlinien und Bildeinstellungen .....	39
2.3	Statistik .....	40
3	Ergebnisse .....	41
3.1	Alters- und Geschlechtsverteilung der Patienten .....	41
3.2	Körpergröße, Gewicht und Body-Mass-Index der Patienten .....	42
3.3	Unfallursachen .....	43
3.4	Radiologische Aufnahmen und CT-Schichtdicken .....	44
3.5	Frakturklassifikation .....	45
3.6	Therapie und Operationszugänge .....	46
3.7	Übereinstimmungen von Röntgen- und CT-Aufnahmen .....	47

---

3.7.1	Spezifische Frakturen .....	48
3.7.2	Dislokation von Frakturfragmenten .....	56
3.7.3	Frakturverlauf .....	56
3.7.4	Gelenkstufe bzw. Impaktion .....	57
3.7.5	Gelenkkongruenz bzw. -inkongruenz .....	57
3.7.6	Pfannendach .....	58
3.7.7	Qualität der Bilder .....	59
3.7.8	Frakturklassifikation nach Judet und Letournel .....	61
3.8	Ergebnisse des Fragebogens zur Erkennbarkeit der Leitlinien und Bildeinstellungen .....	62
4	Diskussion .....	66
	Literaturverzeichnis .....	75
	Anhang .....	80

**Abkürzungsverzeichnis**

AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
a.p.	anterior-posterior
BMI	Body Mass Index
CT	Computertomografie
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
DRR	digital rekonstruierte Röntgenbilder
LWK	Lendenwirbelkörper
MTF	Modulation-Transfer-Function
NPS	Noise-Power-Spectrum
NSAID	nichtsteroidale Antiphlogistika
SRV	Signal-Rausch-Verhältnis
ZOU	Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Pfeilerstruktur des Hüftbeins. Rot: vorderer Pfeiler, Gelb: hinterer Pfeiler. Quelle: [7] .....	4
Abbildung 2 Bandapparat eines rechten Hüftgelenks. Quelle: [11] .....	5
Abbildung 3 Biomechanik der Frakturentstehung: Kraftvektoren und momentane Position des Femurkopfes im Hüftgelenk. Quelle: [9].....	8
Abbildung 4 Rechts drei Standardprojektionen zur Beurteilung des Acetabulums. a: Leitlinien im a.p.-Strahlengang, b: Ala-Projektion, c: Obturatorprojektion. [7] S.490 Links Gegenüberstellung die DRR-Aufnahmen (eigene Darstellung) .....	11
Abbildung 5 Klassifikation der Acetabulumfrakturen nach Judet und Letournel, in der oberen Reihe 5 einfache und in der unteren Reihe 5 kombinierte Frakturtypen [65].	16
Abbildung 6 AO-Klassifikation der Azetabulumfrakturen. Quelle: [28].....	19
Abbildung 7 Hautinzision zum Kocher-Langenbeck-Zugang [65].....	24
Abbildung 8 Leitstrukturen des Kocher-Langenbecks-Zuganges [68] .....	25
Abbildung 9 Leitstruktur zum Ilioinguinalen Zugang mit den drei Fenstern [35] .....	26
Abbildung 10 Beispielaufnahmen der verwendeten bildgebenden Verfahren. Rechts: DRR-Aufnahme (a.p.), links: konventionelles Röntgen (a.p.).....	35
Abbildung 11 Altersverteilung der Patienten nach Geschlecht.....	41
Abbildung 12 Verteilung des BMI der untersuchten Patienten .....	42
Abbildung 13 Anzahl der Patienten mit einem BMI über 30 kg/m <sup>2</sup> nach Altersgruppe .....	42
Abbildung 14 Unfallursachen Gesamtkohorte .....	43
Abbildung 15 Häufigkeitsverteilung der Unfallursachen nach Geschlecht .....	44
Abbildung 16 Frakturklassifikation nach Judet und Letournel, n = 90 .....	45
Abbildung 17 Verteilung der 24 vorderen Pfeiler- und hinteren Hemiquerfrakturen ..	46
Abbildung 18 Häufigkeitsverteilung der Operationszugänge, n = 63.....	47
Abbildung 19 Anzahl der Übereinstimmungen von Röntgen- und DRR-Aufnahmen von Gutachter 1, 2 und 3; anterior-posterior/ Ala- und Obturator-Aufnahme der Ala, Ramus pubis superior/ inferior, vorderer Pfeiler, hinterer Pfeiler, vordere Wand, hintere Wand. ....	48
Abbildung 20 Vergleich der Bildqualität Röntgen-Aufnahmen mit DRR-Aufnahmen aller drei Beurteiler, Kategorie: schlecht, akzeptabel, gut.....	60

Abbildung 21 Interrater Reliabilität der Frakturklassifikation nach Judet & Letournel, Röntgen- versus DRR-Aufnahmen, Fleiss' Kappa für drei Rater .....	62
Abbildung 22 Darstellung der Kennlinien in a.p.-Aufnahme, Röntgen versus DRR ..	63
Abbildung 23 Aufnahmekriterien der a.p.-Darstellung, Röntgen versus DRR .....	64
Abbildung 24 Aufnahmekriterien der Foramen obturatum-Darstellung, Röntgen versus DRR .....	64
Abbildung 25 Aufnahmekriterien der Ala-Darstellung, Röntgen versus DRR .....	65
Abbildung 26 Faktoren und Parameter, die sich auf die Qualität von digital rekonstruierten Röntgenbildern auswirken (eigene Darstellung).....	67
Abbildung 27 Frakturklassifikation nach Judet und Letournel, der vorliegenden Studie (grün), Stöckle et al. 2017 (rot) und Gänssle 2011 (blau) [3, 64].....	74

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1 CT-Schichtdicken .....	44
Tabelle 2 Einordnung von Fleiss' Kappa-Koeffizienten nach Landis und Koch.....	47
Tabelle 3 Häufigkeit einer Ala-Fraktur entsprechend der Einschätzung der drei Rater anhand von drei Projektionen .....	49
Tabelle 4 Häufigkeit einer Fraktur des <i>Ramus pubis superior</i> entsprechend der Einschätzung der drei Rater anhand von drei Projektionen .....	50
Tabelle 5 Häufigkeit einer Fraktur des <i>Ramus pubis inferior</i> entsprechend der Einschätzung der drei Rater anhand von drei Projektionen .....	51
Tabelle 6 Häufigkeit einer Fraktur des vorderen Pfeilers entsprechend der Einschätzung der drei Rater anhand von drei Projektionen .....	52
Tabelle 7 Häufigkeit einer Fraktur des hinteren Pfeilers entsprechend der Einschätzung der drei Rater anhand von drei Projektionen .....	53
Tabelle 8 Häufigkeit einer Fraktur der vorderen Wand entsprechend der Einschätzung der drei Rater anhand von drei Projektionen .....	54
Tabelle 9 Häufigkeit einer Fraktur der hinteren Wand entsprechend der Einschätzung der drei Rater anhand von drei Projektionen .....	55
Tabelle 10 Einschätzung der Bewertungsmöglichkeit von Frakturfragmenten durch die drei Rater .....	56
Tabelle 11 Einschätzung der Bewertungsmöglichkeit des Frakturverlaufs durch die drei Rater .....	56
Tabelle 12 Einschätzung der Bewertungsmöglichkeit der Gelenkstufe/Impaktion durch die drei Rater .....	57
Tabelle 13 Einschätzung der Bewertungsmöglichkeit der Gelenkkongruenz durch die drei Rater .....	58
Tabelle 14 Einschätzung der Bewertungsmöglichkeit des Pfannendachs durch die drei Rater .....	58
Tabelle 15 Interobserver Reliabilität der Qualitätsbewertung der DRR- und Röntgenbilder, Kappa-Koeffizient für alle Beurteiler .....	59
Tabelle 16 Reliabilität der Frakturklassifikation nach Judet und Letournel durch die drei Rater .....	61
Tabelle 17a-d Ergebnisse des Fragebogens zur Erkennbarkeit und Beurteilbarkeit der Leitlinien und Bildeinstellungen .....	63



---

Tabelle 18 Beispielhafte Bewertungen der Bildqualität und Übereinstimmungen (Übereinstimmung: 0 = identische Bewertung, 1 = Unterschied von einer Bewertungsstufe, 2 = Unterschied von zwei Bewertungsstufen).....	71
--	----

## 1 Einleitung

### 1.1 Hintergrund

In den letzten Jahrzehnten ist die Zahl der im Straßenverkehr Verunglückten und Getöteten bundesweit kontinuierlich gesunken. Die Gründe dafür sind vielfältig und umfassen die Einführung der Helm-, Gurt- und Kindersitzpflicht, Geschwindigkeitsbeschränkungen, verbesserte Fahrzeugtechnik und -sicherheit (z. B. Airbags) sowie eine verbesserte medizinische Erstversorgung [1]. Dennoch führt ein Fehlverhalten der Fahrzeugführer beim Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren, bei der Vorfahrtachtung und dem Abstandhalten weiterhin zu Verkehrsunfällen. Obwohl die Zahl der Verunglückten je nach Ortslage, Witterungs- und Straßenverhältnissen konstant bleibt, ist das Fahren mit erhöhter Geschwindigkeit hauptursächlich für schwere Verletzungen im Straßenverkehr.

Acetabulumfrakturen gehören zu den Hochgeschwindigkeitstraumen, die zwar mit einem Anteil von weniger als 3 % aller Gelenkfrakturen eher selten sind, jedoch eine schwere Verletzung darstellen [2]. Sie stellen aufgrund ihrer Gelenkbeteiligung eine Sonderform der Beckenverletzung dar. Es zeigte sich in einschlägigen Studien, dass bei etwa 50–80 % der polytraumatisierten und mehrfachverletzten Patienten eine Acetabulumfraktur als Begleitverletzung vorliegt [2]. Zu den hochenergetischen Traumen gehören nicht nur ein Sturz aus großer Höhe, sondern auch Arbeits-, Verkehrs- und Sportunfälle [3]. Zunehmend sind auch die Niedrigenergetraumen wie der häusliche Sturz, der überwiegend bei älteren Patienten mit veränderter Knochenstruktur zu beobachten ist [72]. Dabei wird die kinetische Energie axial auf den Femurkopf oder durch direkten Anprall von der Seite auf die Trochanterregion übertragen. Das Verletzungsmuster variiert stark und hängt von der direkten und indirekten Gewalteinwirkung ab.

Eine sorgfältige Diagnostik einschließlich einer gründlichen Unfallanamnese, einer klinischen Befunderhebung und einer radiologischen Bildgebung des Beckens in a.p.-, Ala- und Obturatorposition sowie eine Computertomografie (CT) sind wesentlich für die exakte Frakturklassifikation, die Entscheidung zwischen einer operativen oder konservativen Therapie und die Wahl des operativen Zugangs. Azetabulumfrakturen stellen aufgrund der anatomischen Besonderheiten bei der Frakturversorgung, der

anspruchsvollen Frakturklassifikation, der Wahl des operativen Zugangswegs, der Begleitverletzungen und der Erfahrungen des Operateurs für den Chirurgen immer noch eine große Herausforderung dar. Deswegen sollte die Behandlung von davon betroffenen Patienten speziellen Kliniken mit entsprechendem Equipment und erfahrenen Beckenchirurgen vorbehalten bleiben [4].

Bei der Entscheidung zwischen einer operativen und einer konservativen Therapie sollten neben dem Ergebnis einer geschlossenen Reposition auch die Erwartungshaltung des Patienten sowie dessen funktionelle Bedürfnisse und psychischer bzw. physischer Zustand berücksichtigt werden. Ebenso können hier die chirurgische Erfahrung des Operateurs und die Verfügbarkeit eines entsprechenden Instrumentariums ausschlaggebend sein [3].

Das Ziel der Therapie ist die Wiederherstellung der Gelenkkongruenz, das heißt eine stufenfreie Rekonstruktion sowie eine durch Osteosynthese stabile und sichere Retention der Gelenkfläche [3]. Eine konservative Therapie ist dem operativen Ansatz vorzuziehen, wenn eine Fraktur minimal bzw. nicht disloziert oder bei Zwei-Pfeiler-Frakturen sekundär kongruent ist, oder wenn eine schwere Osteoporose oder allgemeinmedizinische Kontraindikationen bestehen. Ist eine Fraktur hingegen mehr als 2 mm disloziert, das Hüftgelenk instabil und ist dieses von einer Nervenschädigung begleitet oder zeigen sich Repositionshindernisse mit inkarzerierten Fragmenten, sollte diese Fraktur operativ versorgt werden.

Entsprechend dem diagnostischen Algorithmus bei Acetabulumfrakturen bekommen alle Patienten eine konventionelle a.p.-Beckenübersichtsaufnahme, um eine entsprechende Verletzung zu bestätigen und diese von den häufig vorkommenden Frakturen des proximalen Femurs abzugrenzen. Der Vorteil dieser Vorgehensweise liegt darin, dass in jedem Schockraum ein Röntgenapparat verfügbar ist, Bildgebung und Diagnostik zeitsparend sind und der Vergleich mit der gesunden Seite sowie die Sicherung von Begleitverletzungen ermöglicht werden.

Bei unklaren Befunden werden weitere Röntgenaufnahmen benötigt. Dabei stellen die Ala- und Obturator-Schrägaufnahmen eine wesentliche Ergänzung dar und geben zusätzliche diagnostische Sicherheit. Seit Einführung der CT in den 70er-Jahren und deren ständiger technischer Weiterentwicklung hat sich diese als eines der wesentlichen Werkzeuge bei der Diagnostik schwieriger Gelenkverletzungen etabliert.

Gerade bei komplizierten Gelenkverletzungen wie Acetabulumfrakturen bietet die CT eine bessere Visualisierung der intraartikulären Fragmente und liefert Zusatzinformationen über die Luxations- und Subluxationsstellung des Gelenkes, begleitende Weichteilschäden, Trümmerzonen, Impressionen und Hüftkopffpathologien [3, 5].

## 1.2 Anatomie

### 1.2.1 Knöcherne und ligamentäre Anteile

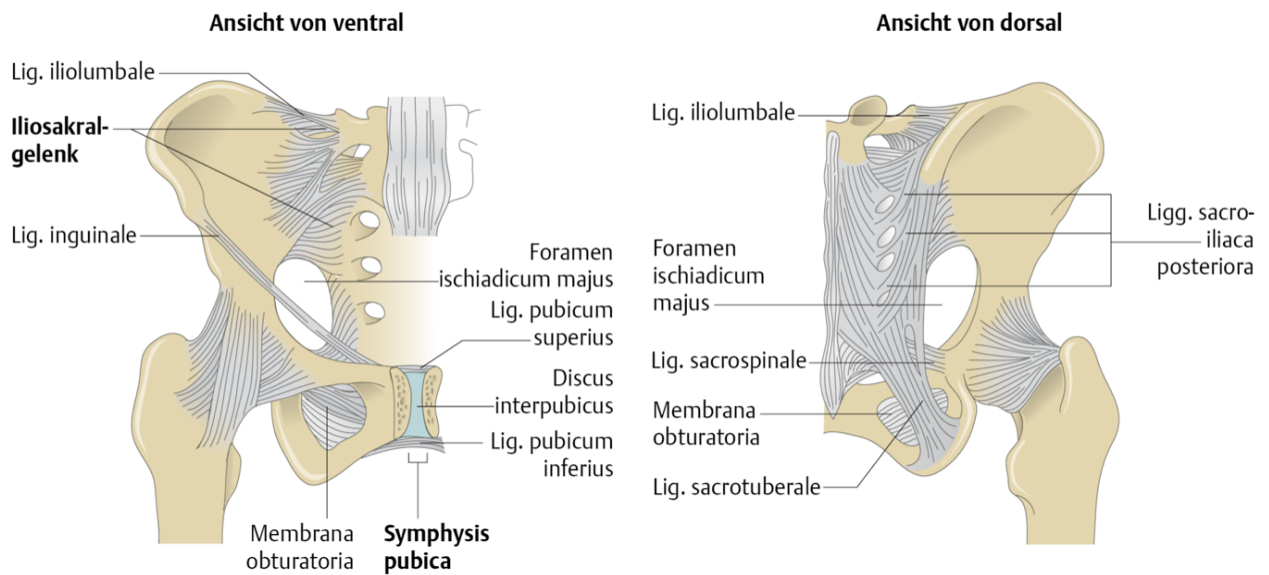
Das Hüftbein (*Os coxae*) besteht aus drei Knochen, dem Darmbein (*Os ilium*) im kranialen Teil, dem Schambein (*Os pubis*) im ventralen Teil und dem Sitzbein (*Os ischii*) im dorsokaudalen Teil (Abbildung 1). Im Kindesalter sind diese Knochen durch knorpelige Wachstumsfugen getrennt, die sich in der Hüftpfanne (*Acetabulum*) y-förmig treffen und zwischen dem 14. und 16. Lebensjahr zu einem einzigen Knochen, dem *Os coxae*, synostosieren [6].

Das *Acetabulum* (lat. *Essignäpfchen*) entspricht der annähernden Kugelform des Hüftkopfes (*Caput femoris*) und dient an der Außenseite des Beckens der Aufnahme des Hüftkopfes, woraus das Hüftgelenk (*Articulatio coxae*) gebildet wird. Die durch Rouviere (1940) beschriebene Pfeilerstruktur des *Acetabulum*s wird als „extraanatomische Betrachtung“ angesehen, die die Klassifikation der verschiedenen Verletzungstypen erleichtert [7]. Der vordere Pfeiler besteht aus dem längeren Schenkel des auf dem Kopf stehenden Y ( $\lambda$ ), der sich aus dem *Os ilium*, der ventralen Hälfte des *Acetabulum*s und einem kleinen Anteil des *Os pubis* zusammensetzt. Der als hintere Pfeiler bezeichnete kurze Schenkel des  $\lambda$  setzt sich aus Anteilen des *Os ilium*, *Os ischium* sowie der dorsalen Hälfte des *Acetabulum*s zusammen und besitzt eine ausgeprägte dichte und feste Knochensubstanz (*Os innominatum*) [7]. Somit lässt sich das Hüftgelenk in ein iliakales, acetabulares und ein pubisches Segment unterteilen. Die gelenkbildende *Fossa acetabuli* wird von einer hufeisenförmigen Knorpelschicht (*Facies lunata*) überzogen, die nach kaudal zum *Foramen obturatum* offen ist. Der distal gelegene Einschnitt (*Incisura acetabuli*) wird durch ein kräftiges überknorpeltes Querband (*Ligamentum transversum acetabuli*) zu einem Kreis geschlossen (Abbildung 2).

Am lateralen Hüftpfannenrand sitzt eine derbe faserknorpelige Gelenkklippe (*Labrum acetabuli*), die den Hüftkopf etwas über dessen Äquator hinaus umschließt. Die Gelenkkapsel (*Capsula articularis*) des Hüftgelenks ist aufgrund des großen Bewegungsumfanges relativ weit und schließt große Teile des Schenkelhalses ein, die eine Überstreckung verhindert. Sie wird durch vier Ligamente verstärkt, die zirkulär aus dem *Acetabulum* entspringen: aus dem Darmbein (*Ligamentum iliofemorale*), Schambein (*Ligamentum pubofemorale*), Sitzbein (*Ligamentum ischiofemorale* am Schenkelhals) sowie aus der Ringzone (*Zona orbicularis*), die den Schenkelhals umschließt. Die Bänder ziehen schraubenförmig schräg über die Gelenkkapsel hinweg, sodass sie sich beim Beugen entspannen und beim Strecken anspannen. Hierdurch wird im Stehen eine zusätzliche Stabilität erreicht und im Sitzen gleichzeitig eine freie Beweglichkeit ermöglicht. Über das Hüftkopfband (*Ligamentum capitis femoris*) ziehen aus der *Fossa acetabuli* Blutgefäße zur Epiphyse ins Hüftkopfbereich. Im Erwachsenenalter hat das Hüftkopfband (*Ligamentum femoris capitis*) keine mechanische Bedeutung mehr und die Blutgefäße der *Arteria obturatoria* obliterieren [6, 8-10].



Abbildung 1 Pfeilerstruktur des Hüftbeins. Rot: vorderer Pfeiler, Gelb: hinterer Pfeiler. Quelle: [7]



**Abbildung 2** Bandapparat eines rechten Hüftgelenks. Quelle: [11]

## 1.2.2 Blutversorgung

Die Blutgefäßversorgung des Hüftgelenks erfolgt über mehrere Kollateralen. Einige Äste der *Arteria obturatoria* versorgen den vorderen Pfeiler sowie zentrale Anteile des *Acetabulum*s. Der untere Teil des dorsalen Pfeilers wird durch die *Arteria glutea inferior* versorgt, während Äste der *Arteria glutea superior* den hinteren Pfeiler sowie die kraniale Fläche des Gelenkrandes versorgen. Die Hauptversorgung des Schenkelhalses und der Gelenkkapsel erfolgt durch Äste der *Arteria circumflexa femoris medialis* und *lateralis* sowie Äste der *Arteria profunda femoris*, die den Schenkelhals von ventral und dorsal umschlingen und im Schenkelhalsbereich ein dichtes Gefäßnetz bilden. Verletzungen in diesem Bereich erklären die starken Blutungen aus den Frakturregionen und die Nekrosen am Hüftkopf [6, 8, 12, 13].

## 1.2.3 Topografische Beziehung

### 1.2.3.1 Muskulatur

Das Hüftgelenk wird von allen Seiten von einem dicken Muskelmantel umgeben. Von dorsokranial ist der *Musculus gluteus maximus* als kräftigster Extensor zusammen mit dem *Musculus gluteus minimus* und *medius* für die Abduktion und Außenrotation im

Hüftgelenk verantwortlich. Der *Musculus iliopsoas* zieht von medial am vorderen Pfeiler vorbei und ist der kräftigste Flexor. Weitere Muskeln wie die *Musculi gemelli*, der *Musculus quadratus femoris*, der *Musculus piriformis* und der *Musculus obturatorius internus*, die von der hinteren kaudalen Wand in die Trochanterregion ziehen, sind für die Außenrotation zuständig [6, 8, 9, 14].

### 1.2.3.2 Innervation und Gefäßversorgung

Kranial des *Acetabulum*s in der Muskellücke (*Lacuna musculorum*) verläuft zusammen mit dem *Musculus iliopsoas* der längste und kräftigste Nerv des *Plexus lumbalis* (L1–4) – der *Nervus femoralis*. Weiter unten in der Gefäßpforte (*Lacuna vasorum*) verlaufen die *Arteria femoralis* und die *Vena femoralis*, Äste der *Arteria iliaca communis* sowie der *Ramus-femoralis*-Ast des *Nervus genitofemoralis*. Der *Nervus ischiadicus* (L4–S3) ist der stärkste periphere Nerv des Menschen und zieht durch das *Foramen infrapiriforme* auf der Dorsalfläche der pelvitrochantären Muskeln nach kaudal. Aufgrund der topografischen Nähe des Nervens zum Hüftgelenk kann es bei Luxationsfrakturen zu Verletzungen kommen. Der *Nervus obturatorius* verläuft direkt nach dem Verlassen des *Plexus lumbalis* hinter bzw. unter dem *Musculus psoas major* medial der quadrilateralen Fläche ins kleine Becken hinab und tritt zusammen mit der *Arteria obturatoria* und der *Vena obturatoria* durch das *Foramen obturatum* [6, 8, 15].

## 1.3 Unfallmechanismen und Frakturmechanismen

### 1.3.1 Unfallursachen

Acetabulumfrakturen gehören eher zu den seltenen Frakturen und haben einen Anteil von weniger als 3 % an allen Gelenkfrakturen. Das liegt zum einen daran, dass das *Acetabulum* von einem kräftigen schützenden Muskelmantel umgeben ist, zum anderen an der Stütze durch den stabilen Knochen. Trotzdem kommt es bei polytraumatisierten Patienten in etwa 50–80 % der Fälle zu Acetabulumfrakturen [2, 18]. Diese entstehen in der Regel durch Hochrasanztraumata, die am häufigsten durch PKW-Unfälle (68 %) verursacht werden, gefolgt von Stürzen aus größerer Höhe (20 %), Motorradunfällen (11 %), Fahrradunfällen, Kollisionen von Fußgängern mit einem PKW (8 %) und Crush-Verletzungen (5 %) [3, 9]. Die genaue Kenntnis der Unfallursache und des Unfallhergangs erleichtert die Interpretation sowie Klassifikation der Fraktur und die weitere Planung der Frakturversorgung.

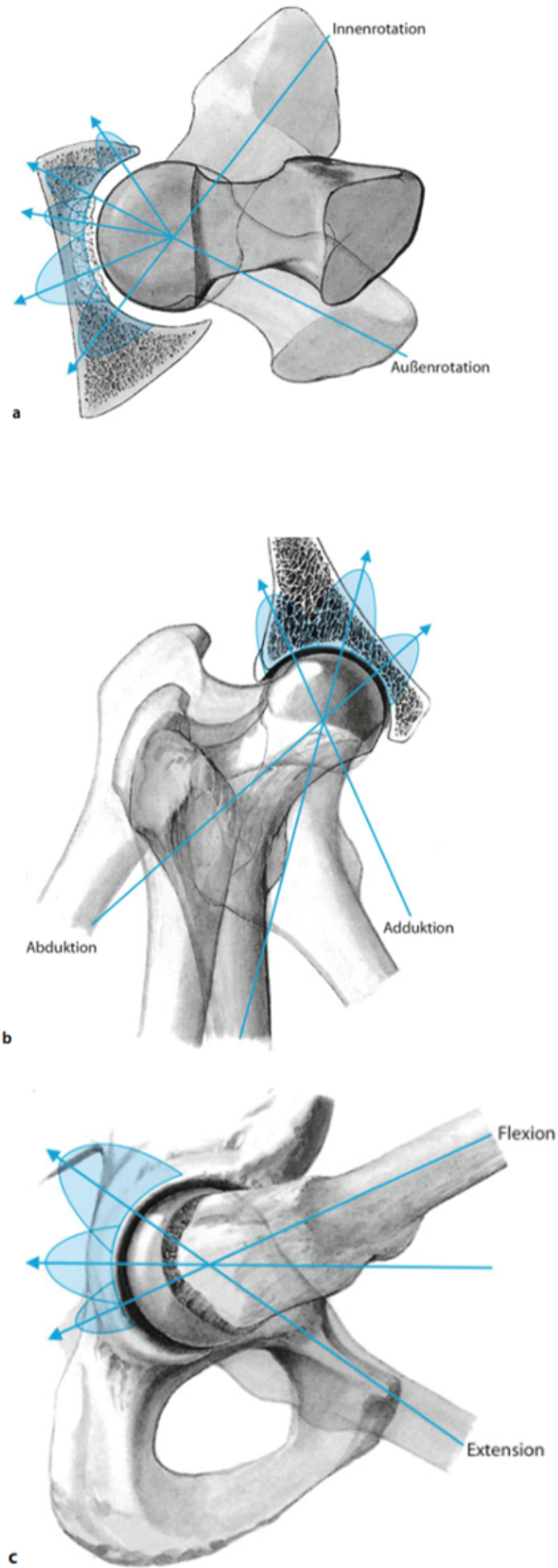
### 1.3.2 Indirekte Gewalteinwirkung

Acetabulumfrakturen entstehen aufgrund ihrer Lage und guten Weichteildeckung meist durch indirekte Gewalteinwirkung. Die Kraftübertragung erfolgt über den *Femur* und hängt von der momentanen Funktionsstellung des Hüftkopfes im Hüftgelenk ab [2, 9, 13]. Bei PKW-Unfällen mit Insassen in sitzender Position wird die Energie des Armaturenbrettanpralls (Dash-Board-Injury) über das in 90° flektierte Kniegelenk geleitet. Dabei kommt es zu Frakturen der hinteren Wand. Ist der Hüftkopf mehr abduziert, kommt es zu Verletzungen des dorsalen Pfeilers mit kaudalen Anteilen. Bei der Adduktion ist eher der kraniale Gelenkabschnitt, das Pfannendach, betroffen. Bei Stürzen aus größeren Höhen erfolgt die Krafteinleitung beim gestreckten Knie über den Fuß oder von lateral aus der Trochanterregion. Hierbei kommt es zu Verletzungen der hinteren Wand. Ein weiterer Unfallmechanismus ist ein direkter Schlag von der Seite auf den *Trochanter major*, beispielsweise bei einer Kollision mit einem PKW oder einem Sturz. Bei einem außenrotierten Bein kommt es zu Verletzungen des ventralen Pfeilers, bei einer Innenrotation zu Verletzungen des dorsalen Pfeilers (Abbildung 3).

### 1.3.3 Direkte Gewalteinwirkung

Auch direkte Gewalteinwirkung kann Verletzungen des *Acetabulum*s hervorrufen, beispielsweise Pfählungs- und Überrollverletzungen, die häufig mit Weichteilschädigungen oder offenen Frakturen einhergehen, aber eher selten sind [2, 3, 9, 10, 16].





**Abbildung 3 Biomechanik der Frakturentstehung: Kraftvektoren und momentane Position des Femurkopfes im Hüftgelenk. Quelle: [9]**

## 1.4 Diagnostik der Acetabulumfrakturen

### 1.4.1 Klinische Diagnostik

Die meisten Patienten mit einer Acetabulumfraktur sind polytraumatisiert oder mehrfachverletzt und werden intubiert und beatmet vom Notarzt eingeliefert [17]. Hierbei steht primär die Sicherung der vital bedrohlichen Schädel-, Hirn-, Thorax-, Abdominal- und Retroperitonealverletzungen im Vordergrund. Da die Acetabulumfraktur in den meisten Fällen keinen direkten lebensbedrohlichen Zustand darstellt, sollte im Anschluss an die Reanimationsphase eine systematische Untersuchung des Patienten mit der genauen Analyse des Unfallmechanismus erfolgen, um ein besseres Verständnis der Frakturmorphologie zu erlangen.

Die klinische Untersuchung gestaltet sich bei den meisten polytraumatisierten Patienten schwierig. Äußere Hautabschürfungen am Knie oder am *Trochanter major* können Hinweise auf die Richtung der einwirkenden Kräfte und den Unfallmechanismus geben. Leistenschmerz und eine schmerzhafte Bewegungseinschränkung im Hüftgelenk sind diesbezüglich wegweisend. Eine Beinverkürzung, Außen- oder Innenrotationsfehlstellung oder Krepitation im Frakturbereich bei passiver Bewegung weisen auf eine mögliche Hüftkopfluxation hin. Am wachen Patienten ist ein neurologischer Status mit Fußhebung, Sensibilität und Hüftbeugung unerlässlich. Traumabedingte sensomotorische Nervenläsionen des *Nervus ischiadicus* treten mit einer Häufigkeit zwischen 8,9 und 19,9 % [18] bzw. 20 und 30 % [2] bei hinteren Hüftluxationen auf. Aufgrund der topografischen Nähe zu zahlreichen Gefäßen sollte bei Frakturen im Hüftgelenkbereich die Durchblutungssituation abgeklärt werden [2, 9, 10, 16, 18].

### 1.4.2 Bildgebende Diagnostik

Auf eine sorgfältige Unfallanamnese und klinische Untersuchung folgt bei einer Acetabulumfraktur die Standardröntgendiagnostik. Diese besteht in erster Linie aus drei konventionellen Röntgenaufnahmen: einer a.p.-Beckenübersichtsaufnahme, die den direkten Vergleich der verletzten und unverletzten Seite ermöglicht, und den zwei senkrecht zueinanderstehenden schrägen Projektionen der Ala- und Obturatoraufnahmen. Die Ala-Aufnahme erfolgt durch Anhebung der gesunden Hüfte

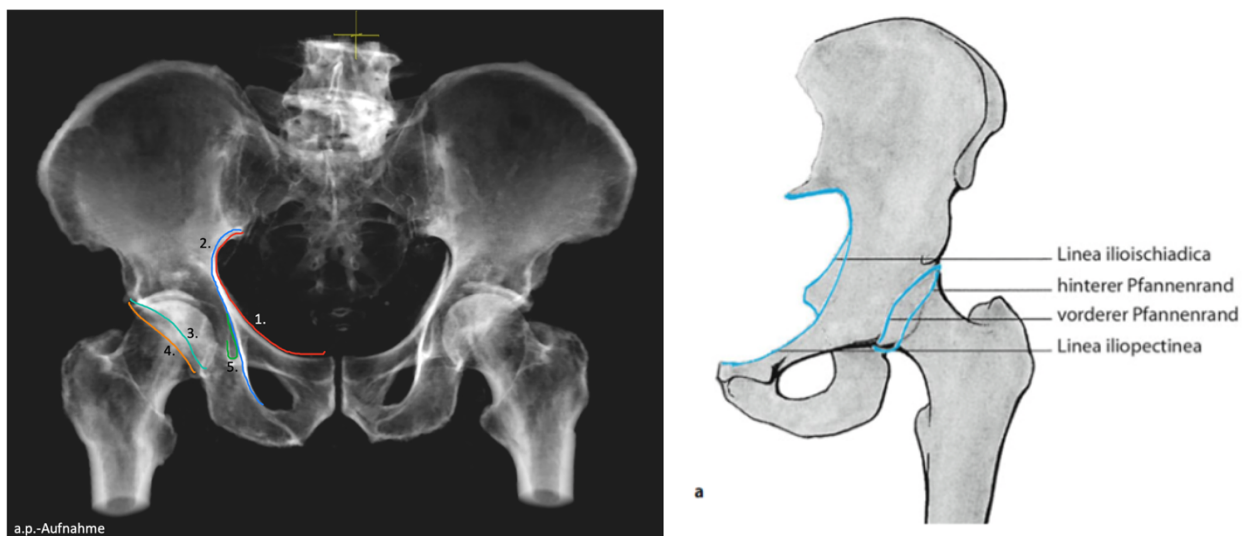
um 45° und stellt eine senkrechte Aufnahme des *Os ilium* der verletzten Seite dar, die Obturatoraufnahme zeigt das *Foramen obturatum* durch Anhebung der betroffenen Seite um 45°. Anhand einer systematischen Betrachtung dieser drei Röntgenaufnahmen kann bei Kontinuitätsunterbrechung der einzelnen typischen radiologischen Leitlinien eine sichere Identifizierung und Klassifikation der Frakturtyp nach Judet und Letournel ermöglicht werden. Die Leitlinien sind anatomische Strukturen des *Acetabulums* sowie des vorderen und hinteren Pfeilers, die durch die stärkere Abschwächung der Röntgenstrahlen der orthograd getroffenen Kortikalis die spongiosen Knochenanteile transparent darstellen [9, 10, 13, 16].

In der Beckenübersichtsaufnahme werden folgende sechs Leitlinien unterschieden:

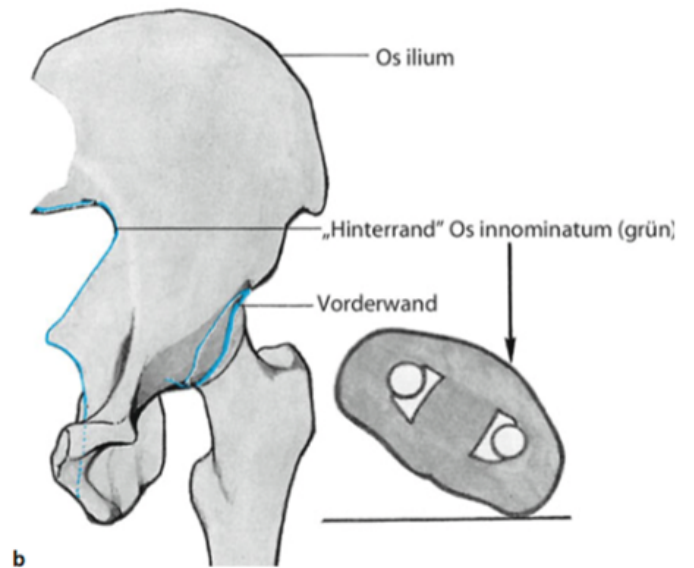
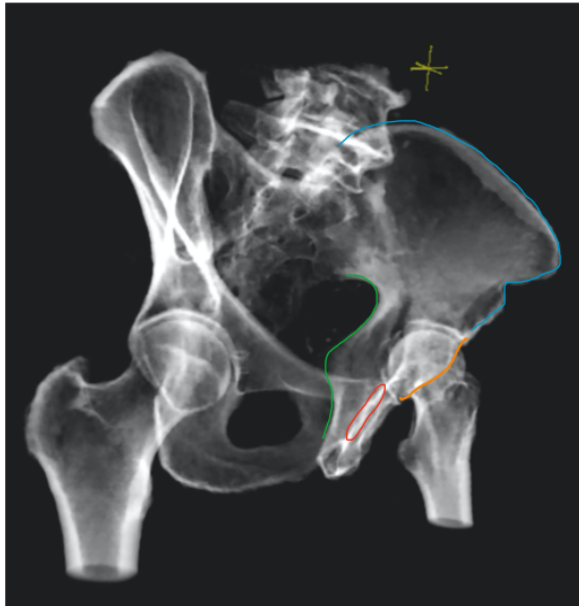
1. *Linea iliopectinea*: entspricht der *Linea terminalis*, kennzeichnet den medialen Rand des vorderen Pfeilers und verläuft vom Iliosakralgelenk entlang des oberen Schambeinastes zur Symphyse.
2. *Linea ilioischiadica*: ist die Kennlinie des medialen Rands des hinteren Pfeilers und entspricht keiner eigenen anatomischen Struktur, sondern der Darstellung durch Röntgenstrahlabschwächung der tangential getroffenen quadrilateralen Fläche. Sie verläuft von der *Linea terminalis* entlang des *Foramen ischiadicum major* bis zum Außenrand des *Foramen obturatorium*.
3. *Vordere Pfannenrandlinie*: beginnt am Unterrand des oberen Schambeinastes und zieht s-förmig medial der hinteren Pfannenrandlinie in den lateralen vorderen Pfannenrand. Sie zählt zum vorderen Pfeiler.
4. *Hintere Pfannenrandlinie*: ist die in der a.p.-Aufnahme am weitesten lateral gelegene Begrenzung, die am *Tuber ischiadicum* beginnt, von kaudal nach kranial zieht und in den hinteren Pfeiler übergeht.
5. *Köhler-Tränenfigur*: Diese Linie zählt zu keiner anatomischen Struktur, sondern wird durch die radiologisch unterschiedliche Darstellung der medialen und lateralen Wand der *Fossa acetabuli* gebildet. Bei Subluxationsfehlstellung und Beteiligung der quadrilateralen Fläche kann eine Kontinuitätsunterbrechung Hinweise geben.
6. *Pfannendachlinie*: Das Pfannendach wird auf dem Röntgenbild durch die unterschiedlich hohe Dichte der subchondralen Sklerose bestimmt und entspricht nicht dem anatomischen Anteil des Acetabulumdaches.

In der Ala-Projektion wird die Darmbeinschaukel durch die genau senkrechte Strahlenprojektion in ihrer vollen Größe dargestellt, wodurch sich Frakturen im Iliumbereich auf dieser Ebene eindeutig analysieren lassen. Lateral kann so die vordere Wand des *Acetabulums* frei dargestellt werden, medial der Hinterrand des Hüftbeins mit der *Incisura ischiadica major et minor* sowie der *Spina ischiadica*. Auf der Obturatoraufnahme werden das nahezu kreisrunde *Foramen obturatum*, zum vorderen Pfeiler gehörend, sowie die *Linea iliopectinea*, die frei projizierte Hinterwand des *Acetabulums*, dargestellt [3, 9, 10, 16, 18, 19].

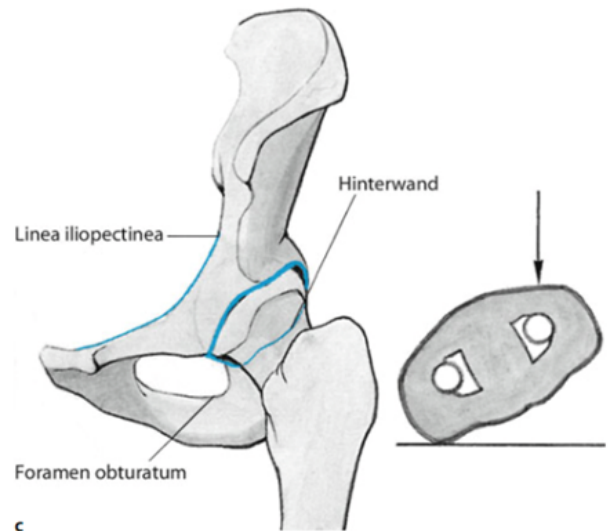
**Abbildung 4** Rechts drei Standardprojektionen zur Beurteilung des Acetabulums. a: Leitlinien im a.p.-Strahlengang, b: Ala-Projektion, c: Obturatorprojektion. [7] S.490 Links Gegenüberstellung die DRR-Aufnahmen (eigene Darstellung)



**Leitlinien a.p.-Aufnahme:** 1. Linea iliopectinea, 2. Linea ilioischiadica, 3. vorderer Pfannenrand, 4. hinterer Pfannenrand, 5. Köhler- Tränenfigur



**Bildeinstellung der Ala-Aufnahme: gesamte Ala (blau) abgebildet, Spina ischiadica (grün) ist im kleinen Becken gut sichtbar, Foramen obturatum (rot) wird vom Tuber ischiadicum überlagert, ventraler Pfannenrand (orange) gut erkennbar**



**Bildeinstellung der Obturator-Aufnahme: Gelenkspalt (blau) beurteilbar/ nicht einsehbar, Foramen Obturatum (rot) Oval dargestellt, Ala (rosa) bis ganz kranial dargestellt, dorsaler Pfannenrand (grün) gut erkennbar**

### 1.4.3 Pfannendachbogenwinkel

Ein zusätzlicher Parameter bei der Entscheidung zwischen einem operativen und konservativen Vorgehen ist die Beurteilung bzw. Messung des Acetabulumdachbogens (Weight-bearing Dome). Die nach Matta beschriebene „Roof-arc-Messung“ erfolgt in allen drei Standardprojektionen (a.p., Ala, Obturator) [7]. Ausgehend vom Zentrum des Hüftkopfes wird nach kranial eine senkrechte Linie gezeichnet; eine zweite Linie wird vom Zentrum des Hüftkopfes zur ersten Frakturlinie (Konturunterbrechung) im Bereich des Pfannendaches gezogen. Der zusammen auf allen drei Projektionen gemessene Winkel entscheidet über die Art der Therapie. Ist er größer als  $45^\circ$ , wird abhängig vom Frakturtyp eine konservative Therapie angestrebt, ist er kleiner als  $40\text{--}45^\circ$ , so ist der lasttragende Gelenkanteil erheblich mitbeteiligt und es besteht bei Inkongruenz sowie Instabilität der Hüfte eher die Indikation zur operativen Versorgung [2, 9, 10, 18].

### 1.4.4 CT

Die CT ist heute eine der wesentlichen und unverzichtbaren Tools bei der Feindiagnostik der Acetabulumfraktur. Neben einer konventionellen Röntgen- ist die CT-Diagnostik zur genauen räumlichen Beurteilung einer Fraktur hinsichtlich der Lage der intraartikulären Fragmente, der subchondralen Impressionszonen, des Dislokationsgrades, begleitender Femurkopf- und Weichteilverletzungen sowie der Planung der operativen Versorgung und postoperativen Kontrolle heute nicht mehr wegzudenken. Für die Frakturklassifikation sollte eine komplette Darstellung des Beckenrings von dem vierten lumbalen Wirbelkörper bis zum *Trochanter minor* erfolgen. Die CT-Untersuchung sollte in Rückenlage des Patienten durchgeführt werden. Dabei ist die axiale Bildgebung entscheidend – ergänzend dienen die sagittalen und koronaren Schichten mit einer Schichtdicke von weniger als 2 mm. Abhängig von der speziellen Fragestellung bietet sich die dreidimensionale Rekonstruktion aus den zuvor erstellten CT-Datensätzen an, wodurch nach diversen Segmentierungstechniken interessante Strukturen separat dargestellt werden. Beispielsweise kann die Darstellung des *Acetabulums* in allen Raumebenen nach Subtraktion des Hüftkopfes ein besseres Verständnis von komplizierten

Frakturverläufen und dadurch eine schnellere operative Planung ermöglichen [2, 3, 9, 19, 20].

### **1.4.5 Magnetresonanztomografie**

Die Kernspintomografie kommt aufgrund ihrer zu geringen sofortigen Verfügbarkeit und der langen Untersuchungsdauer nicht in der Notfallversorgung der Acetabulumfraktur zum Einsatz. Sie kann aber im Verlauf der Diagnostik zum Ausschluss einer präoperativen pelvinen Thrombose angewendet werden oder eine Aussage über das Vorliegen einer posttraumatischen Hüftkopfnekrose ermöglichen [2, 3].

## **1.5 Frakturklassifikation**

### **1.5.1 Klassifikation nach Judet und Letournel**

Die aktuell verwendete Klassifikation der Acetabulumfrakturen geht auf die radiologisch-anatomische Analyse der Zwei-Pfeiler-Struktur des *Acetabulum*s nach Letournel und Judet zurück [21]. Ihre Arbeit schaffte die Grundlage für das Verständnis der Verletzung, die Indikationsstellung zur operativen Behandlung sowie die operative Technik. Das *Os coxae* wird in dieser Klassifikation in den vorderen und hinteren Pfeiler eingeteilt, woraus fünf einfache und fünf kombinierte Frakturformen resultieren. Bei der einfachen Frakturform liegen nur einzelne Hauptfrakturlinien vor, die Frakturen des hinteren Pfeilers, der hinteren Wand, des vorderen Pfeilers und der vorderen Wand sowie die Querfrakturen betreffen. Die kombinierten Typen setzen sich aus Kombinationen der einfachen zusammen: hinterer Pfeiler und hintere Wand, Querfraktur und hintere Wand, T-Fraktur, vorderer Pfeiler und hintere Hemiquerfraktur sowie Zwei-Pfeiler-Fraktur [3, 9, 10, 13, 21-24].

### **1.5.2 Einfache Frakturtypen**

#### **1.5.2.1 Fraktur der hinteren Wand**

Frakturen des dorsalen Acetabulumrandes machen etwa 12 % der Verletzungen aus [64]. Sie können alle Anteile des hinteren Pfannenrands von kranial bis kaudal betreffen. Diese Frakturen sind meist komplex und gehen fast immer mit einer

partiellen oder totalen dorsalen Hüftluxation sowie damit verbundenen Gefäß- und Nervenschäden einher. Aufgrund der hohen Komplikationsrate sollten diese Frakturen sofort reponiert werden, um erneut eine suffiziente Durchblutungssituation des Femurkopfes sicherzustellen. Zur Beurteilung dieser Fraktur eignet sich am besten die Obturatoraufnahme [25].

#### **1.5.2.2 Fraktur des hinteren Pfeilers**

Die Fraktur umfasst unterschiedlich große Anteile der dorsalen Acetabulumwand sowie große Anteile der *Lamina quadrilateralis*. Von hieraus verläuft die Frakturlinie durch die *Fossa acetabuli*, kaudal durch das *Foramen obturatum* oder seltener durch das *Os ischii*. Durch Verdrehung des Fragments kann es zu Subluxationsstellung des Hüftkopfes nach medial und dorsal kommen. Die kraniale Begrenzung des verschobenen Pfeilers ist in der Ala-Projektion gut zu erkennen [25].

#### **1.5.2.3 Fraktur der vorderen Wand**

Isolierte ventrale Pfannenrandfrakturen sind selten. Der Frakturspalt verläuft von kaudal der *Spina ischiadica anterior inferior* zum zentralen Teil der vorderen Acetabulumwand, die häufig mit einer anterioren Dislokation des Hüftkopfes einhergeht. Das Pfannendach ist nicht betroffen. Auf den a.p.- und Obturatorum-Aufnahmen lassen sich Unterbrechungen sowie Frakturverschiebungen der *Linea ilioinguinale* erkennen [25].

#### **1.5.2.4 Fraktur des vorderen Pfeilers**

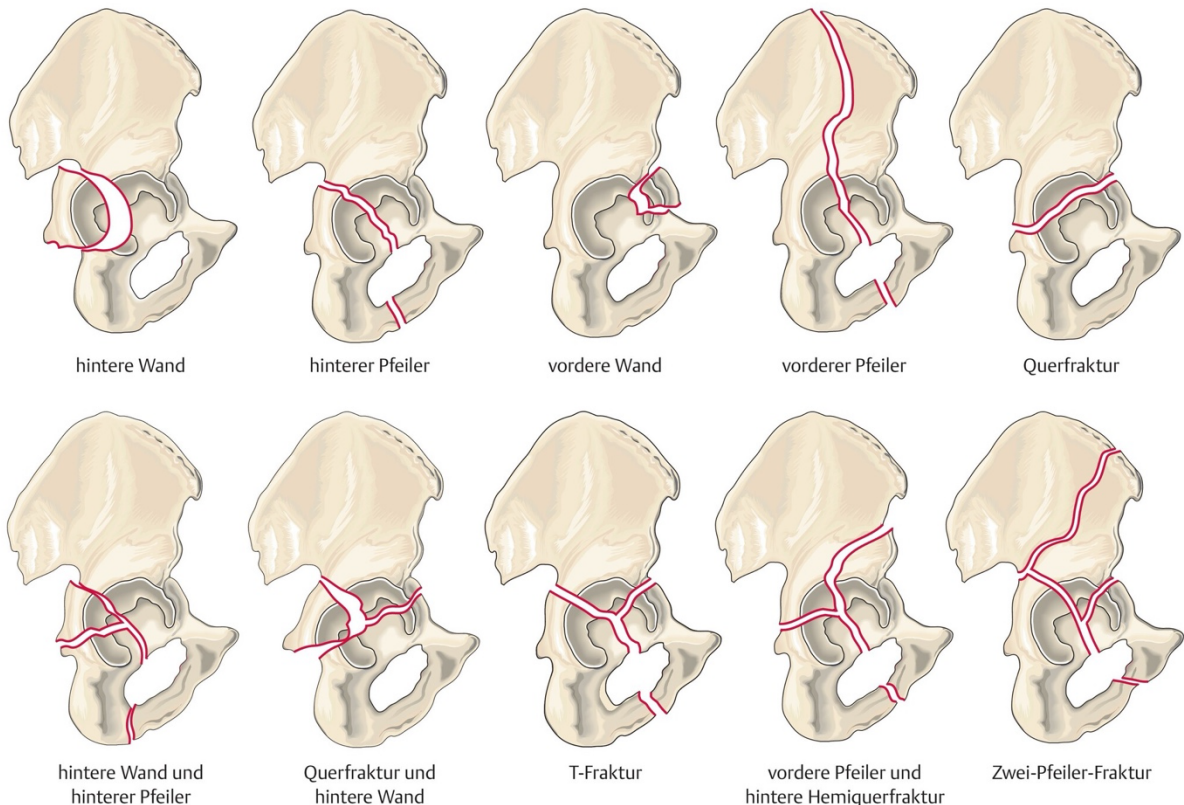
Die Frakturen des vorderen Pfeilers gehören mit etwa 28 % zu den häufigsten Frakturformen [64]. Die Linie dieser Fraktur entspringt aus unterschiedlicher Höhe vom *Os ilii* des vorderen Pfeilers und zieht durch das *Foramen obturatum* in den *Ramus ischiopubis*. Die Mitbeteiligung des *Acetabulums* hängt unmittelbar von der iliakalen Frakturhöhe ab: Je höher die Fraktur ansetzt, desto größer ist der Frakturanteil des *Acetabulums*. In der Ala-Aufnahme lässt sich das Frakturausmaß der Darmbeinschaukel gut darstellen.

#### **1.5.2.5 Querfraktur**

Es werden drei Arten von Frakturen quer durch das *Acetabulum*, abhängig von der Höhe der Frakturlinie, unterschieden: Die transtektale Fraktur verläuft kranial der *Fossa acetabuli* im lasttragenden Teil des Acetabulumdaches, die juxtatektale Fraktur verläuft am höchsten Punkt der *Fossa acetabuli* vorbei und die infratektale Fraktur



zieht im unteren Teil der vorderen und unteren Wand quer durch die *Fossa acetabuli*. In den meisten Fällen verläuft der Frakturspalt von dorso-kranial nach ventro-kaudal und von medio-kranial nach latero-kaudal, wobei das *Foramen obturatum* unverletzt bleibt. Radiologisch lässt sich der Frakturspalt des dorsalen Pfeilers mit der Ala-Aufnahme und jener des vorderen Pfeilers mit der Obturatum-Aufnahme darstellen.



**Abbildung 5** Klassifikation der Acetabulumfrakturen nach Judet und Letournel, in der oberen Reihe 5 einfache und in der unteren Reihe 5 kombinierte Frakturtypen [65].

### 1.5.3 Kombinierte Frakturtypen

#### 1.5.3.1 Fraktur der hinteren Wand und des hinteren Pfeilers

Auch eine Fraktur des hinteren Pfeilers mit einer zusätzlichen Aussprengung des dorsalen Pfannenrandfragments kann vorkommen. Dieser Frakturtyp geht meist mit einer dorsalen Subluxation bzw. Dislokation des Femurkopfes einher [25].

#### 1.5.3.2 Querfraktur mit Fraktur der hinteren Wand

Die Querfraktur mit Fraktur der hinteren Wand gehört mit etwa 5 % zu den eher seltenen Acetabulumfrakturen [64]. Es handelt sich hierbei um eine querverlaufende

Fraktur durch die *Fossa acetabuli* mit einer zusätzlichen, unterschiedlich großen Fragmentaussprengung des dorsalen Pfannenrandes. Abhängig vom Frakturausmaß und der Fragmentgröße kommt es meistens zu einer dorso-kranialen bzw. zentralen Luxation des Hüftkopfes [26].

### 1.5.3.3 T-Fraktur

Die T-Fraktur ähnelt mit ihrem queren Verlauf einer Querfraktur, wobei das distale Fragment zusätzlich längs aufgespalten wird, die Frakturlinie durch das *Foramen obturatum* zieht und somit den *Ramus ischiopubis* in zwei Hälften spaltet. In seltenen Fällen kann der Frakturspalt auch distal des hinteren Pfeilers liegen. Der Hüftkopf ist dabei häufig nach medial disloziert. Vertikale Frakturausläufer lassen sich am besten mit der Obturatum-Aufnahme darstellen [25].

### 1.5.3.4 Fraktur des vorderen Pfeilers mit hinterer Hemiquerfraktur

Das ist die dritthäufigste Fraktur mit etwa 14 % und liegt in den meisten Fällen unterhalb der *Spina iliaca anterior inferior* und zieht nach kaudal durch das *Acetabulum* und den *Ramus superior ossis pubis* oder durch das *Foramen obturatum*. Sie teilt dabei den *Ramus ischiopubicus* in zwei Hälften. Die quer verlaufende Fraktur durch die *Lamina quadrilateralis* sowie die Höhe des vorderen Pfeilers sind in Ala-Aufnahmen, distale Frakturlinien des vorderen Pfeilers in der Obturatoraufnahme zu erkennen [25, 64].

### 1.5.3.5 Zwei-Pfeiler-Fraktur

Die Zwei-Pfeiler-Fraktur gehört mit etwa 15 % zu den zweithäufigsten Acetabulumfrakturen [64]. Charakteristisch für sie ist, dass alle gelenktragenden Fragmente keinen Kontakt mehr zum Stammskelett haben. Die Fraktur des dorsalen Pfeilers reicht von der *Incisura ischiadica major* bis zur *Incisura interspinosa*, jene des vorderen Pfeilers beginnt meist hoch in der Beckenschaufel, trifft kranial des *Acetabulums* auf die dorsale Fraktur und verläuft gemeinsam mit der Fraktur des hinteren Pfeilers kaudal durch das *Foramen obturatum*. Dabei wird der vordere Pfeiler nach außen und der hintere nach innen rotiert. Durch die Medialisierung sämtlicher gelenktragender Fragmente und des Hüftkopfes kommt es zur sogenannten sekundären Kongruenz des Gelenkes. Es sind zusätzlich auch Frakturen der *Lamina quadrilateralis* sowie Zertrümmerungen des Pfannendaches mit Mehrfachfrakturen des Obturatorringes möglich. Auf der Obturatumaufnahme zeigt sich ein

Knochenspornzeichen (Spur-Sign), das der kompletten Durchtrennung des *Os ilium* entspricht und typisch für die Zwei-Pfeiler-Fraktur ist [27].

#### **1.5.4 Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese (AO-Klassifikation)**

Auf der Grundlage der von Judet und Letournel (1965) erarbeiteten Frakturklassifikation entwickelte die Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese (AO) eine Klassifikation, die eine systematisierte Beschreibung acetabulärer Zusatzverletzungen und eine alphanummerische kodierte Einteilung mit insgesamt 27 Frakturformen beinhaltet (Abbildung 6). Dabei werden drei Grundtypen (A-, B- und C-Frakturen) unterschieden, wobei die Verletzungsschwere von A nach C zunimmt. Jeder wird weiterhin in drei Gruppen (A1–3, B1–3, C1–3) eingeteilt und jede von diesen wiederum in drei Untergruppen (A1.1–A1.3, B1.1–B1.3, C1.1–C1.3) [2, 18]. Die Frakturtypen werden im Folgenden entsprechend dieser Klassifikation beschrieben [28].

##### **1.5.4.1 Typ-A-Frakturen**

Frakturen dieses Typs betreffen nur einen Pfeiler; der andere Pfeiler und der Hauptanteil des Gelenks sind intakt. Wenn die hintere Wand betroffen ist, wird von einer A1-Fraktur gesprochen, ist der hintere Pfeiler betroffen, handelt es sich um eine A2-Fraktur, bei Frakturen der vorderen Wand bzw. des vorderen Pfeilers erfolgt eine Klassifizierung als A3-Fraktur.

##### **1.5.4.2 Typ-B-Frakturen**

Diese Frakturen betreffen beide Pfeiler, wobei das Acetabulumdach zum Teil weiter mit dem *Os ilium* in Verbindung steht. Querfrakturen werden hierbei als B1-Fraktur kategorisiert, T-Frakturen als B2-Fraktur und Frakturen der vorderen Wand mit gleichzeitiger Fraktur des hinteren Pfeilers mit Hemiquerfrakturen als B3-Fraktur.

##### **1.5.4.3 Typ-C-Frakturen**

Typ-C-Frakturen sind solche mit einer kompletten Abtrennung des *Acetabulums* vom *Os ilium* mit gleichzeitiger Beteiligung beider Pfeiler. Die Frakturlinien können nach kranial des vorderen Pfeilers bis zur *Crista iliaca* (hohe Variante, C1), nach ventral bis zur vorderen Begrenzung des *Os ilium* (tiefe Variante, C2) und quer nach dorsal bis in das Sacroiliacalgelenk (C3) verlaufen.

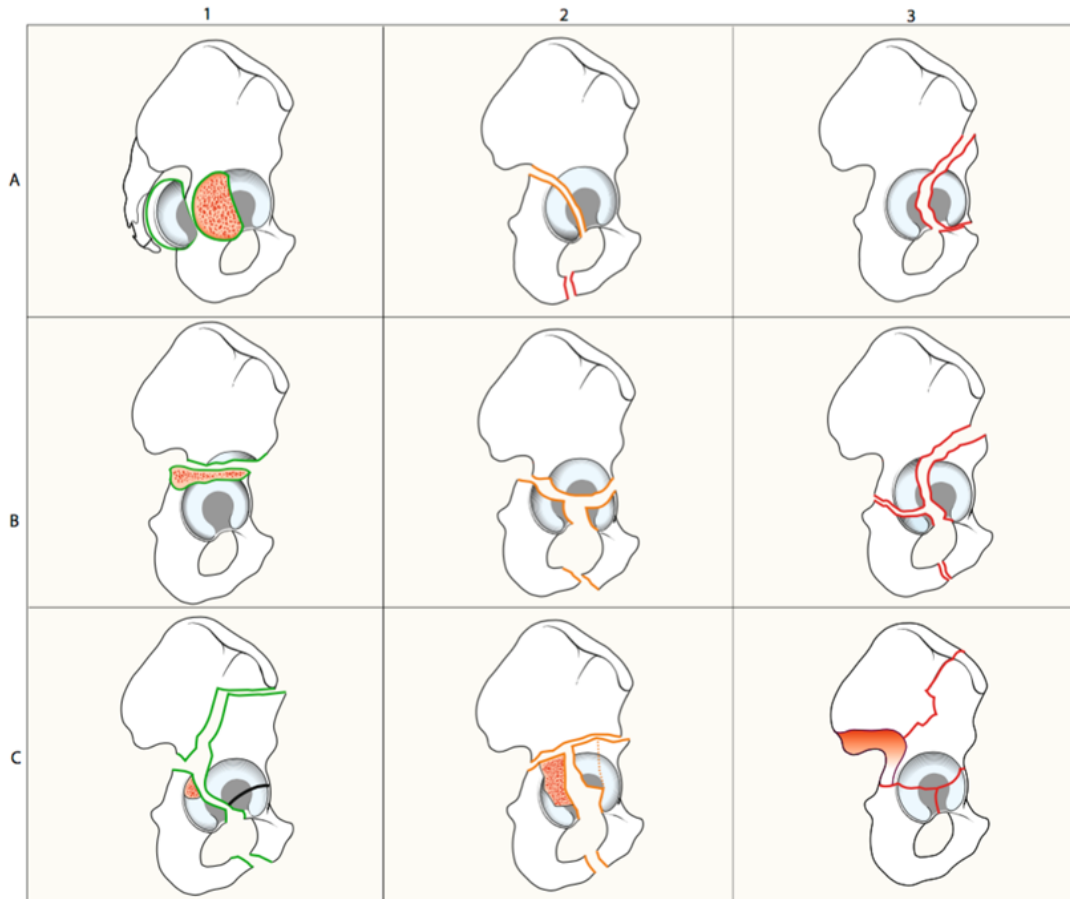


Abbildung 6 AO-Klassifikation der Azetabulumfrakturen. Quelle: [28]

## 1.6 Begleitverletzungen

Etwa 75 % der Patienten mit einer Acetabulumfraktur weisen zusätzliche Verletzungen auf; ein Drittel davon befindet sich im Beckenring. Etwa die Hälfte der Patienten sind polytraumatisiert und können diverse Verletzungskombinationen aufweisen. Am häufigsten sind Schäden am Fuß, Knie oder Schenkelhals der betroffenen Seite sowie an der Wirbelsäule. Als eine typische Begleitverletzung ist die Nervenschädigung zu nennen [25].

### 1.6.1 Nervenverletzungen

Primäre Nervenläsionen, vor allem solche des *Nervus ischiadicus* bzw. des *Nervus peroneus*, treten mit einer Inzidenz von etwa 16,4 % auf. Liegt eine begleitende dorsale Hüftkopfluxation vor, steigt diese auf bis zu 40 % an [40, 65]. Iatrogene Nervenläsionen treten mit einer Häufigkeit von etwa 8 % auf. Etwa die Hälfte der *Nervus-ischiadicus*-Läsionen hat eine gute Prognose und es besteht eine komplette

Remission. Traumatische Läsionen anderer Nerven wie des *Nervus femoralis*, *Nervus obturatorius* und *Nervus gluteus superior* sind sehr selten und kommen aufgrund ihrer Lage im kleinen Becken bzw. durch den gut schützenden Muskelmantel kaum vor [17, 29].

### **1.6.2 Gefäßverletzungen und Blutungen**

Verletzungen von Becken und *Acetabulum* gehen häufig mit aktiven Blutungen einher, die einer Behandlung bedürfen. Während im angloamerikanischen Raum primär auf die interventionelle Angiografie gesetzt wird, werden im deutschsprachigen Raum bevorzugt konventionelle Werkzeuge herangezogen, etwa die äußere Schienung und Kompression. Gleichwohl weisen Experten darauf hin, dass sich in jüngerer Zeit diesbezüglich ein Paradigmenwechsel abzeichnet [30, 31]. Heute wird davon ausgegangen, dass sich der Anteil der arteriellen Blutungen zwischen 10 und 20 % bewegt, der überwiegende Teil der Blutungen ist entweder venösen Ursprungs oder frakturbedingt, die allerdings nicht embolisierbar sind [66]. Erweisen sich kreislaufstabilisierende Maßnahmen als nicht zielführend und erzielt auch die chirurgische Stabilisierung des Beckenrings mit der Anlage einer Beckenzwinge bzw. eines Fixateurs keine suffiziente Blutstillung, wird im Falle einer indizierten arteriellen Blutung verstärkt zur Coilembolisation (Metallspiralen) gegriffen [32].

Den therapeutischen Erfolg kann allerdings nur ein erfahrenes Team sicherstellen. Die Anwendung einer Coilembolisation erfolgt in der Praxis stark selektiert. Üblicherweise bildet ein computertomografischer Nachweis eines aktiven arteriellen Kontrastmittelaustritts die Entscheidungsgrundlage für einen interventionellen Eingriff.

## **1.7 Therapie**

### **1.7.1 Entscheidungsfindung und Indikationsstellung**

Das Ziel der Therapie einer Acetabulumfraktur ist die möglichst exakte Wiederherstellung der Gelenkkongruenz, damit Spätfolgen, insbesondere die der posttraumatischen Arthrose, vermieden werden können. Die Entscheidung zur operativen oder konservativen Therapie hängt von vielen Faktoren ab und sollte sorgfältig abgewogen werden. Relevante Parameter bei der Therapieplanung sind der Frakturtyp, der Dislokationsgrad und die damit verbundene Stabilität, das Ausmaß der

verbleibenden Kopfüberdachung (Weight-bearing Dome), das Alter der Fraktur, das Vorliegen von Begleiterkrankungen bzw. -verletzungen wie Hüftkopfverletzungen oder Knorpelimpressionen, das Alter, die Mobilität und der Allgemeinzustand des Patienten. Ebenso sollten immer die funktionellen Bedürfnisse, der psychische und physische Zustand des Patienten und seine Wünsche hinsichtlich der Therapieentscheidung berücksichtigt werden.

Es wurde aufgrund der besonders schwierigen Anatomie viele Jahre ein suboptimales klinisches und radiologisches Ergebnis für eine nichtoperative Therapie in Kauf genommen. Dank der Frakturklassifikation von Judet und Letournel, der zunehmend verbesserten systematischen radiologischen Frakturdarstellung sowie der Verfügbarkeit spezieller Instrumente und Implantate wird vermehrt bei zulässigen Voraussetzungen die Indikation zur operativen Frakturversorgung gestellt [2, 3, 9, 10, 16, 19].

### **1.7.2 Konservative Therapie**

Die Indikation zur konservativen Therapie kann gestellt werden bei

- un- bzw. minimal dislozierten Frakturen,
- disloziertem Teil der Gelenkfläche mit einem Pannendachwinkel über 45° (Roof-Arc-Messung nach Matta),
- sekundärer Kongruenz bei Zwei-Pfeiler-Frakturen,
- einer schweren Osteoporose oder einer Arthrose,
- schweren Weichteilschäden oder Hautverletzungen über dem OP-Gebiet,
- Zentrierung des Hüftkopfes im Gelenk ohne Luxationstendenz,
- stabilem Gelenk ohne intraartikuläre Gelenkfragmente oder
- Dislokation der superioren Gelenkfläche von weniger als 2 mm und erhaltener Gelenkkongruenz.

Die konservative Therapie besteht in solchen Fällen aus einer Thromboseprophylaxe und Bettruhe für eine Dauer von etwa 10–14 Tagen. Bei Schmerzfreiheit wird mit einer Teilbelastung der betroffenen Seite mit etwa 15 kg am Unterarmgehstock für weitere

sechs bis acht Wochen mobilisiert. Unter ständigen Röntgenverlaufskontrollen kann ab der 12. posttraumatischen Woche zur Vollbelastung übergegangen werden. Durch die Röntgenkontrollen soll eine sekundär auftretende Inkongruenz identifiziert und innerhalb der ersten drei Wochen nach Trauma operativ versorgt werden [3, 9, 13, 16, 19].

### 1.7.3 Operative Therapie

Die Indikation zur operativen Therapie kann gestellt werden bei

- allen Frakturen mit einer Fragmentdislokation von mehr als 2 mm im lasttragenden Anteil des Pfannendaches
- Pfannendachmessung (Roof-Arc-Messung) mit einem Winkel von weniger als 45°
- Inkongruenz der Gelenkfläche oder
- dislozierten dorsalen oder ventralen Pfeilerfrakturen mit Hüftkopfluxationen
- intraartikulären Frakturfragmenten

Nach den Prinzipien der allgemeinen Frakturbehandlung sollten nach Ausschluss lebensbedrohlicher Begleitverletzungen und nach Abschluss der Grunddiagnostik, etwa der klinischen Untersuchung und Beckenübersichtsaufnahme (a.p.), eine weiterführende Diagnostik mit Schrägaufnahmen (Ala-, Obturatorium-Aufnahme) und eine CT erfolgen.

Unter sorgfältiger Auswertung der Röntgen- und CT-Bilder, eindeutiger Frakturklassifikation sowie Klarheit über den Zugangsweg sollten kreislaufstabile Patienten innerhalb einer Woche in einem speziellen Traumazentrum chirurgisch versorgt werden. Da das beste erzielte operative Ergebnis etwa in der ersten Woche nach Trauma liegt, sollte die 21-Tage-Grenze nicht überschritten werden. Je länger mit der Reposition der Fragmente gewartet wird, umso schwieriger wird die anatomische Rekonstruktion [19]. Kreislaufinstabile Patienten bilden hiervon eine Ausnahme. Bei ihnen sollte nach einer abgeschlossenen Grunddiagnostik innerhalb einer 6-Stunden-Frist eine Fraktur reponiert und mittels Fixateur externe adaptiert oder durch eine suprakondyläre Oberschenkeldrahtextension bis zur definitiven

Frakturversorgung mit einem Gewicht von etwa 1/8–1/10 des Körpergewichts auf Zug gehalten werden, um Spätfolgen durch Durchblutungsstörungen des Hüftkopfes, Ischiadikusläsionen und Knorpelschäden zu minimieren. In äußerst seltenen Fällen stellen Azetabulumfrakturen eine Notfallindikation dar. Hierzu zählen offene Frakturen, Begleitverletzungen, Repositionshindernisse durch Weichteilinterponate sowie zunehmenden Nerven- und Gefäßschäden [3, 10].

#### **1.7.4 Allgemeine Kontraindikationen**

Eine chirurgische Rekonstruktion kann potenziell bei kreislaufinstabilen Patienten, unerfahrenen Chirurgen, ausgeprägter Osteoporose und vorbestehender Koxarthrose, lokaler Infektion, Thrombosen und bei multimorbiden Patienten kontraindiziert sein. Kann eine Fraktur nicht anatomisch rekonstruiert werden oder besteht eine deutlich verringerte Knochenqualität, sollte primär reponiert und eine Knochenheilung abgewartet werden, um das Gelenk sekundär mit einer Totalendoprothese zu versorgen. Ist dies nicht möglich, sollte unter Inkaufnahme eines Stufenverbleibs im Gelenk unter Mobilisation in Teilbelastung eine konservative Therapie angestrebt werden [10, 17].

#### **1.7.5 Operationsplanung und Zugangswege**

Voraussetzungen für einen reibungslosen Operationsablauf sind eine eindeutige Frakturklassifikation, Klarheit über den Zugangsweg sowie ein eingespieltes OP-Team in einem Krankenhaus mit standardisiertem prä- und postoperativem Ablauf. Dabei sollte der Patient auf einem röntgendurchlässigen OP-Tisch und mit frei beweglichem Bein der betroffenen Seite so gelagert werden, dass intraoperativ alle drei Standardprojektionen (a.p., Ala, Obturator) dargestellt werden können. Eine antibiotische prä- und intraoperative Prophylaxe ist sicherzustellen. Um große intraoperative Blutverluste abzufangen und Blutkonserven einzusparen, ist ein Cell-Saver empfehlenswert.

Zur Versorgung von Azetabulumfrakturen stehen je nach Typ drei chirurgische Zugangswege zur Verfügung. Der am häufigsten eingesetzte postero-laterale Kocher-Langenbeck-Zugang wird zur Versorgung der hinteren Wand, des hinteren Pfeilers,



distal verlaufender Querfrakturen mit und ohne Hinterwandbeteiligung und T-Frakturen genutzt. Der vordere ilioinguinaler Zugang wird genutzt, um den gesamten vorderen Pfeiler von der Symphyse bis zum Iliosakralgelenk sowie die vordere Wand, den vorderen Pfeiler, Querfrakturen mit ventraler Dislokation und kombinierte Frakturtypen mit minimaler Dislokation der hinteren Frakturkomponente darzustellen. Für eine bessere Übersicht können die oben genannten Zugänge durch den iliofemorale Zugang von Judet und Letournel (1973) auf den anterioren Bereich und durch die Maryland-Modifikation (1988) in den hinteren Pfeiler sowie auf die gesamte Hüftkapsel erweitert werden [13]. Aufgrund des Weichteiltraumas, der zeitaufwendigen Zugangspräparation und des erhöhten Risikos einer Durchblutungsstörung der *Arteria glutea superior* sollte der letztgenannte Zugang den komplexen, kombinierten Frakturformen wie T- und Zwei-Pfeiler-Frakturen, veralteten Frakturen zur Spätrekonstruktion sowie Patienten ohne zusätzliche Komorbidität vorbehalten werden [2, 13, 19, 25].

#### 1.7.5.1 Kocher-Langenbeck-Zugang

Für den Kocher-Langenbeck-Zugang kann der Patient entweder in Bauch- oder Seitenlage gelagert werden. Am günstigsten ist eine Seitenlagerung, da hier das Bein der betroffenen Seite frei bewegt und beim gebeugten Knie die Spannung am *Nervus ischiadicus* verringert werden kann. Einen weiteren Vorteil bieten die direkte Reposition und intraoperative Luxation des Hüftkopfes bei intraartikulären Gelenkkörpern, die anders nicht geborgen werden können [67].

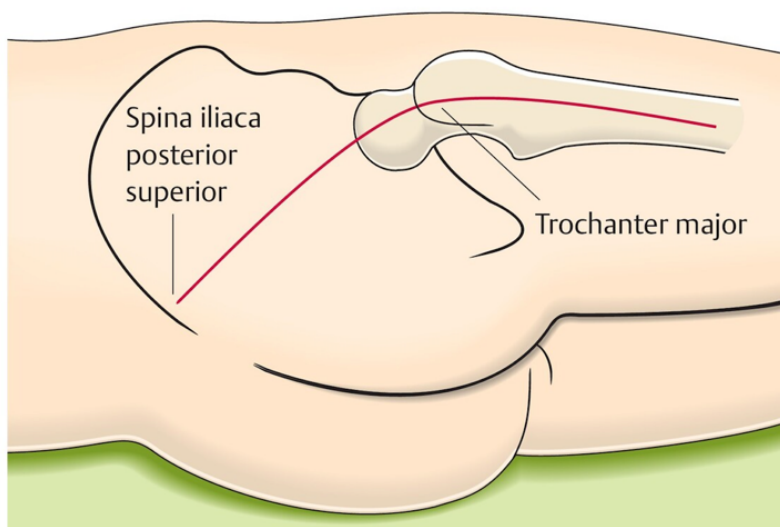
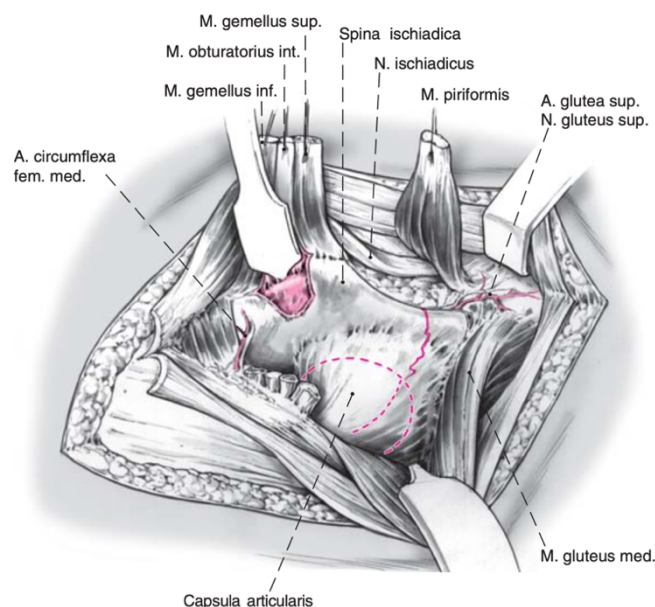


Abbildung 7 Hautinzision zum Kocher-Langenbeck-Zugang [65]

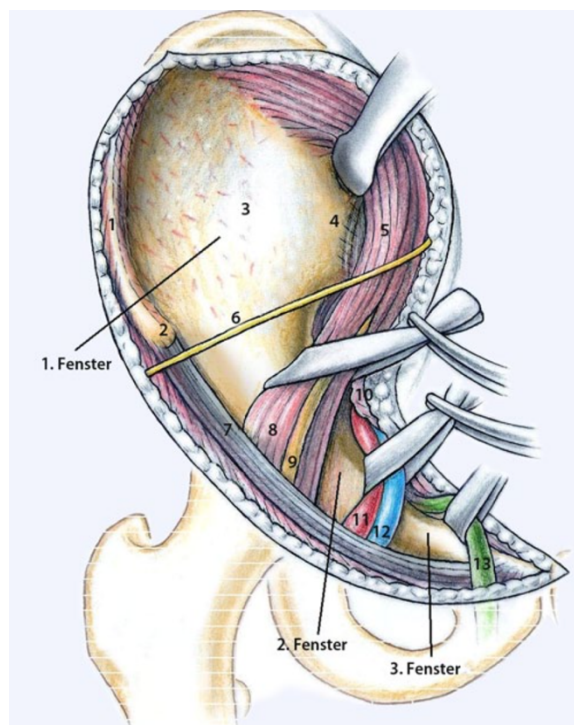
Die Hautinzision beginnt im Bereich der *Spina iliaca posterior superior* und verläuft bogenförmig über den *Trochanter major* distal etwa 15 cm entlang der *Fascia lata* zum proximalen *Femur*. Nach Freilegung und Spaltung der distalen Hälfte des *Musculus gluteus maximus* und *Tractus iliotibialis* wird der *Nervus ischiadicus* dorsal des *Musculus quadratus femoris* dargestellt und markiert. Der *Musculus gluteus maximus* wird von seinem Ansatz durchtrennt und vom Trochantermassiv nach medial verschoben. Anschließend werden beim innenrotierten Bein die kurzen Außenrotatoren (*Musculus piriformis*, *Musculus obturatorius internus* und *Musculi gemelli*) circa 1,5 cm proximal ihres femoralen Ansatzes abgesetzt und nach medial verlagert. Die *Musculi gluteus medius* und *minimus* werden so weit wie möglich vom Darmbein subperiostal abgeschoben. Bei weit distal verlaufenden Frakturlinien muss unter Schonung der *Arteria circumflexa femoris medialis* auch der *Musculus quadratus femoris* durchtrennt werden. Diese Präparation erlaubt eine direkte Einsicht auf den hinteren Pfeiler vom oberen Pol der *Incisura ischiadica major* bis zum Anfang des *Tuber ischiadicum*. Des Weiteren können mit dem Zeigefinger durch die *Incisura ischiadica major* die Innenseite des *Azetabulums* und die quadrilaterale Fläche abgetastet werden. Eine bigastrische Osteotomie des *Trochanter major* (Trochanter-Flip-Osteotomie nach Mercati) bietet eine visuelle Überprüfung der Reposition auch im vorderen Pfeilerbereich, das korrekte Einpassen aller impaktierten und freien Fragmente sowie die Sicherstellung der extraartikulären Schraubenlage [33, 34].



**Abbildung 8 Leitstrukturen des Kocher-Langenbecks-Zuganges [68]**

### 1.7.5.2 Ilioinguinaler-Zugang

Der von Letournel erstmalig beschriebene Zugangsweg ermöglicht eine Darstellung der Acetabulumfraktur über drei operative Fenster. Das erste befindet sich zwischen Beckenschaufel und dem *Musculus iliopsoas*, das zweite zwischen dem *Musculus iliopsoas* und den Leistengefäßen, das dritte zwischen den Leistengefäßen und dem Samenstrang. Die Lagerung erfolgt streng in Rückenlage und ermöglicht über die drei Fenster einen direkten Zugang zur gesamten Innenseite der *Fossa iliaca* bis zum Sacroiliakgelenk, dem vorderen Pfeiler, der quadrilateralen Fläche und der *Eminentia iliopubica* bis hin zur Symphyse.



**Abbildung 9 Leitstruktur zum Ilioinguinalen Zugang mit den drei Fenstern [35]**

1 Crista iliaca, 2 Spina iliaca anterior superior (SIAS), 3 Ala ossis ilii mit Fossa iliaca, 4 Iliosakralgelenk, 5 M. iliacus, 6 N. cutaneus femoris lateralis, 7 Lig. inguinale, 8 M. iliopsoas, 9 N. femoralis, 10 Arcus iliopectineus, 11 A. femoralis communis, 12 V. femoralis communis, 13 Ductus spermaticus resp. Lig. rotundum

Der Hautschnitt verläuft am Oberrand der vorderen zwei Drittel der *Crista iliaca* nach ventral zur *Spina iliaca anterior superior* und von dort bogenförmig circa 1 cm über dem Leistenband bis zur *Symphysis pubis*. Nach Spaltung der Aponeurose werden die Bauchwandmuskeln ansatznah am Beckenkamm scharf abgelöst, der *Musculus iliacus* subperiostal an der Beckeninnerseite abpräpariert und nach medial sowie distal abgeschoben. Dabei sollte der *Nervus cutaneus femoris lateralis*, der sich 1–2 cm

medial der *Spina ischiaidica anterior superior* befindet, dargestellt und geschont werden. Als nächstes wird das *Ligamentum inguinale* in Faserverlauf gespalten und der Leistenkanal bis zum inneren Leistenring eröffnet. Es werden der *Funiculus spermaticus* bzw. das *Ligamentum teres uteri* dargestellt. Nach Durchtrennung der *Fascia iliopectinea* und des *Arcus iliopectineus* wird der *Musculus iliopsoas* zusammen mit dem *Nervus femoralis* und *Nervus cutaneus femoris lateralis* angezügelt. Das femorale Gefäß- und Nervenbündel und die Lymphgefäße werden ebenfalls en bloc präpariert und angeschlungen [21, 35].

#### **1.7.5.3 Erweiterter iliofemoraler Zugang**

Als erweiterte Zugänge zu den oben beschriebenen ventralen und dorsalen Zugängen zählen der Maryland-Zugang nach Reinert, der Triradiate- und der Letournel-Zugang. Diese Zugänge erlauben die kombinierte Darstellung des vorderen und hinteren Pfeilers. Als Indikation können alte Acetabulumfrakturen, transtektale Querfrakturen oder T- und Zwei-Pfeiler-Frakturen mit Beteiligung der Hinterwand, die nicht primär durch einen ilioinguinalen Zugang versorgt werden können, gestellt werden. Aufgrund des hohen Risikos intraoperativer Weichteilschäden, Muskel- und Nervenläsionen, Infektionen und der Provokation periartikulärer Ossifikationen im Verlauf bleibt dieser Zugang nur erfahrenen Chirurgen in speziellen Zentren vorbehalten [16, 19, 25].

#### **1.7.5.4 Stoppa-Zugang**

Die durch Stoppa (1989) ursprünglich beschriebene Hernienchirurgietechnik wurde als sogenannter Stoppa-Zugang von Cole und Bolhofner sowie später unabhängig davon durch Hirvensalo als Operationszugang für die Versorgung von Acetabulumfrakturen erweitert und beschrieben [36, 37]. Der modifizierte Stoppa-Zugang ist ein intrapelviner Zugang, der eine gute Übersicht über die quadrilaterale Fläche bietet und eine direkte Reposition und Stabilisierung der Fraktur ermöglicht. Er wird als zeitsparender, weichteilschonender Zugang und als geeignete Alternative zum ilioinguinalen Zugang mit Erweiterungsmöglichkeiten über das erste ilioinguinale Fenster bei der Versorgung von Frakturen im ventralen Bereich beschrieben [38].

Der Stoppa-Zugang kommt bei Frakturen des vorderen Pfeilers mit Verletzung der quadrilateralen Fläche sowie bei Quer-, T- und Zwei-Pfeiler-Frakturen zum Einsatz.

Der Zugang erfolgt über eine erweiterte Pfannenstiel-Inzision etwa zwei Querfinger oberhalb der Symphyse und durch eine mediane Längsdurchtrennung der *Linea alba*. Er gibt eine gute Übersicht über die Symphyse, den gesamten vorderen Schambeinast, das *Os ilium* bis dorsal zur Iliosakralfuge und die quadrilaterale Fläche. Der Vorteil dieses Zugangs liegt darin, dass auf die Präparation des Leistenkanals und die Darstellung der Gefäße verzichtet wird [39].

### **1.7.6 Operationstechniken**

In der Beckenchirurgie werden aufgrund der starken Torsionsbelastungen der Schraubenköpfe und der Rekonstruktionsplatten vorwiegend Stahlimplantate verwendet. Zur Verfügung stehen verschiedenen Längen von 3,5, 4,5 und 6,5 mm starken Kortikalisschrauben mit vergrößertem Kopf sowie geraden oder vorgebogenen Rekonstruktionsplatten mit 10–16 Loch. Zur kontrollierten Reposition der Frakturfragmente werden spezielle Instrumente wie Repositionszangen, Schanzschrauben mit Handgriff, Rasparatorium, Einzinkerhaken und Kugelspieß verwendet. Nach einer anatomischen Reposition können einzelne Fragmente mittels einer Zugschraube oder direkt mit einer Rekonstruktionsplatte überbrückt und fixiert werden [9, 13].

### **1.7.7 Nachsorge und Komplikationen**

#### **1.7.7.1 Nachsorge**

Die Azetabulumfrakturen sind aufgrund einer erheblichen Gewalteinwirkung auf den Körper von vornherein mit einem höheren Komplikationspotenzial verbunden. So ist bei dieser Hochrisikopatientengruppe eine postoperative und kontinuierliche Thromboseprophylaxe mit niedermolekularem Heparin in gewichtsadaptierter Dosierung für mindestens sechs Wochen zu gewährleisten. Zwei bis drei Tage nach Entfernen der Redondrainagen sollte die Mobilisierung mit einer Hüftbewegungsschiene und aktiv an Unterarmgehstützen mit 15 kg Körpergewicht für mindestens 6–8 Wochen begonnen werden. Die Art der Mobilisierung hängt vom operativen Zugang ab. So sollte beim Kocher-Langenbeck-Zugang die Rotationsbewegung des Hüftkopfes, beim ilioinguinalen Zugang sollten die Hüftflexion

und -extension schmerzbedingt mit großer Vorsicht auftrainiert werden. Bei erweiterten Zugängen bleiben die Patienten in leichter Abduktionsstellung des Hüftgelenks für etwa eine Woche im Bett. Eine Teilbelastung wird ab dem 3. Monat, eine Vollbelastung ab dem 4. Monat und eine schmerzfreie optimale Hüftbeweglichkeit 3–12 Monate postoperativ möglich. Die Entfernung des Nahtmaterials erfolgt am 10.–14. Tag. Die postoperativen Röntgenkontrollen sollten nach der Mobilisation zur Erkennung von Frühimplantatversagen nach 6 Wochen und 12–16 Wochen nach Erreichen der Vollbelastung durchgeführt werden [10, 19].

### 1.7.7.2 Komplikationen

Im Rahmen einer Acetabulumfraktur können nach der Versorgung frühe und späte Komplikationen auftreten. Zu den wesentlichen Frühkomplikationen zählen:

- *Nervus-ischiadicus*-Läsionen
- Fehllage von Osteosynthesematerial
- Wundinfektionen
- tiefe Beinvenenthrombosen und Lungenembolien

Intraoperative Nervenläsionen entstehen besonders bei den dorsalen und lateralen Zugängen – vor allem die Läsion des *Nervus ischiadicus*, die mit einer Inzidenz von 6–22 % beschrieben wird, wobei die postoperative Erholungsrate des *Nervus ischiadicus* bei bis zu 66 % liegt. Die Inzidenz von Verletzungen des *Nervus cutaneus femoralis lateralis* liegt bei 22 % und kommt primär bei vorderen Zugängen vor. Läsionen des *Nervus femoralis* treten bei 1,2 % der Patienten auf, solche des *Nervus obturatorius* bei 1 % und des *Nervus gluteus superior* bei 4 %. Sie sind somit relativ selten, da diese Nerven gut geschützt im Becken liegen [9, 29].

Als schwerwiegende Komplikation sind intraartikuläre Schraubenfehllagen zu nennen. Am häufigsten kommen diese bei Versorgung der hinteren Wand des *Acetabulum*s vor. Ein nicht erkannter intraartikulärer Schraubenverlauf und eine hohe Belastung in diesem Bereich können in kürzester Zeit zu einer kompletten Hüftkopfzerstörung führen. Wird in einer intraoperativen Röntgenkontrolle eine intraartikuläre Schraube identifiziert oder kann eine intraartikuläre Lage nicht sicher ausgeschlossen werden,

muss diese entfernt und neu platziert werden. Bei Verdacht auf einer intra-artikulären Schraubenlage sollte vor der Mobilisation eine postoperative CT erfolgen [9, 10].

Die postoperative Wundinfektion gehört zu den schwersten Komplikationen, die unter anderem durch lange Operationszeiten, postoperative Relaxationen, Hämatome, zu kräftige Manipulationen der Muskulatur und deren Gefäßversorgung entstehen. Tiefe Infektionen treten mit 0,8–9 % eher selten auf. Als Voraussetzungen für die Infektionsverhütung gelten das aseptische Verhalten im Operationssaal, die Operationstechnik sowie eine ausgiebige Wundspülung, das gründliche Wunddebridement und das Einbringen von Redondrainagen am Ende der Operation. Eine perioperative kalkulierte Antibiotikaprophylaxe wird empfohlen. Kommt es doch zu einer Infektion, muss die Wunde umgehend eröffnet und ein Wundabstrich für die Bakteriologie entnommen werden. Anschließend wird die Wunde mit einer antiseptischen Lösung gespült und debridiert [17, 29].

Intraoperative Gefäßverletzungen treten mit einer Häufigkeit von 0,3–4,9 % sehr selten auf. Dennoch kann es intraoperativ über den Kocher-Langenbeck-Zugang zu einer Verletzung der *Arteria glutea superior* kommen, die unter Umständen durch Zurückziehen des Gefäßstumpfes zu schwer stillbaren Blutungen führen kann. Im Zweifelsfall wird die Blutung tamponiert und über einen ventralen Zugang angegangen. Bei dorsalen Hüftkopfluxationen bzw. intraoperative Präparation des hinteren Pfeilers kann es leicht zu Verletzungen der *Arteria circumflexa femoris medialis* kommen, was bei gleichzeitiger Schädigung der kollateralen Gefäße zu einer Hüftkopfnekrose führen kann. Bei ventralen Zugängen können die femoralen Gefäße lädiert werden, wobei diese in solch einem Fall sofort chirurgisch rekonstruiert werden müssen [3, 19, 40].

Das Auftreten von postoperativen Thrombosen, insbesondere solche der tiefen Beckenvenen, oder Lungenembolien stellen ebenfalls ernstzunehmende Komplikationen dar. Die Inzidenz einer thrombembolischen Komplikation ist nicht hinreichend geklärt und hängt von verschiedenen Faktoren ab [65]. Postoperativ auftretende Hämatome sind ein ernstzunehmender Risikofaktor für die Entstehung von Wundinfektionen, die je nach Größe und Tiefe des Hämatoms zu Wundheilungsstörungen führen können. So liegt die Infektionsrate bei ilioinguinalem und Kocher-Langenbeck-Zugang bei etwa 4,5 %, beim erweiterten iliofemoralem Zugang bei bis zu 39 % und beim Maryland-Zugang bei bis zu 61 %. Tiefe Hämatome

und Serome sollten daher durch engmaschige sonografische Kontrollen oder ein CT frühzeitig erkannt und ausgeräumt werden [9, 29].

Zu den wesentlichen Spätkomplikationen zählen heterotrope Ossifikationen, avaskuläre Hüftkopfnekrosen und posttraumatische Arthrosen. Die heterotrope Ossifikation gehört zu den häufigsten postoperativen Komplikationen. Als Risikofaktoren zur Ausbildung einer heterotropen Ossifikation gelten vorausgegangene Traumata oder Operationen am Hüftgelenk. Periartikuläre Ossifikationen sind vom Zugang abhängig und treten mit einer Inzidenz von 8–90 % auf. Bei dorsalen Zugängen liegt die Inzidenz bei 40 %, bei lateralen bei bis zu 86 %, bei einem kombinierten Zugang bei bis zu 45,4 % und somit viel höher als bei einem ventralen Zugang (4,2 %). Ein gehäuftes Vorkommen wird außerdem bei begleitenden Schädel-Hirn-Verletzungen beobachtet. In den meisten Fällen handelt es sich um eine funktionell bedeutungslose Verknöcherung des Grades I–II (III) nach Brooker; nur etwa 10 % zeigen echte Grad-IV-Bewegungseinschränkungen nach Brooker. Daher wird direkt postoperativ sowie abhängig vom Zeitpunkt der Operation und vom Zugang und Ausmaß des Weichteilschadens eine 3- bis 6-wöchige Prophylaxe mit nichtsteroidaler Antiphlogistika (NSAID) wie Indomethacin oder eine frühestmögliche postoperative Bestrahlungstherapie empfohlen [17, 29, 41]. Abrieb des Hüftkopfes kommt mit einer Häufigkeit von 3–4 % vor. Dies werden bei Implantatfehlagen und insbesondere bei dorsalen Hüftkopfluxationen beobachtet, wenn diese nicht innerhalb der ersten sechs Stunden nach dem Trauma reponiert wurden. Sekundäre Hüftkopfarthrosen entwickeln sich innerhalb der ersten beiden Jahre nach dem Unfall. Posttraumatische Arthrosen werden in der einschlägigen Literatur je nach Repositionsqualität in etwa 3–24 % der Fälle beschrieben. Als Ursachen werden mangelnde Reposition und Retention der Fraktur, intraartikulär liegende Implantate, osteochondrale Läsionen sowie vorbestehende oder kontusionsbedingte Schäden angegeben [16, 19, 29].

## **1.8 Problembeschreibung und Fragestellung**

### **1.8.1 Problembeschreibung**

Für die sorgfältige Diagnostik einer Acetabulumfraktur bedarf es nicht nur exakter radiologischer Röntgenaufnahmen, sondern auch einer ausreichenden praktischen Erfahrung des Unfallchirurgen. Zudem sollten lokale Gegebenheiten sowie der



Zustand der Patienten nicht außer Acht gelassen werden, da es sich oft um polytraumatisierte und mehrfachverletzte Personen handelt. Um eine Frakturklassifikation nach Judet und Letournel zur Therapieentscheidung vorzunehmen, werden konventionelle a.p.-Beckenübersichtsaufnahmen sowie Ala- und Obturator-Schrägaufnahmen angefertigt. Der Nachteil dieser bildgebenden Verfahren ist, dass schwerverletzte Patienten vom Bett auf den Röntgentisch und für die 45°-Schrägaufnahmen auf die entsprechende Seite umgelagert werden müssen, was zu erheblichen Schmerzen führt und bei polytraumatisierten Patienten Risiken birgt. Im Anschluss an die Röntgenaufnahmen findet eine weiterführende CT-Diagnostik des Beckens statt. Bei unvollständigen Beckenübersichts- und Schrägaufnahmen, Aufnahmen auf nur einer Ebene oder unter Schockraumbedingungen angefertigte Aufnahmen in schlechter Qualität müssen die Patienten erneut in die Radiologie transportiert werden, was zu langen Wartezeiten führen kann und personelle Ressourcen in Anspruch nimmt. Da Frakturen immer auf zwei Ebenen stattfinden, können dabei anatomischen Strukturen durch Additionseffekte, Überlagerungen, Vergrößerungen und Verletzungen nur eingeschränkt beurteilt werden. Zu berücksichtigen ist zudem die erhöhte Strahlenbelastung für den Patienten, die sowohl beim Röntgen als auch bei der CT entstehen.

### **1.8.2 Fragestellung**

Das Ziel der vorliegenden klinischen Studie ist die Bestimmung der Wertigkeit des konventionellen Röntgens im Vergleich zu digital rekonstruierten Röntgenbildern (DRR) bei der Diagnose und Analyse von Acetabulumfrakturen. Hieraus ergeben sich folgende Fragen:

1. Ist es möglich, ohne die standardmäßigen a.p.- und Schrägaufnahmen ausschließlich mit digital rekonstruierten Röntgenbildern aus den CT-Datensätzen eine Acetabulumfraktur zu detektieren, zu klassifizieren, eine Therapieentscheidung zu treffen und einen Operationszugangsweg zu wählen? Könnte auf konventionelle Übersicht- und Schrägaufnahmen des Beckens verzichtet werden?
2. Bestehen deutliche Unterschiede in der Bildqualität?

3. Ist eine Frakturklassifikation nach Judet und Letournel ausschließlich anhand von DRR-Aufnahmen möglich?

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Patienten und Datenerhebung

Die Patientendaten in dieser Studie wurden im Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie (ZOU) der Johannes Gutenberg-Universität Mainz zwischen 2011 und 2015 erhoben. In diesem Zeitraum wurden 159 Patienten mit einer isolierten Acetabulumfraktur behandelt, aber nur 90 von ihnen erfüllten die erforderlichen Kriterien und gingen somit in die Studie ein. Das Einschlusskriterium war diesbezüglich eine vollständige radiologische Diagnostik, die aus der a.p.-Beckenübersicht und den Ala- und Obturator-Schrägaufnahmen sowie der CT des Beckens bestand.

### 2.2 Bildgebende Verfahren

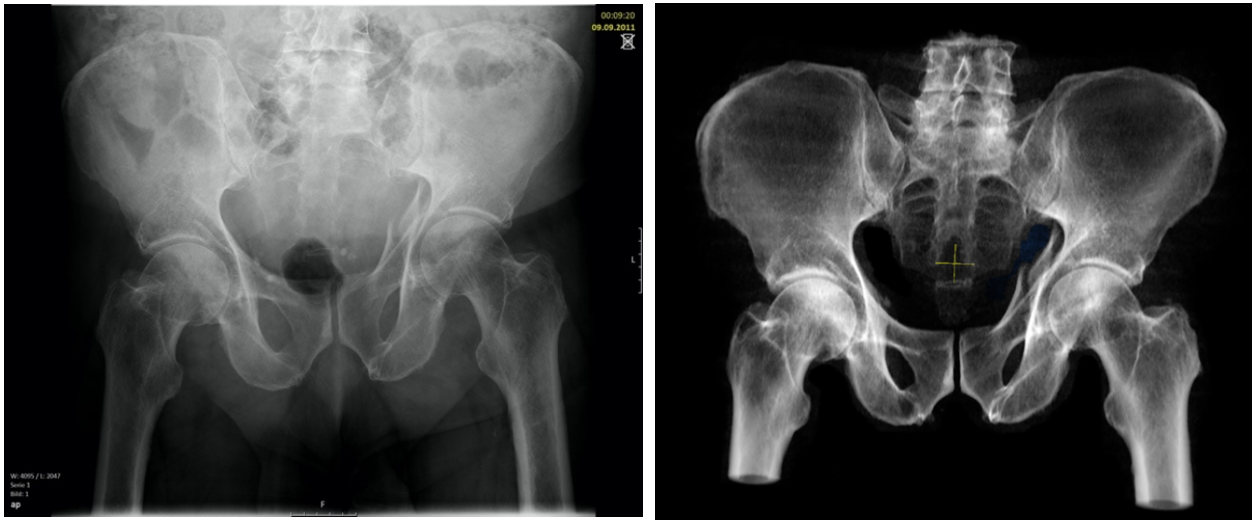
Jeder Patient erhielt je nach klinischem Zustand und Dringlichkeit der Therapie zunächst eine a.p.-Beckenübersichtaufnahme, die im Verlauf durch Ala- und Obturatoraufnahmen ergänzt wurde. Standardmäßig erfolgte eine CT des Beckens zur weiteren Analyse der Fraktur und zum Ausschluss von Begleit- und Zusatzverletzungen. Sie wurde bei polytraumatisierten Patienten im Rahmen der sogenannten Ganzkörper-CT oder bei isolierten Becken- und Acetabulumfrakturen präoperativ elektiv angefertigt.

Die im Schockraum angefertigte CT fand nach dem Mainzer Traumaprotokoll statt. Dabei wurden mit dem Spiral-CT-Scanner der Firma Siemens Bilder in Schichtdicken zwischen 1 und 5 mm vom Schädel bis zum *Trochanter minor* angefertigt. Die zum späteren Zeitpunkt im Rahmen einer Operationsplanung erstellten Becken-CT-Aufnahmen erfolgten von oberhalb des Beckenkamms inklusive 5. LWK bis unterhalb des *Trochanter minor*. Aus diesem 2D-CT-Datensatz wurde mithilfe der speziellen radiologischen Bildbetrachtungs- und Bearbeitungs-Software Sectra Workstation (Model: IDS7 des Herstellers: Sectra AB Teknikringen 20, SE-58330 Linköping, Schweden) aus einem Weichteil- bzw. Knochenfenster ein 3D-Bild aus jeweils einer a.p.- Ala- und Obturatoraufnahme rekonstruiert. Der Vorteil dieser Technik ist die beliebige Darstellung einer Becken- bzw. Acetabulumperspektive; zudem erlaubt diese bei Notwendigkeit (z. B. bei nichtgerechter Patientenlagerung) eine beliebige Nachrekonstruktion. Die auf dem Bildschirm dargestellte 3D-Aufnahme wurde in eine

2D-Darstellung transformiert und als DICOM-Datei gespeichert. Die Patientendaten und -bilder wurden in dieser Studie anonymisiert und randomisiert.

Zur Auswertung standen somit insgesamt 540 radiologische Abbildungen für Einzelentscheidungen zur Verfügung. Die 270 konventionellen Bilder und 270 DRR wurden randomisiert und unabhängig voneinander drei Fachärzten für Unfallchirurgie und Orthopädie in digitaler Form (Microsoft® Excel-Tabelle und DICOM-Datei) zur Beurteilung vorgelegt [42-44].

Die Röntgenbilder wurden digital mit einem entsprechenden Viewer am Computermonitor visualisiert. Dafür standen die kostenlose OsiriX-Lite- und RadiAnt-Software mit Funktionen wie Kontrast-, Helligkeit-, Zoom-, Transparenz- und Schärfeneinstellungen zur Verfügung.



**Abbildung 10** Beispielaufnahmen der verwendeten bildgebenden Verfahren. Rechts: DRR-Aufnahme (a.p.), links: konventionelles Röntgen (a.p.)

## 2.2.1 Radiologische Verfahren

### 2.2.1.1 Konventionelle Röntgendiagnostik

Ein Röntgengerät besteht aus einer Röntgenröhre, in der die Anode der Kathode gegenübersteht und so Röntgenstrahlen erzeugt werden, die das zu untersuchende Körperobjekt durchqueren, in einem sich gegenüber befindlichen Bildaufzeichnungssystem wie klassischen Röntgenfilmen oder -sensoren detektiert und auf digitalen Speichermedien festgehalten werden. Strahlen, die das Gewebe durchdringen, unterliegen dem Strahlenabsorptionsgesetz. Strukturen mit hoher

Dichte wie Knochen und Metall absorbieren viele Strahlen und erscheinen auf dem Röntgenfilm hell, während solche mit geringer Dichte, etwa Muskeln und Fettgewebe, weniger Strahlen absorbieren und dunkel dargestellt werden.

Röntgenbilder haben eine hohe Bildqualität mit einer hohen Auflösung von bis zu 4000 x 4000 Pixel. Sie werden heute überwiegend in digitaler Form abgespeichert, was eine reduzierte Strahlungsbelastung, sofortige Verfügbarkeit und einfache digitale Nachbearbeitung zulässt [45]. In der vorliegenden Studie wurden die konventionellen Röntgenaufnahmen nach dem standardisierten Verfahren der Klinik und Poliklinik für diagnostische und interventionelle Radiologie der Universitätsmedizin Mainz angefertigt.

### **2.2.2 Computertomografie**

Die CT ermöglicht die Darstellung innerer Organe in 2D-Projektion. Zur Erstellung entsprechender Bilder bewegen sich die Röntgenröhre und das Detektorsystem (Gentry) kreisförmig um den Patienten, während dieser auf einem beweglichen Tisch kontinuierlich durch die Gentry gefahren wird. Dadurch wird das spiralförmige (fächerförmige) Abtasten des zuvor definierten Körperabschnitts – je nach Einzelschicht- oder Mehrschicht-Spiral-CT in 4, 8, 16, 64, 128 oder 256 Schichten pro Rotation – mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung ermöglicht. Nach dem Durchtritt der Röntgenstrahlen durch das gewünschte Untersuchungsobjekt werden die abgeschwächten Röntgenstrahlen detektiert und für jeden Punkt (Voxel) in der Untersuchungsschicht rekonstruiert. Nach mathematischer Umrechnung der lokalen Abschwächungswerte und nach Kodieren in Graustufen entsteht das klassische CT-Bild [45].

Die Vorteile der Multidetektor-CT sind ihre große Leistungssteigerung um mehr als das 100-Fache, eine kürzere Scandauer, dünnere Schichten, längere Untersuchungsabschnitte und weniger Strahlen. Der Nachteil ist die hohe Datenflut, die die Rekonstruktionsgeschwindigkeit und Datenverarbeitung limitiert. Dies zu umgehen würde bei der Rekonstruktion dickerer Schichten die Bildverarbeitung und -qualität reduzieren.

### **2.2.3 Digital rekonstruierte Röntgenbilder (DRR)**

Um Azetabulumfrakturen zu beurteilen und zu klassifizieren, werden neben koronaren und sagittalen CT-Schichten auch axiale benötigt. Vereinfacht lässt sich dies dreidimensional darstellen. Eine realitätsnahe 3D-Oberflächendarstellung eines Organs besteht aus der Summe aller CT-Schichten des zuvor definierten Objekts. Die DRR ähneln in der Darstellung den konventionellen Röntgenbildern, stammen aber aus den CT-Datenvolumen und sind eine Art Volumenvisualisierung, wobei Pixel bei der Darstellung eines Röntgenbildes und Voxel zur Volumenvisualisierung einer CT-Schicht erfasst werden. Mit spezieller radiologischer Volumenrekonstruktionssoftware wird eine virtuelle Sicht eines 3D-Datensatzes des interessierenden Objekts, z. B. des knöchernen Beckens, errechnet. In der vorliegenden Arbeit wurden CT-Daten aus Knochen sowie Weichteilfenstern und – abhängig von der initialen Untersuchungsfragestellung – CT-Schichtdicken von 1–5 mm verwendet. Eine solche komplexe Oberflächendarstellung könnte z. B. durch Chirurgen beliebig gedreht und aus mehreren Winkeln betrachtet werden, die eine gute räumliche Vorstellung des Frakturverlaufs und der Lagebeziehung von Knochenfragmenten im Operationssitus vermitteln. Bei komplexen Azetabulumfrakturen besteht die Möglichkeit, durch moderne Segmentierungstechnik eine virtuelle Exartikulation des Femurkopfes vorzunehmen, um einen optimalen Überblick zu erhalten [45].

### **2.2.4 DICOM-Format**

Um eine unverfälschte, verlustfreie Speicherung und den Austausch von Datensätzen zwischen Geräten verschiedener Hersteller zu ermöglichen, wurde das Format „Digital Imaging and Communications in Medicine“ („Digitale Bildverarbeitung und -kommunikation in der Medizin“) verwendet. Es umfasst nicht nur das Bildmaterial, sondern auch eine Vielzahl von bildbegleitenden Informationen, z. B. den Namen des Patienten, dessen Identifikationsnummer und dessen Geburtsdatum sowie Informationen zu Modalitäten und der Aufnahmetechnik [46].

### 2.2.5 Strahlenbelastung

Jede radiologische Untersuchung birgt ein unkalkulierbares Strahlungsrisiko für den Patienten. Aus diesem Grund dürfen Röntgenuntersuchungen nur bei ausgewählter Indikation durchgeführt werden. Laut Bundesamt für Strahlenschutz liegt die durchschnittliche natürliche jährliche Strahlenexposition in Deutschland bei 2,1 mSv. Die medizinische Exposition lag 2014 bei 1,8 mSv, wobei etwa 65 % davon durch CT-Untersuchungen verursacht wurden. Allerdings stellen diese allein nur 9 % aller radiologischen Untersuchungen dar [41, 46, 47].

### 2.2.6 Beurteilungsfragebogen

In der vorliegenden Studie wird die Wertigkeit des konventionellen Röntgens im Vergleich zu digital rekonstruierten Röntgenbildern bei Acetabulumfrakturen untersucht. Im Kern dreht sich dabei alles um die Frage, ob digital rekonstruierte Röntgenbilder aus den CT-Datensätzen eine ausreichende Qualität besitzen, um eine Acetabulumfraktur zu erkennen, korrekt zu klassifizieren sowie eine geeignete Therapieentscheidung bzw. einen Operationszugangsweg zu treffen. Um diese Frage umfänglich beantworten zu können, müssen die Qualitätsunterschiede der beiden Bildvarianten untersucht und ermittelt werden. Folgende Kriterien standen für die Bewertung dieser Qualitätsunterschiede im Rahmen einer Interobserver-Reliabilitätsbeurteilung anhand eines Beurteilungsbogens zur Verfügung:

- Frakturklassifikation nach Judet und Letournel (von 1–10; 5 einfache und 5 kombinierte Frakturen)
- Sind spezifische Frakturen vorhanden? (Diesbezüglich wurden einzelne Frakturen wie solche von Ala, *Ramus pubis inferior* bzw. *superior*, hinterem und vorderem Pfeiler, hinterer und vorderer Wand in einzelnen oder gemeinsamen Projektionen mit Ja oder Nein beurteilt.)
- Frakturverlauf (Kann der Frakturverlauf erkannt und verfolgt werden? Ja / Nein)
- Dislokation (Kann eine Fragmentverschiebung erkannt werden? Ja / Nein)
- Impaction bzw. Stufe im Gelenk (Kann ein Einbruch der Gelenkfläche mit subchondraler Impaction des *Acetabulums* erkannt werden? Ja / Nein)
- Pfannendachmessung (Ist das Pfannendach gut dargestellt und wäre der Winkel in allen drei Projektionen messbar? Ja / Nein)

- Qualität der Bilder (Hier stand die subjektive Beurteilung der Bilder auf einer Skala von 1 bis 5 im Vordergrund. Dabei stand 1 für „sehr schlecht“, 2 bedeutete „schlecht“, 3 „akzeptabel“, 4 „gut“ und 5 „sehr gut“.)

### 2.2.7 Fragebogen zur Erkennbarkeit der Leitlinien und Bildeinstellungen

Anhand eines zusätzlichen Fragenbogens wurde die Erkennbarkeit der Leitlinien und der Bildeinstellungen in den a.p.-Aufnahmen der Röntgen- und DRR-Bilder bewertet. Die hierbei zu berücksichtigenden Leitlinien waren:

- *Linea iliopectinea*
- *Linea ilioischiadica*
- *vorderer Pfannenrand*
- *hinterer Pfannenrand*
- *Köhler-Tränenfigur*

Die zu berücksichtigenden Bildeinstellungen waren:

- *Ala beidseits komplett*
- *Os pubis ramus superior / inferior komplett*
- *Femora beidseits komplett abgebildet*
- *Trochanter minor / major komplett*
- *Os coccygis projiziert mittig auf Symphyse*

In der Ala- und Obturator Aufnahme wurden folgende Strukturen untersucht:

- *Ala-Aufnahme: Gesamte Ala abgebildet; Spina ischiadica ist im kleinen Becken gut sichtbar; Foramen obturatum wird vom Tuber ischiadicum überlagert; ventraler Pfannenrand gut erkennbar*
- *Obturator-Aufnahme: Gelenkspalt beurteilbar / nicht einsehbar; Foramen obturatum oval dargestellt; Ala bis ganz kranial dargestellt; dorsaler Pfannenrand gut erkennbar*

Die Frage lautete: Welche Strukturen konnte man in den jeweiligen Projektionen a.p./Ala/ Obturator nicht erkennen (0)/ erkennen (1)/ nicht beurteilen (2)?



## 2.3 Statistik

Zunächst wurden die Häufigkeiten der möglichen Antworten bzw. Auswertungen für jeden Aspekt und für jeden Observer berechnet. Anschließend wurde Fleiss' Kappa ermittelt – ein Koeffizient, der eine Aussage über die Reliabilität der Daten erlaubt. Dies bedeutet, dass die Antworten jedes Gutachters (A, B und C) für jeden Aspekt der Auswertung miteinander verglichen wurden, um zu untersuchen, inwiefern die beurteilenden Personen dieselbe Bewertung vornehmen. Hieraus resultieren prinzipiell Werte zwischen -1 und +1, wobei die Reliabilität umso höher ist, je näher der Wert des Koeffizienten an +1 liegt. Ein negativer Kappa-Wert bedeutet, dass die Übereinstimmung zwischen den einzelnen Observern geringer war, als durch Zufall zu erwarten gewesen wäre.

Zur Ergebnisauswertung einzelner Variablen wie z.B. BMI, Schichtdicke der CT-Aufnahmen und der Bildqualität verwendeten wir für die Intraobserver-Reliabilität den Paarvergleichs-Test. Der t-Test untersucht in der Stichprobenverteilung des Mittelwerts die Differenz zwischen zwei gepaarten Ergebnissen. Das bedeutet, dass für jede Kategorie innerhalb eines Beobachters eine Übereinstimmung der Ergebnisse zweier Variablen ermittelt wird. Wird zwischen den Stichprobenmittelwerten kein Unterschied gemessen, verwendet man den Wert 0 und die Nullhypothese kann verworfen werden. Im Falle einer Beobachtung des Unterschieds beim Ergebnisvergleich (wenn t-Wert über dem ermittelten kritischen Wert liegt) wird vom signifikanten Unterschied der Ergebnisse ausgegangen [74].

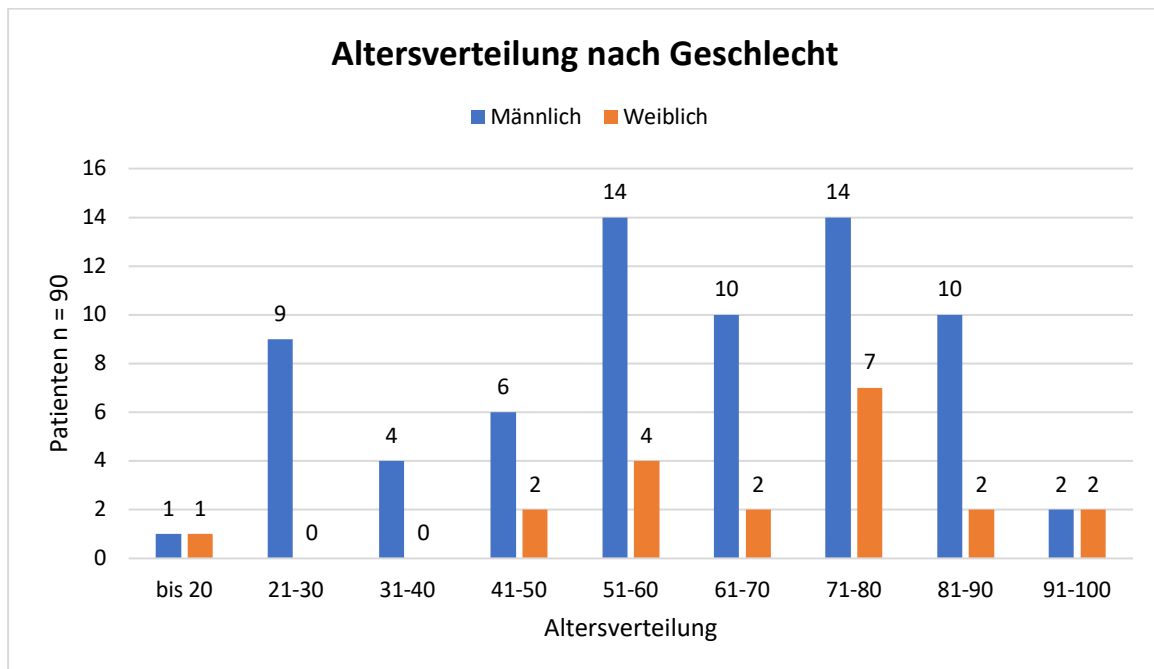
Spearman'sche Rangkorrelationskoeffizient vergleicht den Zusammenhang zweier Merkmale. Es können zwei ordinale oder ein ordinales und ein metrisches Merkmal verglichen werden. Um einen signifikanten Unterschied beim Ergebnisvergleich festzustellen, sollte der Korrelationskoeffizient über dem kritischen Wert liegen.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Alters- und Geschlechtsverteilung der Patienten

Bei den im Rahmen der vorliegenden Studie untersuchten 90 Patienten mit einer Acetabulumfraktur handelte es sich um 70 Männer (77,8 %) und 20 Frauen (22,2 %). Das Geschlechterverhältnis lag demnach bei 3,5:1. Das Durchschnittsalter der Gesamtkohorte betrug zum Unfallzeitpunkt  $61,6 \pm 20,3$  Jahre (Spanne: 20 bis 97 Jahre), wobei der Anteil der Patienten unter und über 65 Jahren gleich war (45 von 90 jeweils 45 Patienten  $> 65$  Jahre und  $< 65$  Jahre).

Das Durchschnittsalter bei den Männern betrug  $59,9 \pm 20,4$  Jahre (Spanne: 20 bis 95 Jahre), während bei den Frauen das Durchschnittsalter bei  $67,6 \pm 19,1$  Jahren lag (Spanne: 20 bis 97 Jahre). Die Altersverteilung zeigt, dass mehr als ein Drittel der männlichen Patienten in die Gruppe der 51- bis 60-Jährigen und der 71- bis 80-Jährigen einzuordnen war (40,0 %,  $n = 28/70$ ) (Abbildung 8). Bei den Frauen war die Altersverteilung in der Häufigkeitsverteilung nach rechts verschoben – hier bildete die Gruppe der 71- bis 80-Jährigen mit 35,0 % (7/20) den größten Anteil.



**Abbildung 11 Altersverteilung der Patienten nach Geschlecht**

### 3.2 Körpergröße, Gewicht und Body-Mass-Index der Patienten

Daten zur Körpergröße, dem Gewicht und dem Body-Mass-Index (BMI) wurden von 59 der 90 Patienten erfasst. Die Körpergröße der Gesamtkohorte zeigte eine Spanne zwischen 153 und 191 cm. Die Werte des Körpergewichts lagen im Bereich von 48 bis 100 kg. Altersabhängig wird davon ausgegangen, dass eine Adipositas ab einem BMI von  $30 \text{ kg/m}^2$  vorliegt, was auf 6 Patienten zutraf (Abbildung 12).

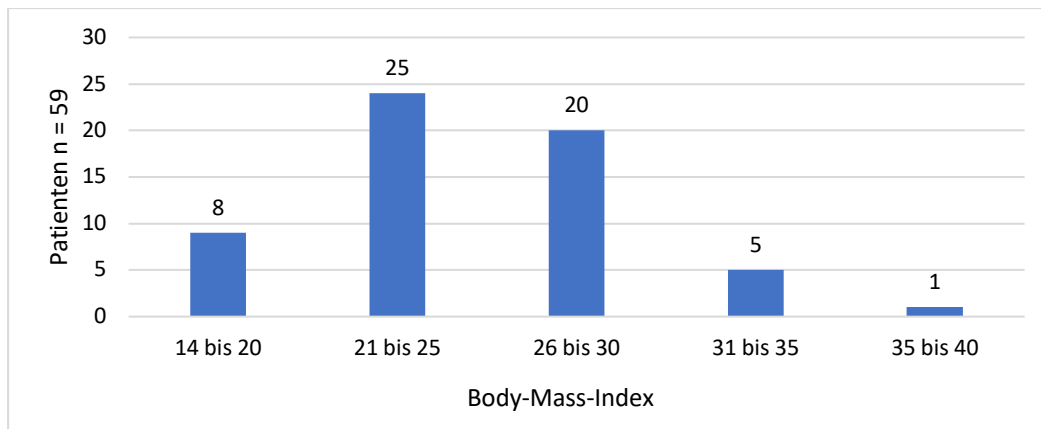


Abbildung 12 Verteilung des BMI der untersuchten Patienten

Grundsätzlich kann vermutet werden, dass übergewichtige und ältere Menschen bei Stürzen und Unfällen schwerwiegendere Verletzungen davontragen als jüngere und leichtere Menschen. Tatsächlich konnte im Rahmen dieser Studie kein Zusammenhang zwischen Adipositas und Alter hergestellt werden, möglicherweise aufgrund der dickeren Weichteilschicht dieser Personen, die vor schwereren Verletzungen protektiv wirkt (Abbildung 13).

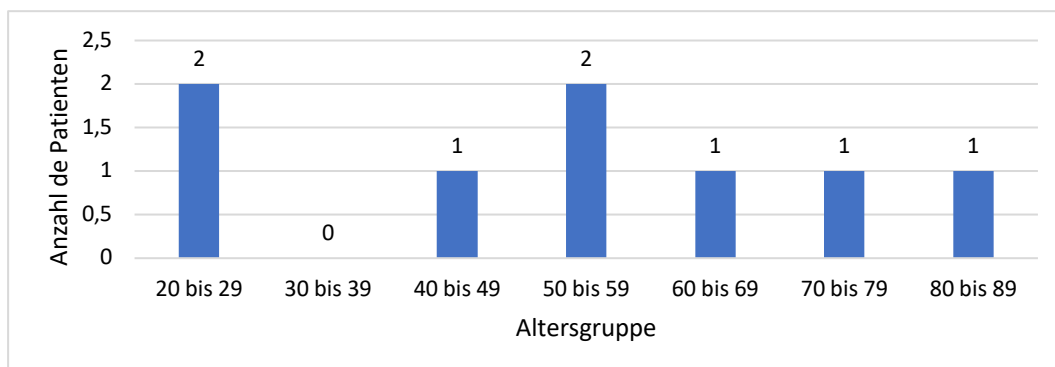


Abbildung 13 Anzahl der Patienten mit einem BMI über  $30 \text{ kg/m}^2$  nach Altersgruppe

### 3.3 Unfallursachen

Als Hauptunfallursache für die Acetabulumfraktur sind Stürze zu nennen (65,6 % bzw. 59/90 aller Fälle), wobei hierbei zwischen Stürzen aus großer Höhe, z. B. von einem Baum, von Brücken, von einem Baustellengerüst oder in suizidaler Absicht ( $n = 15/90$ , 16,7 %), und Stürzen in häuslicher Umgebung ( $n = 44/90$ , 48,9 %) differenziert wurde (Abbildung 11). Darauf folgten Verkehrsunfälle mit einem Anteil von 32,2 % ( $n = 29/90$ ) aller Patienten. In dieser Gruppe waren 13 Personen mit dem Auto, 8 mit dem Fahrrad, 4 mit dem Motorrad und 4 als Fußgänger beteiligt. Von den Verkehrsunfällen mit dem Motorrad und als Fußgänger waren ausschließlich Männer betroffen, ebenso wie von den Sturzfällen aus großer Höhe, bei denen sich nur eine weibliche Patientin unter den insgesamt 15 Fällen befand (Abbildung 15).

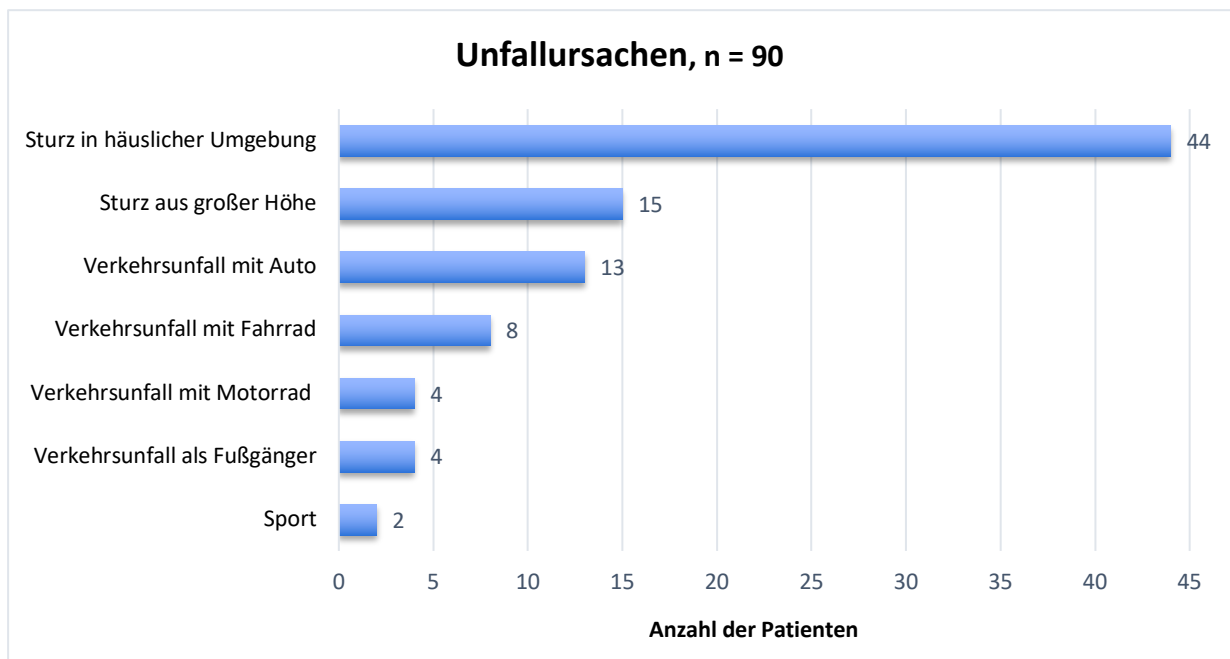
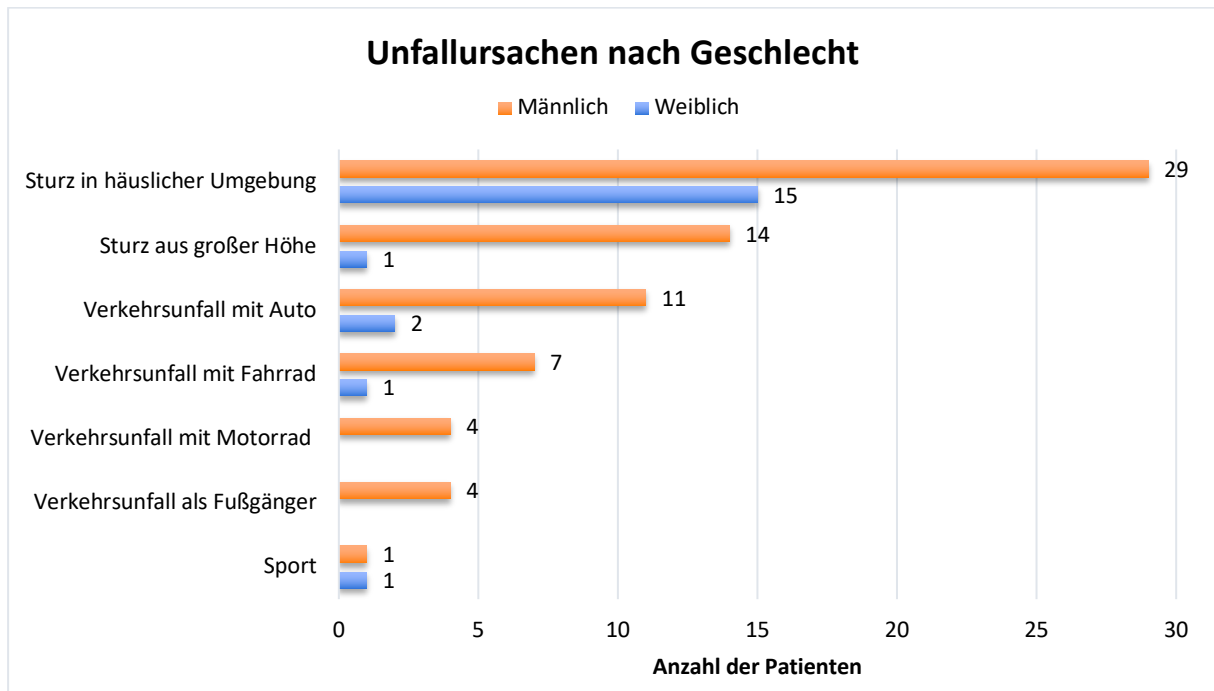


Abbildung 14 Unfallursachen Gesamtkohorte



**Abbildung 15 Häufigkeitsverteilung der Unfallursachen nach Geschlecht**

### 3.4 Radiologische Aufnahmen und CT-Schichtdicken

Es lagen insgesamt 270 konventionelle Röntgenbilder von 90 Patienten in digitaler Form zur Auswertung vor. Weitere 270 Bilder wurden analog aus den CT-Datensätzen als DRR erstellt.

Die CT-Schichtdicke bei den Datensätzen für die Rekonstruktion lag in 14 Fällen bei 1 mm, in 6 Fällen bei 1,25 mm, in einem Fall bei 1,3 mm, in 40 Fällen bei 1,5 mm, in 13 Fällen bei 2 mm, in 4 Fällen bei 2,5 mm, in 8 Fällen bei 3 mm, jeweils einmal bei 3,2 mm und 3,75 mm, sowie zweimal bei 5 mm. 82,2 % der Fälle hatten eine Schichtdicke von  $\leq 2$  mm (Tabelle 1). Den größten Anteil an den Schichten hatten mit 82,2 % ( $n = 74/90$ ) solche kleingleich 2 mm Dicke.

**Tabelle 1 CT-Schichtdicken**

Schichtdicke	Häufigkeit	Prozent
$\leq 2$ mm	74	82,2
$> 2$ mm	16	17,8

Von 64 der 90 Patienten lagen Daten zu der im Rahmen der Bildgebung emittierten Strahlungsenergie vor, gemessen in Milliampere-sekunden (mAS). Dies ist deshalb interessant, da bis zu gewissen Energiewerten (ca. 1000 mAS) höhere Bildqualitäten erzielbar sind. Die verwendeten Energiewerte wiesen eine Spanne von 34 bis 2406 mAS auf, wobei sich über 80 % der Energiewerte im Bereich zwischen 100 und 200 mAS befanden. Die Werte der Aufnahmespannung lagen bei 100, 120, 135 und 140 kV. Sie erfüllten damit die aufnahmetechnischen Qualitätsanforderungen bei Röntgenuntersuchungen [48].

### 3.5 Frakturklassifikation

Die Frakturklassifikation nach Judet und Letournel ergab 34 einfache und 56 kombinierte Frakturformen. Unter den einfachen Frakturen fanden sich 15 Frakturen des vorderen Pfeilers, 8 der hinteren Wand, 6 des hinteren Pfeilers und 3 der vorderen Wand. Bei den kombinierten Frakturen fanden sich mit  $n = 24$  am häufigsten Frakturen des vorderen Pfeilers mit Hemiquerfraktur, gefolgt von 20 Zwei-Pfeiler-, 2 Querfrakturen mit Beteiligung der Hinterwand, 2 Frakturen des hinteren Pfeilers mit Frakturen der hinteren Wand sowie 5 T-Frakturen (Abbildung 16).

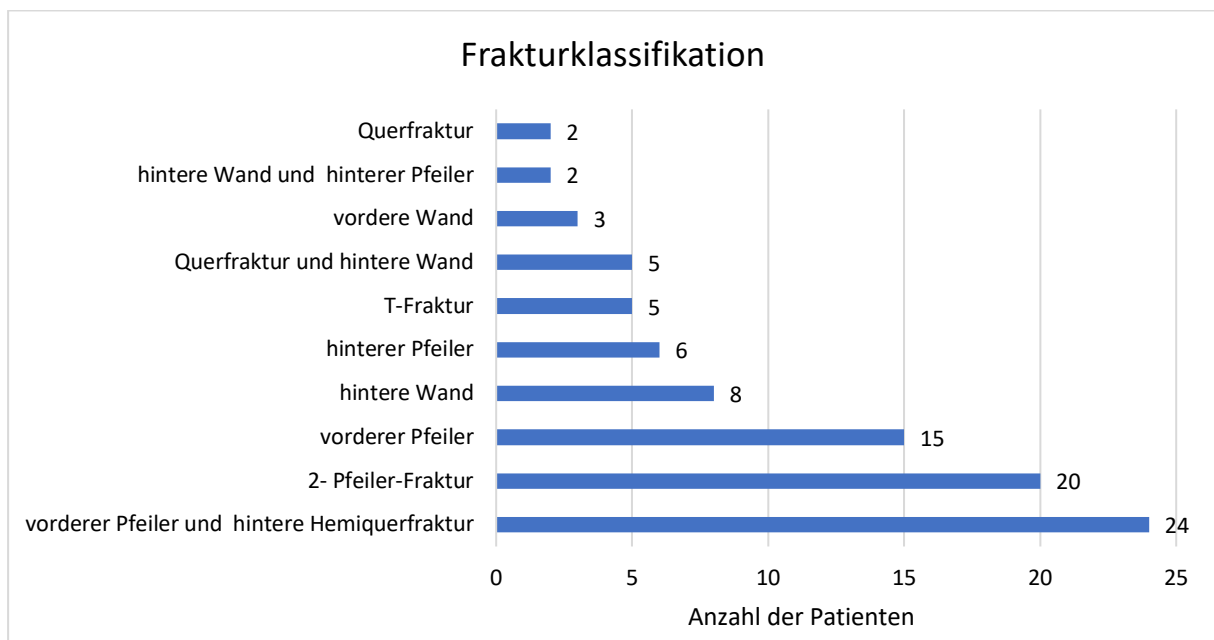
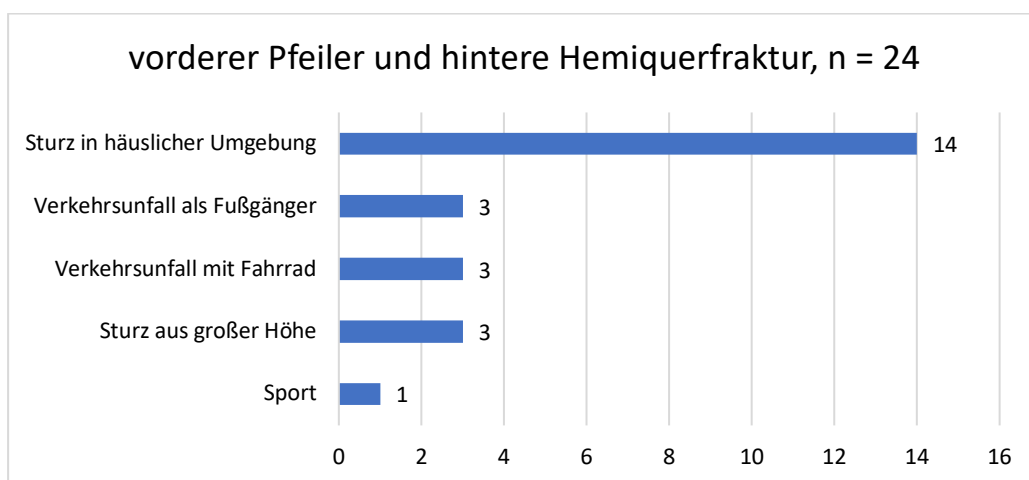


Abbildung 16 Frakturklassifikation nach Judet und Letournel,  $n = 90$

Drei Frakturklassen bestimmten die Stichprobe ( $n = 59/90$ ): Es wurden 24 vorderer Pfeiler- und hintere Hemiquerfrakturen, 20 Zwei-Pfeiler-Fakturen und 15 vordere Pfeilerfrakturen erfasst. Bei Betrachtung der Ursachen für den häufigsten Frakturtyp, der vorderen Pfeiler- und hinteren Hemiquerfraktur, zeigte sich, dass mit einer Häufigkeit von  $n = 14/24$  (58,3 %) ein Sturz in der häuslichen Umgebung die häufigste Unfallursache für diesen Frakturtyp war, gefolgt von einem Sturz aus großer Höhe ( $n = 3$ , 12,5 %) und Verkehrsunfällen mit dem Fahrrad bzw. als Fußgänger ( $n = 3$ , 12,5 %) (Abbildung 17).



**Abbildung 17** Verteilung der 24 vorderen Pfeiler- und hinteren Hemiquerfrakturen

Ein Großteil der Zwei-Pfeiler-Fakturen ( $n = 13/20$ , 65 %) wurde durch Unfälle im häuslichen Umfeld verursacht, 4 davon resultierten aus Stürzen aus großer Höhe (20 %), 2 aus Verkehrsunfällen (10 %) und eine aus sportlicher Aktivität (5 %). Der dritthäufigste Typ, die Fraktur des vorderen Pfeilers, wurde durch Stürze im häuslichen Umfeld (46,7 %), Stürze aus großer Höhe (26,7 %) oder Verkehrsunfälle (26,7 %) verursacht.

### 3.6 Therapie und Operationszugänge

Als Therapieoption wurde bei 30 % ( $n = 27/90$ ) der Patienten eine konservative und bei 70 % ( $n = 63/90$ ) eine operative Therapie gewählt. Als Zugangswege standen neben den Standardzugängen wie Kocher-Langenbeck- und ilioinguinalem Zugang auch die erweiterten Zugänge, etwa ein Stoppa- und iliofemorale Zugang, oder die minimalinvasive perkutane Schraubenostheosynthese zur Verfügung. Als operativer

Zugangsweg wurde von 33 der 63 operativ therapierten Patienten (52,38 %) am häufigsten der ventrale ilioinguinale Zugang gewählt (Abbildung 18). Der dorsale Kocher-Langenbeck-Zugang wurde in 18 Fällen (28,57 %) angewandt, sechsmal wurde der Stoppa-Zugang mit Erweiterung durch das erste Fenster des ilioinguinalen Zugangs (9,52 %), dreimal der modifizierte Stoppa-Zugang (4,76 %) und jeweils einmal der iliofemorale Zugang mit modifiziertem Stoppa-Zugang und der perkutane Zugang (je 1,58 %) gewählt. In einem Fall war der OP-Zugang nicht bekannt.

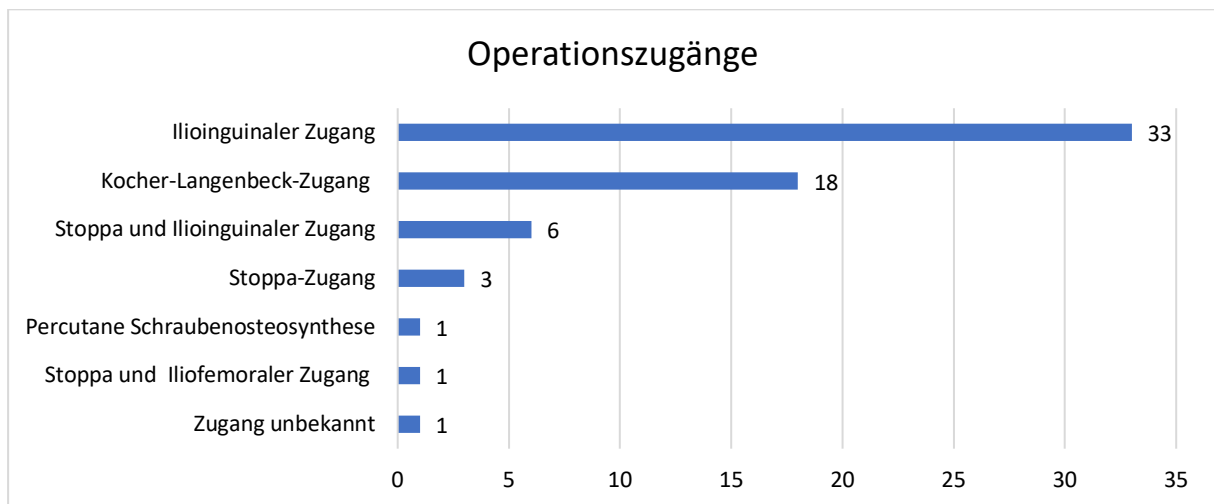


Abbildung 18 Häufigkeitsverteilung der Operationszugänge, n = 63

### 3.7 Übereinstimmungen von Röntgen- und CT-Aufnahmen

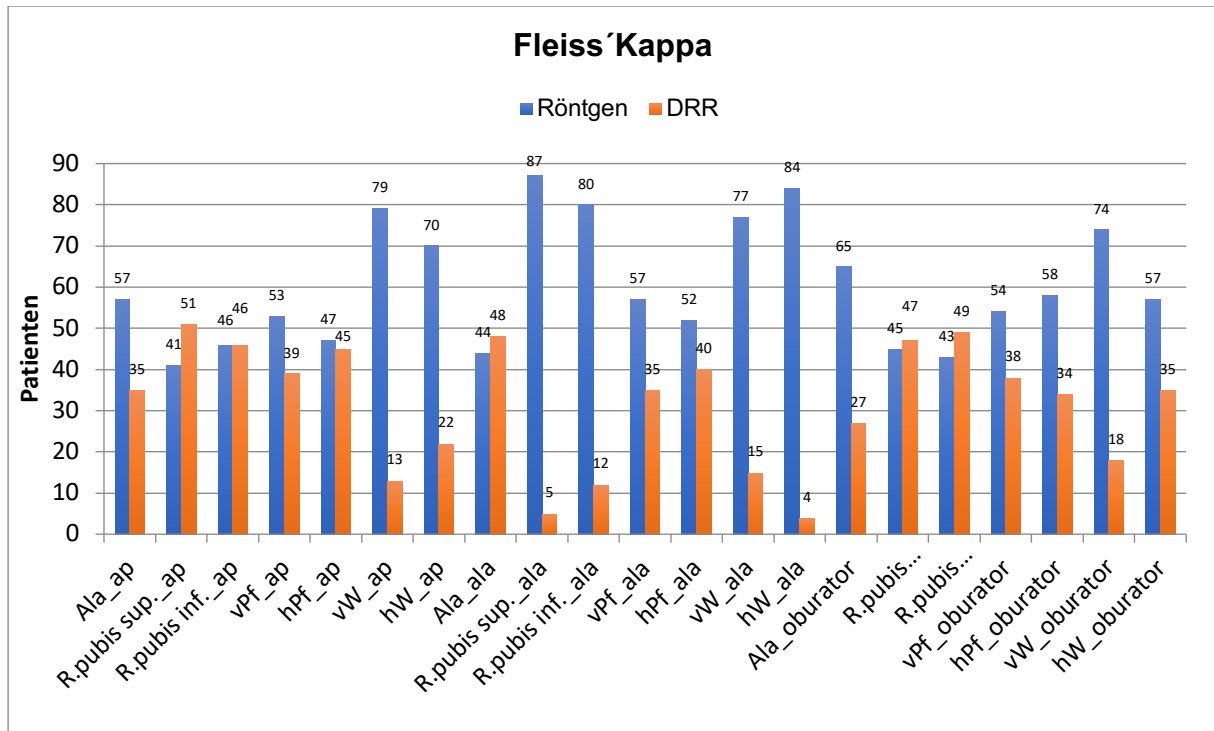
Die Röntgen- und DRR-Aufnahmen wurden von drei Gutachtern unabhängig voneinander kategorisiert; die Reliabilität der Bewertung wurde anhand der Berechnung von Fleiss' Kappa-Koeffizienten geprüft. Nach Landis & Koch (1977) sind die Abstufungen von Kappa wie folgt:

Tabelle 2 Einordnung von Fleiss' Kappa-Koeffizienten nach Landis und Koch

Kappa-Wert	Einordnung
< 0	kaum Übereinstimmung
0,0–0,20	leichte Übereinstimmung
0,21–0,40	gewisse Übereinstimmung
0,41–0,60	moderate Übereinstimmung
0,61–0,80	deutliche Übereinstimmung
0,81–1,00	nahezu perfekte Übereinstimmung



Abbildung 19 zeigt die Anzahl der Übereinstimmungen aller drei Rater für jede Aufnahme.



**Abbildung 19** Anzahl der Übereinstimmungen von Röntgen- und DRR-Aufnahmen von Gutachter 1, 2 und 3; anterior-posterior/ Ala- und Obturator-Aufnahme der Ala, Ramus pubis superior/ inferior, vorderer Pfeiler, hinterer Pfeiler, vordere Wand, hintere Wand.

Die Reliabilität der Auswertung wird in den folgenden Abschnitten differenziert nach den Fragen des Frakturfragebogens dargestellt.

### 3.7.1 Spezifische Frakturen

Spezifische Frakturen wurden in drei Projektionen (a.p., Ala, Obturator) von den Ratern bewertet. Die Einschätzung von jedem anhand der Röntgen- und DRR-Aufnahmen und die Bewertung der Reliabilität (Fleiss' Kappa) sind in den Tabellen 3 bis 9 als absolute und relative Häufigkeiten jeder Fraktur aufgeführt. Die Bewertung von Ala-Frakturen anhand der Röntgenaufnahmen zeigte für a.p.- und Ala-Projektionen mit Fleiss' Kappa von über 0,5 eine moderate Reliabilität (Tabelle 3). Die Reliabilität der Bewertung anhand der DRR-Aufnahmen war vergleichsweise niedriger und zeigte nur eine leichte (a.p.-, Obturatorprojektion) oder eine gewisse (Ala-Projektion) Übereinstimmung.

**Tabelle 3 Häufigkeit einer Ala-Fraktur entsprechend der Einschätzung der drei Rater anhand von drei Projektionen**

	Rater 1		Rater 2		Rater 3		Fleiss' Kappa
	n	%	n	%	n	%	
<b>a.p.-Aufnahme</b>							
Röntgen							
Nein	60	66,7	70	77,8	63	70,0*	0,540
Ja	30	33,3	20	22,2	26	28,9	
DRR							
Nein	58	64,4	77	85,6	73	81,1*	0,150
Ja	32	35,6	13	14,4	16	17,8	
<b>Ala-Aufnahme</b>							
Röntgen							
Nein	55	61,1	56	62,2	54	60,0*	0,590
Ja	35	38,9	34	37,8	35	38,9	
DRR							
Nein	56	62,2	63	70,0*	58	64,4*	0,292
Ja	34	37,8	26	28,9	31	34,4	
<b>Obturatoraufnahme</b>							
Röntgen							
Nein	59	65,6	80	88,9	66	73,3*	0,383
Ja	31	34,4	10	11,1	23	25,6	
DRR							
Nein	59	65,6	90	100,0	84	93,3*	-0,120
Ja	30	33,3	0	0	5	5,6	

\*Angabe für einen Patienten fehlend

Bei der Bewertung von Frakturen des *Ramus pubis superior* zeigte einzig die Einschätzung der Fraktur anhand der Obturatorprojektion eine moderate Reliabilität, während alle anderen Bilder kaum Übereinstimmungen, leichte oder gewisse Übereinstimmungen aufwiesen (Tabelle 4).

**Tabelle 4 Häufigkeit einer Fraktur des *Ramus pubis superior* entsprechend der Einschätzung der drei Rater anhand von drei Projektionen**

	Rater 1		Rater 2		Rater 3		Fleiss' Kappa
	n	%	n	%	n	%	
<b>a.p.-Aufnahme</b>							
Röntgen							
Nein	58	64,4	63	70,0	46	51,1	0,213
Ja	32	35,6	27	30,0	43	47,8	
DRR							
Nein	53	58,9	60	66,7	59	65,6	0,232
Ja	37	41,1	30	33,3	30	33,3	
<b>Ala-Aufnahme</b>							
Röntgen							
Nein	77	85,6	87	96,7	75	83,3	0,225
Ja	13	14,4	3	3,3	13	14,4	
DRR							
Nein	79	87,8	89	98,9	88	97,8	0,040
Ja	11	12,2	1	1,1	1	1,1	
<b>Obturator-Aufnahme</b>							
Röntgen							
Nein	59	65,6	45	50,0	75	83,3	0,512
Ja	31	34,4	45	50,0	13	14,4	
DRR							
Nein	52	57,8	48	53,3	69	76,7	0,226
Ja	38	42,2	42	46,7	20	22,2	

Bei der Bewertung von Frakturen des *Ramus pubis inferior* gab es zwischen den Ratern kaum Übereinstimmungen mit Ausnahme der Röntgen-Aufnahme in Obturatorprojektion mit einer deutlichen Übereinstimmung (Fleiss' Kappa = 0,655) (Tabelle 5).

**Tabelle 5 Häufigkeit einer Fraktur des *Ramus pubis inferior* entsprechend der Einschätzung der drei Rater anhand von drei Projektionen**

	Rater 1		Rater 2		Rater 3		Fleiss' Kappa
	n	%	n	%	n	%	
<b>a.p.-Aufnahme</b>							
Röntgen							
Nein	47	52,2	63	70,0	38	42,2	0,189
Ja	43	47,8	27	30,0	51	56,7	
DRR							
Nein	keine Angabe	keine Angabe	65	72,2	48	53,3	0,031
Ja	keine Angabe	keine Angabe	24	26,7	41	45,6	
<b>Ala-Aufnahme</b>							
Röntgen							
Nein	71	78,9	89	98,9	74	82,2	0,088
Ja	19	21,1	1	1,1	14	15,6	
DRR							
Nein	65	72,2	87	96,7	85	94,4	-0,023
Ja	25	27,8	2	2,2	4	4,4	
<b>Obturator-Aufnahme</b>							
Röntgen							
Nein	51	56,7	49	54,4	38	42,2	0,655
Ja	39	43,3	41	45,6	51	56,7	
DRR							
Nein	43	47,8	52	57,8	46	51,1	0,220
Ja	47	52,2	38	42,2	43	47,8	

Die drei Gutachter stimmten bei der Einschätzung von Frakturen des vorderen Pfeilers anhand der Röntgenaufnahmen in a.p.-Projektion moderat überein; alle anderen

Bewertungen zeigten sowohl anhand der Röntgen- als auch der DRR-Aufnahmen nur eine gewisse oder keine Übereinstimmung (Tabelle 6).

**Tabelle 6 Häufigkeit einer Fraktur des vorderen Pfeilers entsprechend der Einschätzung der drei Rater anhand von drei Projektionen**

	Rater 1		Rater 2		Rater 3		Fleiss' Kappa
	n	%	n	%	n	%	
<b>a.p.-Aufnahme</b>							
Röntgen							
Nein	28	31,1	15	16,7	17	18,9	0,565
Ja	62	68,9	75	83,3	72	80,0	
DRR							
Nein	35	38,9	31	34,4	35	38,9	0,347
Ja	55	61,1	59	65,6	54	60,0	
<b>Ala-Aufnahme</b>							
Röntgen							
Nein	35	38,9	77	85,6	57	63,3	0,137
Ja	55	61,1	13	14,4	32	35,6	
DRR							
Nein	43	47,8	89	98,9	81	90,0	-0,164
Ja	47	52,2	1	1,1	8	8,9	
<b>Obturator-Aufnahme</b>							
Röntgen							
Nein	33	36,7	18	20,0	23	25,6	0,410
Ja	57	63,3	72	80,0	66	73,3	
DRR							
Nein	39	43,3	38	42,2	35	38,9	0,216
Ja	51	56,7	52	57,8	54	60,0	

Die Bewertungen von Frakturen des hinteren Pfeilers anhand der Röntgenaufnahmen in a.p.- und Ala-Projektion stimmten deutlich überein (Fleiss' Kappa > 0,6) (Tabelle 7).

In der Röntgenaufnahme der Obturatorprojektion war die Übereinstimmung jedoch gering (Fleiss' Kappa = 0,114). Bei der Bewertung der DRR-Aufnahmen durch die Rater zeigte sich für alle Projektionen nur eine leichte oder gewisse Übereinstimmung.

**Tabelle 7 Häufigkeit einer Fraktur des hinteren Pfeilers entsprechend der Einschätzung der drei Rater anhand von drei Projektionen**

	Rater 1		Rater 2		Rater 3		Fleiss' Kappa
	n	%	n	%	n	%	
<b>a.p.-Aufnahme</b>							
Röntgen							
Nein	37	41,1	31	34,4	36	40,0	0,653
Ja	53	58,9	59	65,6	53	58,9	
DRR							
Nein	41	45,6	44	48,9	45	50,0	0,130
Ja	49	54,4	46	51,1	44	48,9	
<b>Ala-Aufnahme</b>							
Röntgen							
Nein	35	38,9	27	30,0	31	34,4	0,637
Ja	55	61,1	63	70,0	58	64,4	
DRR							
Nein	44	48,9	37	41,1	45	50,0	0,299
Ja	46	51,1	52	57,8	44	48,9	
<b>Obturator-Aufnahme</b>							
Röntgen							
Nein	53	58,9	85	94,4	58	64,4	0,114
Ja	37	41,1	5	5,6	31	34,4	
DRR							
Nein	56	62,2	87	96,7	67	74,4	-0,110
Ja	34	37,8	3	3,3	22	24,4	

Die Einschätzung der Frakturen der vorderen Wand zeigte kaum Übereinstimmungen zwischen den Ratern – weder basierend auf den Röntgen- noch auf den DRR-Aufnahmen (Tabelle 8).

**Tabelle 8 Häufigkeit einer Fraktur der vorderen Wand entsprechend der Einschätzung der drei Rater anhand von drei Projektionen**

	Rater 1		Rater 2		Rater 3		Fleiss' Kappa
	n	%	n	%	n	%	
<b>a.p.-Aufnahme</b>							
Röntgen							
Nein	78	86,7	84	93,3	65	72,2	0,011
Ja	12	13,3	6	6,7	24	26,7	
DRR							
Nein	56	62,2	85	94,4	73	81,1	-0,091
Ja	34	37,8	5	5,6	16	17,8	
<b>Ala-Aufnahme</b>							
Röntgen							
Nein	79	87,8	78	86,7	51	56,7	0,108
Ja	11	12,2	12	13,3	38	42,2	
DRR							
Nein	73	81,1	79	87,8	73	81,1	0,055
Ja	17	18,9	10	11,1	16	17,8	
<b>Obturator-Aufnahme</b>							
Röntgen							
Nein	81	90,0	69	76,7	82	91,1	0,122
Ja	9	10,0	21	23,3	7	7,8	
DRR							
Nein	64	71,1	74	82,2	77	85,6	-0,012
Ja	26	28,9	16	17,8	12	13,3	

Die Beurteilung von Frakturen der hinteren Wand basierend auf den Röntgenaufnahmen führte zu einer gewissen oder moderaten Übereinstimmung in allen betrachteten Projektionen, während die Übereinstimmung basierend auf den DRR-Aufnahmen nicht vorhanden oder schwach war (Tabelle 9).

**Tabelle 9 Häufigkeit einer Fraktur der hinteren Wand entsprechend der Einschätzung der drei Rater anhand von drei Projektionen**

	Rater 1		Rater 2		Rater 3		Fleiss' Kappa
	n	%	n	%	n	%	
<b>a.p.-Aufnahme</b>							
Röntgen							
Nein	75	83,3	70	77,8	67	74,4	0,532
Ja	15	16,7	20	22,2	22	24,4	
DRR							
Nein	80	88,9	82	91,1	71	78,9	0,101
Ja	10	11,1	8	8,9	18	20,0	
<b>Ala-Aufnahme</b>							
Röntgen							
Nein	81	90,0	80	88,9	81	90,0	0,360
Ja	9	10,0	10	11,1	7	7,8	
DRR							
Nein	82	91,1	89	98,9	88	97,8	-0,035
Ja	8	8,9	1	1,1	1	1,1	
<b>Obturator-Aufnahme</b>							
Röntgen							
Nein	72	80,0	55	61,1	58	64,4	0,525
Ja	18	20,0	35	38,9	31	34,4	
DRR							
Nein	78	86,7	76	84,4	78	86,7	0,122
Ja	12	13,3	14	15,6	11	12,2	



### 3.7.2 Dislokation von Frakturfragmenten

Die Einschätzungen einer Dislokation von Frakturfragmenten anhand der Röntgenbilder stimmten zwischen den Ratern mit Fleiss' Kappa von 0,525 moderat überein, während es bei der Bewertung anhand der DRR-Bilder nur eine leichte Kongruenz gab (Fleiss' Kappa = 0,121) (Tabelle 10).

**Tabelle 10** Einschätzung der Bewertungsmöglichkeit von Frakturfragmenten durch die drei Rater

Dislokation	Rater 1		Rater 2		Rater 3		Fleiss' Kappa
	n	%	n	%	n	%	
<b>Röntgen</b>							
Nein	30	26,3	11	9,6	15	13,2	0,525
Ja	59	51,8	72	63,2	73	64,0	
nicht auswertbar	1	0,9	7	6,1	0	0	
<b>DRR</b>							
Nein	28	24,6	6	5,3	24	21,1	0,121
Ja	62	54,4	69	60,5	65	57,0	
nicht auswertbar	0	0	15	13,2	0	0	

### 3.7.3 Frakturverlauf

Bei der Bewertung des Frakturverlaufs wurden die Rater gebeten einzuschätzen, ob sich dieser anhand der Röntgen- und DRR-Bilder verfolgen lässt oder nicht. Die Einschätzung des Frakturverlaufs zeigte sowohl bei der Betrachtung der Röntgen- als auch der DRR-Aufnahmen eine gewisse Übereinstimmung (Fleiss' Kappa Röntgen = 0,476, CT = 0,396) (Tabelle 11).

**Tabelle 11** Einschätzung der Bewertungsmöglichkeit des Frakturverlaufs durch die drei Rater

Frakturverlauf verfolgbar?	Rater 1		Rater 2		Rater 3		Fleiss' Kappa
	n	%	n	%	n	%	
<b>Röntgen</b>							
Nein	25	21,9	22	19,3	16	14,0	0,476
Ja	65	57,0	68	59,6	71	62,3	
<b>DRR</b>							

Nein	24	21,1	32	28,1	32	28,1	0,396
Ja	66	57,9	58	50,9	57	50,0	

### 3.7.4 Gelenkstufe bzw. Impaktion

Bei der Bewertung der Gelenkstufe bzw. Impaktion wurden die Rater gebeten einzuschätzen, ob ein Einbruch der Gelenkfläche mit subchondraler Impaktion des Acetabulums auf den Röntgen- bzw. DRR-Bildern erkennbar war und ob sich der Verlauf der Fraktur anhand der Röntgen- und DRR-Bilder verfolgen lässt oder nicht. Die Einschätzung der drei Rater zeigte dabei sowohl bei der Betrachtung der Röntgenbilder als auch der DRR-Bilder eine gewisse Übereinstimmung (Fleiss' Kappa Röntgen = 0,358, DRR = 0,169) (Tabelle 12).

**Tabelle 12** Einschätzung der Bewertungsmöglichkeit der Gelenkstufe/Impaktion durch die drei Rater

Gelenkstufe	Rater 1		Rater 2		Rater 3		Fleiss' Kappa
	n	%	n	%	n	%	
<b>Röntgen</b>							
Nein	47	41,2	25	21,9	28	24,6	0,358
Ja	41	36,0	55	48,2	57	50,0	
Nicht auswertbar	2	1,8	10	8,8	1	0,9	
<b>DRR</b>							
Nein	39	34,2	20	17,5	29	25,4	0,169
Ja	49	43,0	51	44,7	59	51,8	
Nicht auswertbar	2	1,8	19	16,7	1	0,9	

### 3.7.5 Gelenkkongruenz bzw. -inkongruenz

Zur Einschätzung der Gelenkkongruenz wurden die Rater gebeten, die Frage zur Beurteilbarkeit des Verhältnisses zwischen Femurkopf und Acetabulumdach in allen drei Projektionen mit „Ja“, „Nein“ oder „nicht zu beurteilen“ zu beantworten. Hierbei zeigte sich eine Übereinstimmung zwischen den Ratern mit Fleiss' Kappa für die Röntgenbilder von 0,396 und für die DRR-Aufnahmen von 0,173 (Tabelle 13).

**Tabelle 13 Einschätzung der Bewertungsmöglichkeit der Gelenkkongruenz durch die drei Rater**

Gelenkstufe	Rater 1		Rater 2		Rater 3		Fleiss' Kappa
	n	%	n	%	n	%	
<b>Röntgen</b>							
Nein	41	36,0	36	31,6	61	53,5	0,396
Ja	48	42,1	50	43,9	25	21,9	
Nicht auswertbar	1	0,9	4	3,5	1	0,9	
<b>DRR</b>							
Nein	53	46,5	40	35,1	61	53,5	0,173
Ja	33	28,9	45	39,5	27	23,7	
Nicht auswertbar	4	3,5	5	4,4	1	0,9	

### 3.7.6 Pfannendach

Bei der Beurteilung des Pfannendaches wurden die Rater gebeten, die Darstellung, Erkennbarkeit und Messbarkeit des Winkels in den drei Projektionen als zusammenfassende Ja-Nein-Antwortmöglichkeit zu beurteilen. Die Reliabilität der Bewerter zeigte dabei für beide bildgebende Verfahren kaum Übereinstimmungen (Fleiss' Kappa Röntgen = 0,095, DRR = 0,099) (Tabelle 14).

**Tabelle 14 Einschätzung der Bewertungsmöglichkeit des Pfannendachs durch die drei Rater**

Gelenkstufe	Rater 1		Rater 2		Rater 3		Fleiss' Kappa
	n	%	n	%	n	%	
<b>Röntgen</b>							
Nein	20	17,5	18	15,8	8	7,0	0,095
Ja	70	61,4	72	63,2	79	69,3	
<b>DRR</b>							
Nein	17	14,9	39	34,2	18	15,8	0,099
Ja	73	64,0	51	44,7	71	62,3	

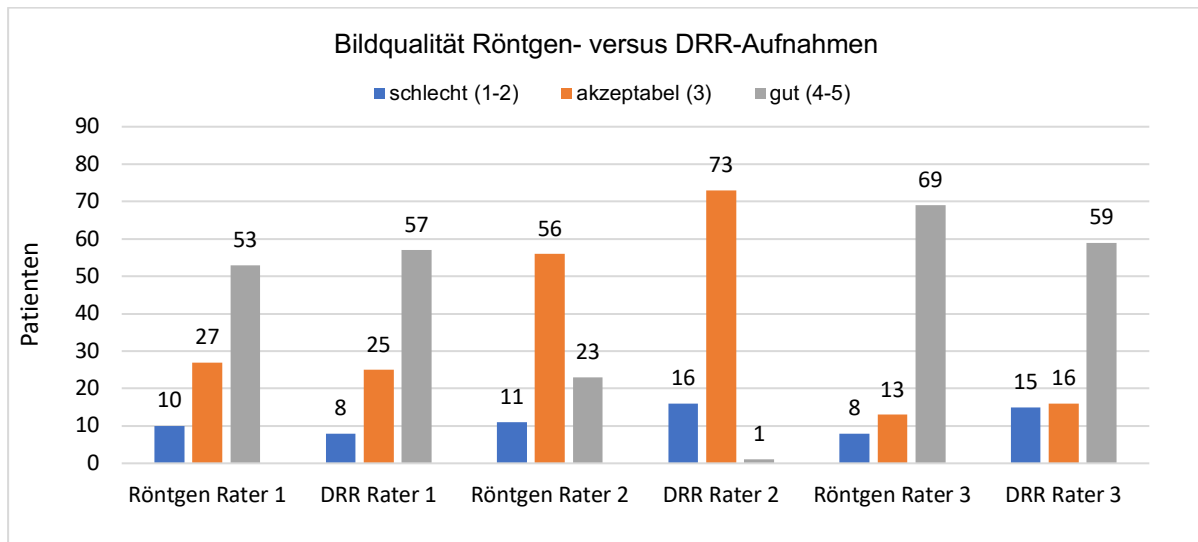
### 3.7.7 Qualität der Bilder

In Tabelle 15 ist die Reliabilität der Beurteilungen der Bildqualität dargestellt (Fleiss' Kappa nach Kategorie und Gesamtbewertung). Dabei ist erkennbar, dass es zwischen den Ratern bei der Beurteilung der Bildqualität kaum Übereinstimmungen gab – weder auf Basis der Röntgenbilder noch der DRR-Aufnahmen.

**Tabelle 15 Interobserver Reliabilität der Qualitätsbewertung der DRR- und Röntgenbilder, Kappa-Koeffizient für alle Beurteiler**

Kategorie (Bewertung)	Röntgen	DRR
Schlecht (1 - 2)	0,449	0,110
Akzeptabel (3)	0,052	0,148
Gut (4 - 5)	0,196	-0,189
<b>Gesamt</b>	<b>0,175</b>	<b>-0,096</b>

Vergleicht man die Qualitätsbewertung der Intraobserver-Reliabilität, so stellt man eine hohe Übereinstimmung der Röntgen- und DRR-Bilder fest. Der Rater 1 bewertete 59 % der Röntgen- (53/90) bzw. 63 % der DRR-Aufnahmen (57/90) mit „gut“ und 30 % der Röntgen- (27/90) bzw. 28 % der DRR-Aufnahmen (25/90) mit „akzeptabel“. Die Bildqualität des zweiten Beurteilers wurde in 62 % der Röntgen- (56/90) und 81 % der DRR-Aufnahmen (73/90) mit „akzeptabel“ und in 26 % der Röntgen- (23/90) und nur in 1 % der DRR-Aufnahmen (1/90) mit „gut“ bewertet. Beurteiler drei bewertete 77 % der Röntgen- und 66 % der DRR-Bilder (69 vs. 59) mit „gut“. Die Bewertung „akzeptabel“ wurde in 14 % der Röntgen- und in 18 % der DRR-Aufnahmen (13 vs. 16) vergeben. Vergleicht man die Qualitätsbewertung für Röntgen- und DRR-Aufnahmen aller Beurteiler einzeln, so ist eine gute Übereinstimmung des ersten Beurteilers zu erkennen (t-Wert: -0,15). Auch der dritte Beurteiler zeigte mäßige Übereinstimmung (t-Wert: 2,1). Die geringste Übereinstimmung der Werte ist beim zweiten Beurteiler (t-Wert: 3,03) bei einem kritischen Wert von 1,99 von zwei abhängigen Variablen zu erkennen. Der Ergebnisvergleich der Reproduzierbarkeit einzelner Beurteiler miteinander zeigte bei fehlenden einheitlichen Bildbeurteilungskriterien keine oder nur geringe Übereinstimmung, was auch die Berechnungen der Bildqualität mit Fleiss' Kappa für Röntgen- (0,175) und DRR-Aufnahmen (-0,096) bestätigen [73].



**Abbildung 20 Vergleich der Bildqualität Röntgen-Aufnahmen mit DRR-Aufnahmen aller drei Beurteiler, Kategorie: schlecht, akzeptabel, gut.**

In der unten dargestellten Tabelle 16 wurde der Zusammenhang zwischen dem Body-Mass-Index und der Bildqualität der Röntgen- und DRR-Bilder für jeden Beurteiler ermittelt. Dabei konnte kein Zusammenhang zwischen dem BMI der 59/90 Patienten und der Qualitätsbewertung der Röntgen- bzw. DRR-Bilder festgestellt werden ( $p > 0,05$ ). Der errechnete Spearman-Korrelationskoeffizient lag deutlich unter dem vorgegebenen kritischen Wert (0,256) [74].

**Tabelle 16 Spearman-Korrelationskoeffizient für Röntgen- und DRR-Aufnahmen versus Body-Mass-Index aller drei Rater**

	Rater 1	Rater 2	Rater 3
Bildqualität Röntgen vs. BMI	0,07	0,08	0,05
Bildqualität DRR vs. BMI	-0,06	0,09	-0,02

Der Zusammenhang zwischen der Bildqualität der DRR-Aufnahmen und der Schichtdicke der Becken-CT, die für die Rekonstruktion verwendet wurden, wurde in der untenstehenden Tabelle 17 dargestellt. Hier konnte bei keinem der Rater eine Korrelation der zwei Variablen festgestellt werden. In unserer Studie liegt nach aktuellen Ergebnissen kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Bildqualität vs. BMI und Bildqualität vs. CT-Schichtdicke vor.

**Tabelle 17 Spearman-Korrelationskoeffizient, Röntgen- und DRR-Aufnahmen versus CT-Schichtdicken aller drei Rater**

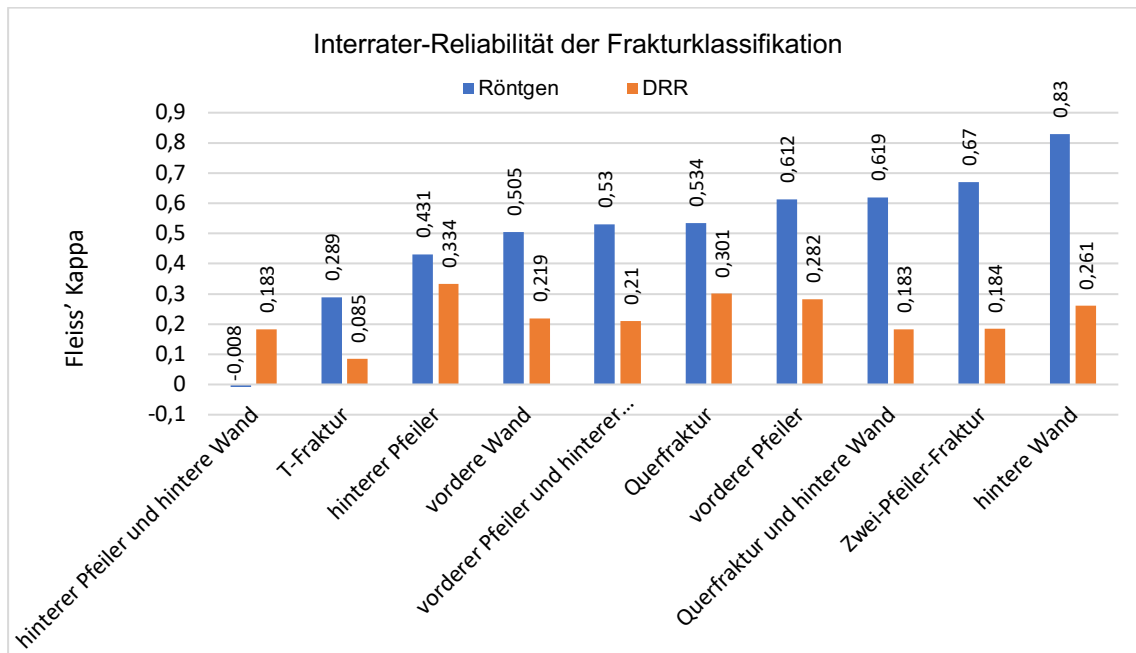
	Rater 1	Rater 2	Rater 3
Bildqualität DRR-Aufnahmen vs. CT-Schichtdicke	-0,101	0,096	-0,072

### 3.7.8 Frakturklassifikation nach Judet und Letournel

Die Übereinstimmung der Frakturklassifikation nach Judet und Letournel wurde für jeden Frakturtyp anhand Fleiss' Kappa-Koeffizienten bewertet. Diese sind in Tabelle 16 für jede Frakturkategorie und als Gesamtbewertung gelistet. Es zeigt sich, dass die Übereinstimmung der Klassifikationen für die Röntgenbilder durchweg höher ist als für die DRR-Aufnahmen, mit einer nahezu perfekten Übereinstimmung der Kategorisierung als Fraktur der hinteren Wand. Auch der Gesamtkoeffizient zeigt eine moderate Übereinstimmung, wenn der Auswertung die Röntgenbilder zugrunde lagen, aber nur eine gewisse Übereinstimmung, wenn die Auswertung auf den DRR-Bildern basierte.

**Tabelle 16 Reliabilität der Frakturklassifikation nach Judet und Letournel durch die drei Rater**

Kategorie	Röntgen	DRR
hintere Wand	0,830	0,261
hinterer Pfeiler	0,431	0,334
vordere Wand	0,505	0,219
vorderer Pfeiler	0,612	0,282
Querfraktur	0,534	0,301
T-Fraktur	0,289	0,085
hinterer Pfeiler und hintere Wand	-0,008	0,183
Querfraktur und hintere Wand	0,619	0,183
vordere Wand oder vorderer Pfeiler mit hinterer Querfraktur	0,530	0,210
Zwei-Pfeiler-Fraktur	0,670	0,184
<b>Gesamt</b>	<b>0,501</b>	<b>0,224</b>



**Abbildung 21** Interrater Reliabilität der Frakturklassifikation nach Judet & Letournel, Röntgen-versus DRR-Aufnahmen, Fleiss' Kappa für drei Rater

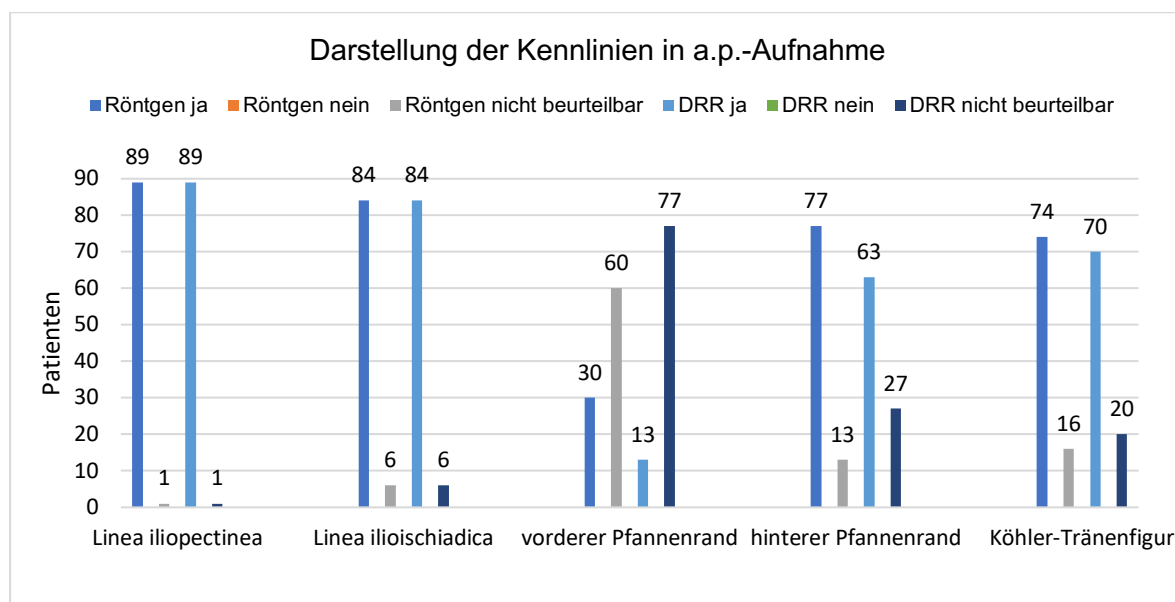
### 3.8 Ergebnisse des Fragebogens zur Erkennbarkeit der Leitlinien und Bildeinstellungen

Die Ergebnisse des Fragebogens zur Erkennbarkeit der Leitlinien und Bilddarstellungen sind in Tabelle 17 und in den Abbildungen 22 bis 25 dargestellt. Sowohl in der Röntgen- als auch der DRR-Aufnahme waren die *Linea iliopectinea*, die *Linea ilioischiadica*, der *Os pubis*, *Ramus superior* und *inferior* komplett, *Femora* beidseitig nach lateral komplett, der *Trochanter minor* und *major* komplett, und die gesamte *Ala* abgebildet und erkennbar. Unterschiede zeigten sich in der Erkennbarkeit des *Os coccygis* projiziert mittig auf Symphyse, der Darstellung der *Ala* bis cranial, und der Überlagerung des *Foramen obturatum* durch den *Tuber ischiadicum*, die im DRR deutlich häufiger erkennbar war als in den Röntgen-Aufnahmen. Umgekehrt verhielt es sich mit dem vorderen Pfannenrand, der Beurteilbarkeit des Gelenkspaltes, und der Erkennbarkeit des ventralen Pfannenrandes, die häufiger auf den Röntgenaufnahmen als auf den DRR-Aufnahmen erkennbar bzw. beurteilbar waren.

**Tabelle 17a-d Ergebnisse des Fragebogens zur Erkennbarkeit und Beurteilbarkeit der Leitlinien und Bildeinstellungen**

	Röntgen			DRR		
	Ja	Nein	Nicht beurteilbar	Ja	Nein	Nicht beurteilbar
Linea iliopectinea	89	0	1	89	0	1
Linea ilioischiadica	84	0	6	84	0	6
Vorderer Pfannenrand	30	0	60	13	0	77
Hinterer Pfannenrand	77	0	13	63	0	27
Köhler Tränenfigur	74	0	16	70	0	20

**Tabelle 17a Kennlinien in a.p.-Aufnahme**

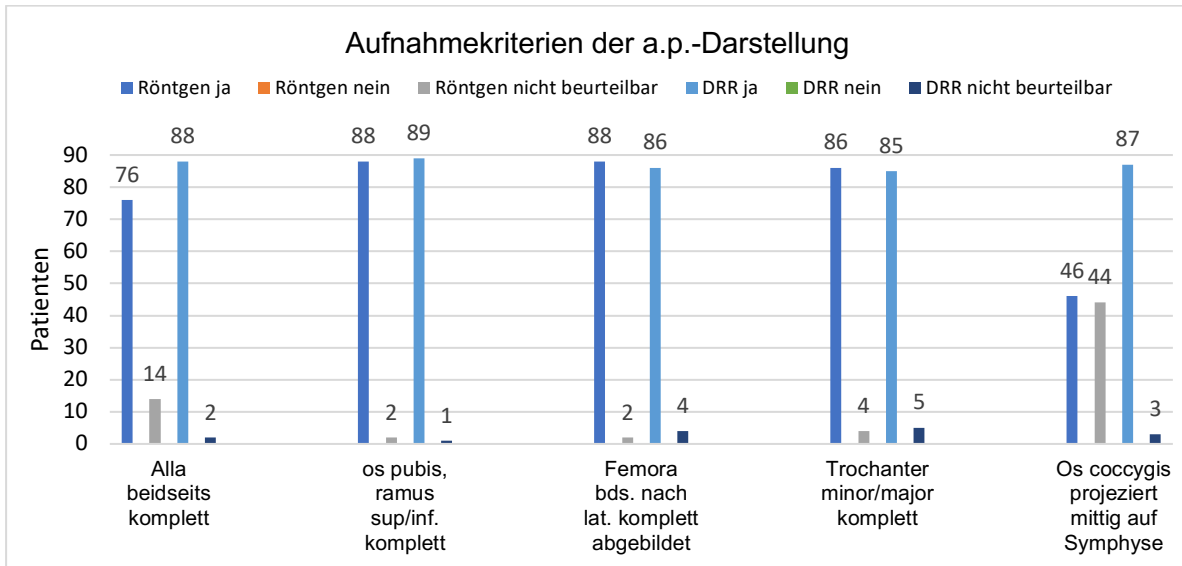


**Abbildung 22 Darstellung der Kennlinien in a.p.-Aufnahme, Röntgen versus DRR**

	Röntgen			DRR		
	Ja	Nein	Nicht beurteilbar	Ja	Nein	Nicht beurteilbar
Ala beidseitig komplett	76	0	14	88	0	2
Os pubis, Ramus superior/inferior komplett	88	0	2	89	0	1
Femora beidseitig nach lat. komplett abgebildet	88	0	2	86	0	4
Trochanter minor/major komplett abgebildet	86	0	4	85	0	5
Os coccygis projiziert mittig auf Symphyse	46	0	44	87	0	3

**Tabelle 17b Aufnahmekriterien der a.p.-Darstellung**

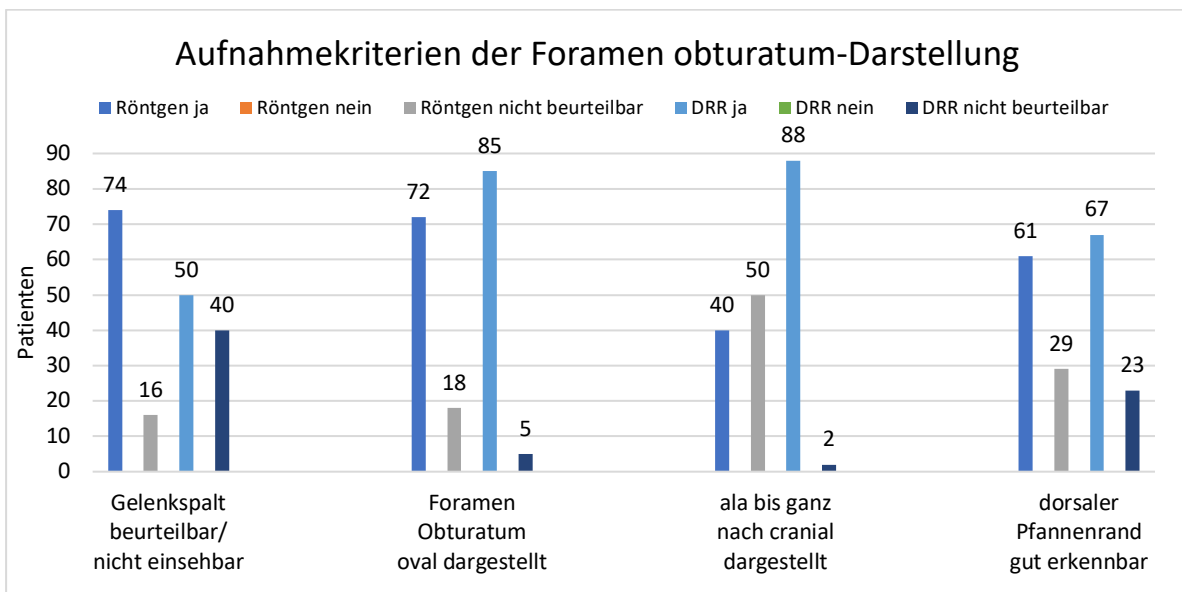




**Abbildung 23 Aufnahmekriterien der a.p.-Darstellung, Röntgen versus DRR**

	Röntgen			DRR		
	Ja	Nein	Nicht beurteilbar	Ja	Nein	Nicht beurteilbar
Gelenkspalt beurteilbar?	74	0	16	50	0	40
Foramen obturatum oval dargestellt?	72	0	18	85	0	5
Ala bis ganz nach cranial dargestellt?	40	0	50	88	0	2
Dorsaler Pfannenrand gut erkennbar?	61	0	29	67	0	23

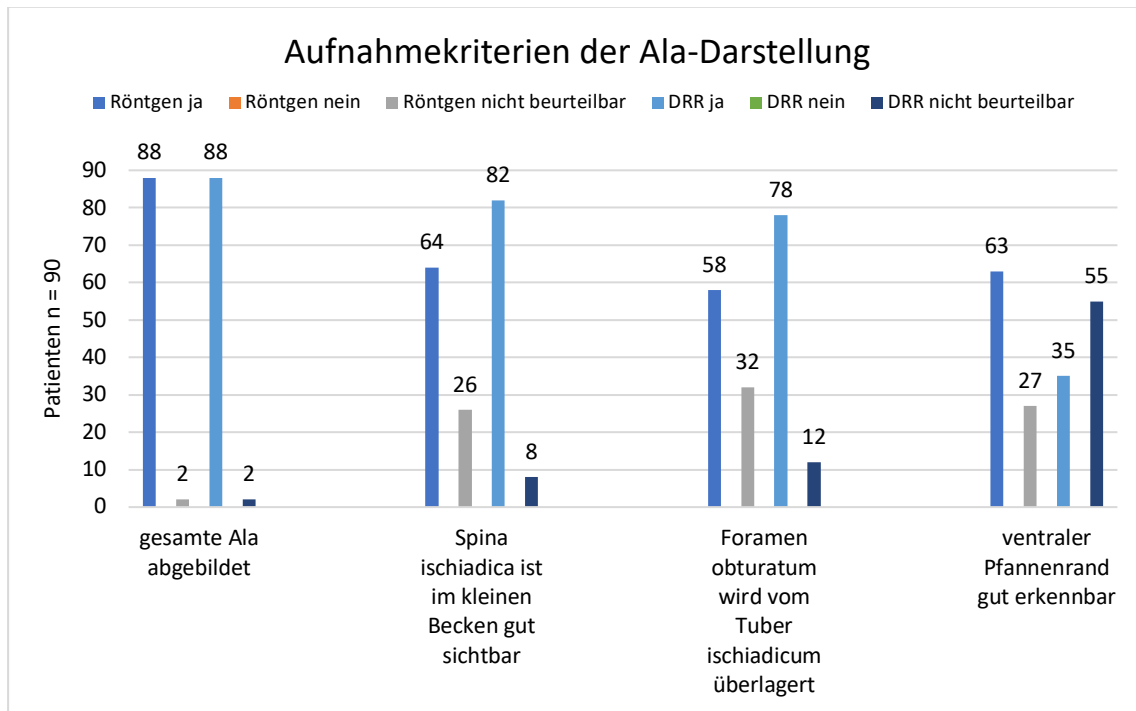
**Tabelle 17c Aufnahmekriterien der Foramen obturatum-Darstellung**



**Abbildung 24 Aufnahmekriterien der Foramen obturatum-Darstellung, Röntgen versus DRR**

	Röntgen			DRR		
	Ja	Nein	Nicht beurteilbar	Ja	Nein	Nicht beurteilbar
Gesamte Ala abgebildet?	88	0	2	88	0	2
Spina ischiadica am kleinen Becken gut sichtbar?	64	0	26	82	0	8
Foramen obturatum wird vom Tuber ischiadicum überlagert?	58	0	32	78	0	12
Ventraler Pfannenrand gut erkennbar?	63	0	27	35	0	55

**Tabelle 17d Aufnahmekriterien der Ala-Darstellung**



**Abbildung 25 Aufnahmekriterien der Ala-Darstellung, Röntgen versus DRR**

## 4 Diskussion

Die einheitliche Auswertung der Ergebnisse von bildgebenden Verfahren ist entscheidend für die breite klinische Anwendbarkeit eines solchen Verfahrens. Nur bei einer zuverlässigen Bewertbarkeit der Bilder kann die Diagnostik zu einer angemessenen Therapieentscheidung nach einer Acetabulumfraktur sinnvoll beitragen. Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, die Auswertbarkeit von DRR im Vergleich zu konventionellen Röntgenbildern durch drei unabhängige Rater zu beurteilen.

Ob im Sinne des Ziels dieser Arbeit entsprechende Informationen aus den verfügbaren Bildmaterialien entnommen werden konnten, war grundsätzlich von unterschiedlichen Faktoren abhängig, die sich auf die Erkennbarkeit von Modifikationen auf Röntgenaufnahmen auswirken. Grundsätzlich wird die Qualität durch solche Parameter beeinflusst, die für die Diagnostik relevante Strukturen (Größe, Dichte, Form, knöchernen Ränder, anatomischer Hintergrund) beeinflussen, sowie die äußeren Bedingungen, unter denen die Bildbetrachtung erfolgt. Bei Letzteren sind es insbesondere die Leistungsdaten des Betrachtungsgerätes und die Gestaltung des Betrachtungsumfeldes.

Bezüglich einer diagnostischen Bildqualität kann dann von einer hinreichenden Qualität gesprochen werden, wenn die diagnoserelevanten Bildinformationen für den behandelnden Mediziner derart dargestellt werden, dass diese eine fachgerechte Begutachtung und Beurteilung erlauben [49]. In der Praxis bedeutet das, dass speziell auch kleinere und kontrastärmere Strukturen deutlich abgegrenzt werden können.

Die Qualitätsunterschiede der Ergebnisse wurden maßgeblich vom Entstehungsprozess digitaler Röntgenaufnahmen bestimmt. Diese werden im Unterschied zur traditionellen Film-Folien-Radiografie durch die Abarbeitung von vier aufeinander aufbauenden Schritten angefertigt: Bildaufzeichnung, Bildverarbeitung, Bildpräsentation sowie Bildverteilung bzw. -archivierung [50]. Die einzelnen Schritte sind durch den Einsatz von unterschiedlichen, separat optimierbaren Lösungen bestimmt. Die Bildqualität des Ergebnisses ist abhängig von den Leistungsmerkmalen der ersten drei Abschnitte. Das schwächste Glied innerhalb dieser Abbildungskette limitiert demnach die Qualität des Endergebnisses.

In der Medizin wird die Bildqualität digitaler Röntgenaufnahmen auf der Grundlage der Parameter „Kontrast“, „Bildschärfe“, „Rauschen“ und „Artefakte“ bewertet [51]. Dabei ist zu beachten, dass jeder dieser Faktoren durch mindestens zwei der vier Schritte der Abbildungskette beeinflusst wird. Dabei ist vor allem die Kohärenz zwischen der Aufnahmedosis und dem Parameter „Rauschen“ ausschlaggebend [52].

<p>Ortsauflösung</p> <p><b>Bildaufzeichnung</b></p> <p><b>Bildverarbeitung</b></p> <p><b>Bildpräsentation</b></p>	<p>Kontrast</p> <p><b>Bildaufzeichnung</b></p> <p><b>Bildverarbeitung</b></p> <p><b>Bildpräsentation</b></p>
<p>Rauschen</p> <p><b>Bildaufzeichnung</b></p> <p><b>Bildverarbeitung</b></p> <p><b>Dosis</b></p>	<p>Artefakte</p> <p><b>Bildaufzeichnung</b></p> <p><b>Bildverarbeitung</b></p>

**Abbildung 26** Faktoren und Parameter, die sich auf die Qualität von digital rekonstruierten Röntgenbildern auswirken (eigene Darstellung)

Entscheidenden Einfluss auf die Bildqualität nehmen die verwendeten Detektoren. Die dabei erzielbare Abbildungsgüte kann mithilfe bestimmter Kenngrößen beschrieben werden. Als wesentlich gilt hierbei die detektive Quanteneffizienz (Detective Quantum-Efficiency [DQE]) [53]. Auf Basis der DQE-Werte können der Wirkungsgrad eines Detektors und damit dessen Fähigkeit, Röntgenquanten in Bildinformation umzuwandeln, beschrieben werden [54]. In der Praxis ist die Anwendung eines Detektors mit höherer DQE bei identischer Bildempfängerdosis gleichbedeutend mit einem höheren Signal-Rausch-Verhältnis (SRV) und mit einer besseren Detailerkennbarkeit. Alternativ ist die Reduzierung einer Bildempfängerdosis möglich, ohne dass es zu einer Veränderung des SRV kommt. Die Ausgabequalität wird von weiteren Kenngrößen wie der Grenzfrequenz, der Modulationsübertragungsfunktion

(Modulation-Transfer-Function [MTF]) und dem Rauschleistungsspektrum (Noise-Power-Spectrum [NPS]) bestimmt.

Der Faktor „Ortsauflösung“ dient der Beschreibung der Erkennbarkeit kleiner, kontrastreicher Objekte. Bei digitalen Detektoren wird sie durch den Pixel-Pitch bestimmt, den Abstand zwischen benachbarten Pixelzentren bzw. die Kantenlänge der Pixel. Bei den meisten großformatigen Detektoren liegen die Werte zwischen 100 und 200  $\mu\text{m}$ , sodass sich rechnerisch Grenzfrequenzen von 5 bzw. 2,5 Linienpaaren/mm ergeben. Die Modulationsübertragungsfunktion beschreibt die Fähigkeit eines Aufzeichnungssystems, die registrierten Schwächungsunterschiede für unterschiedlich große Strukturen (Objektkontraste) in Intensitätsunterschiede im Bild (Bildkontraste) zu überführen. Das NPS kennzeichnet das Rauschen des Detektors in Abhängigkeit von der Ortsfrequenz [60, 69].

Die vom Detektor erfassten Daten werden im nächsten Schritt der Bildverarbeitung zugeführt, bei der die aufgezeichneten Signale mithilfe mathematischer Algorithmen in ein Bild umgewandelt werden. Damit ist die Bildverarbeitung ein zentraler Bestandteil der Abbildungskette, der die Qualität des am Ende der Kette dargestellten Bildes am Monitor entscheidend beeinflusst [70].

In modernen Umgebungen kommt intelligente Verarbeitungssoftware zum Einsatz, mit der relevante Bildstrukturen hervorgehoben und weniger bedeutende Informationen gezielt herausgefiltert werden. Dabei wird der Dynamikbereich ans Schwächungsprofil der Region angepasst, was in der Praxis zu einer Verstärkung der Detailkontraste meist in Kombination mit einer Rauschunterdrückung führt. Eine unzureichende Prozessierung kann zur Unterdrückung relevanter Bildinformationen und zur Induktion von Artefakten führen [55].

Die Detektion und Verarbeitung der Rohdaten stehen dabei auf der einen Seite, die Ausgabe auf speziellen Monitoren steht auf der anderen. Generell ist die Bildqualität vor allem von der Qualität der Bildschirmarbeitsplätze, von den Eigenschaften des verwendeten Monitors und der Grafikkarte sowie der Kalibrierung des Monitors abhängig. Ob sich ein Monitor für die Darstellung radiologischer Befunde eignet, ergibt sich aus seiner Bildschirmdiagonale, der Pixelgröße, Helligkeit, dem Maximalkontrast, der Bildtiefe, den Leuchtstoff- und Farbeigenschaften sowie den Reflexionsmerkmalen.

Die Qualität der Bildaufzeichnung wird des Weiteren von der Dosis beeinflusst. Im Unterschied zu Film-Folien-Systemen decken digitale Detektoren einen Dynamikumfang ab, der mehr als das 1000-Fache über dem von Film-Folien-Systemen liegt. Allerdings besteht bei digitalen Detektoren nicht die Möglichkeit der optischen Kontrolle der Bildempfängerdosis, wie sie mit der Filmschwärzung realisierbar ist. Ein umfangreicher Belichtungsspielraum kann nicht genutzt werden, um Aufnahmen mit reduzierter Dosis anzufertigen. Erst bei sehr niedrigen Belichtungen, die mit geringen Signalstärken verbunden sind, ist das SRV so niedrig, dass das Bild eine zu große Körnigkeit aufweist. In diesem Fall ist eine Abgrenzung feiner Strukturen in der Abbildung nicht möglich.

Der Einsatz von Detektoren mit höherer detektiver Quanteneffizienz führt bei gleicher Bildempfängerdosis zu einem höheren SRV und damit zu einer optimierten Bildqualität [56]. Extreme Überbelichtungen resultieren aufseiten des Detektors in einer Sättigung; in der Folge sind Signaldifferenzen kaum noch registrierbar. In diesem Fall weist die Darstellung einen homogenen Grauwert auf. In der Praxis erhöhen große Belichtungsspielräume sowie der fehlende Zusammenhang zwischen Bildempfängerdosis und Bildhelligkeit die Gefahr, dass mit überhohen Dosen gearbeitet wird [55, 57].

Neben den genannten Faktoren wirken sich Artefakte entscheidend auf die Bildqualität aus. Dabei handelt es sich um Störungen im Röntgenbild, die in der Realität kein Korrelat besitzen. Vorhandene Strukturen können maskiert werden oder ein Artefakt täuscht die Existenz von Strukturen vor, die tatsächlich nicht existieren [55].

In der digitalen Radiografie sind unterschiedliche Artefakttypen vorhanden. Bei Speicherfoliensystemen können Verschmutzungen, Kratzer und Knicke der Folie Artefakte verursachen. Ursächlich können auch Auslesesysteme sein, wenn die Präzision der Laserstrahlabtastung und die Kalibrierung der Registriereinrichtung für das Lumineszenzlicht Mängel aufweisen [59, 71].

Beim Einsatz von Flachbilddetektoren können Kalibrierungsfehler zur Abbildung von Feldern mit unterschiedlichen Graustufen und zur Streifenbildung an den Übergängen der Bauelemente des Detektors führen. Auch Auslesefehler können sogenannte Memory-Artefakte generieren [60].

Die Qualität digitaler Röntgenaufnahmen ist von verschiedenen Faktoren abhängig – vor allem von der Leistungsfähigkeit des Detektors, der Bildverarbeitung, der Bilddarstellung und der Aufnahmedosis. Dabei bestimmt das schwächste Glied der Kette die Güte des Abbildungsergebnisses. Damit ein diagnostisches Ergebnis erzielt werden kann, müssen die verwendeten Instrumente spezifische technische Mindestanforderungen erfüllen. Zwar wird im Rahmen einschlägiger Projekte an neuen Ansätzen für die Evaluierung der Bildqualität unter Einsatz von einfachen Prüfungen und statistischen Methoden wie der Monte-Carlo-Simulation gearbeitet, doch ist die Implementierung eines Standardverfahrens, mit dem die Bildqualität hinreichend erfasst werden könnte, bis dato noch in weiter Ferne [61].

Die Beurteilung der Bildqualität des dieser Studie zugrunde liegenden Bildmaterials basierte auf einem subjektiven Schema, das sich in der Medizin etabliert hat. Die Bildqualität wird hierbei anhand der Werte 1 für „sehr schlecht“ bis 5 für „sehr gut“ eingestuft. Diese Qualifizierung ist jedoch aus wissenschaftlicher Perspektive zu kritisieren, da sie nicht dem wissenschaftlichen Anspruch der Reproduzierbarkeit genügt. Grundsätzlich erscheint nicht gesichert, dass die Bewertung des Bildmaterials von unterschiedlichen Experten identisch ausfällt.

Das Bewertungsproblem wurde durch die vorliegenden Qualifizierungen bestätigt. In Tabelle 18 sind die ersten 20 Bildqualitätsbewertungen einander gegenübergestellt. Der Stichprobe kann entnommen werden, dass die Bewertungen bei einem signifikanten Anteil der Bewertungen um bis zu zwei Punkte auseinanderliegen (graue Markierungen). Im vorliegenden Fall weisen 30 % eine Schwankung von zwei Bewertungsstufen auf, lediglich bei 20 % der Bewertungen stimmen die Einschätzungen überein.

**Tabelle 18 Beispielhafte Bewertungen der Bildqualität und Übereinstimmungen (Übereinstimmung: 0 = identische Bewertung, 1 = Unterschied von einer Bewertungsstufe, 2 = Unterschied von zwei Bewertungsstufen)**

Beurteiler 1	Beurteiler 2	Beurteiler 3	Übereinstimmung
3	3	4	1
3	3	3	0
4	4	4	0
1	1	1	0
4	3	4	1
5	4	5	1
5	4	5	1
5	4	5	1
5	3	5	2
5	3	5	2
4	4	5	1
3	3	5	2
5	4	5	1
5	4	4	1
3	3	3	0
5	4	4	1
5	3	5	2
4	3	5	2
3	2	4	2
4	3	keine Angabe	1

Die Wissenschaft steht dabei vor dem großen Problem, dass bislang keine einheitliche Qualitätsprüfung entwickelt wurde. Grundsätzlich können messtechnisch von einem behandelnden Mediziner sehr gute Bilder als sehr schlecht bewertet werden [62]. Zwar arbeiten Forscher schon längere Zeit an digitalen Lösungen, mit denen Bildmaterial nach spezifischen Qualitätsfaktoren beurteilt und dabei die menschliche Wahrnehmung stimuliert werden kann. Entscheidende Fortschritte werden in diesem Feld nach derzeitigem Stand insbesondere Google Nima (Neural Image Assessment) und das Deep-Object-Recognition-Netzwerk erzielen [63].

Die initial gestellten Forschungsfragen dieser Arbeit lassen sich anhand der vorliegenden Ergebnisse wie folgt beantworten:

1. Ist es möglich, ohne die standardmäßigen a.p.- und Schrägaufnahmen ausschließlich mit digital rekonstruierten Röntgenbildern aus den CT-Datensätzen eine Acetabulumfraktur zu detektieren, zu klassifizieren, eine Therapieentscheidung zu treffen und einen Operationszugangsweg zu wählen?



Könnte auf konventionelle Übersicht- und Schrägaufnahmen des Beckens verzichtet werden?

Die statistische Auswertung der Reliabilität der Einschätzungen aller drei Beurteiler demonstrierte, dass diese für die konventionellen Röntgenaufnahmen durchweg eine deutlich höhere Übereinstimmung zeigten. Für alle spezifischen Frakturtypen lag die Reliabilität bei allen drei Projektionen über jener der CT-Datensätze. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass nur drei Rater diese Auswertung vornahmen, d. h. die Aussagekraft der entsprechenden Ergebnisse wird durch die geringe Anzahl und die subjektive Bildbewertung der Beurteiler eingeschränkt.

In einer vergleichbaren Studie zeigt Pekmezci et al. einen möglichen Vorteil der DRR-Aufnahmen im Vergleich zu konventionellen Röntgenbildern. Hier spielen Aspekte wie radiologische Erfahrungen des Operateurs, Bilderstellung, Bildverarbeitung und Speicherung eine wichtige Rolle. Vorteile der digitalen Bilder wären beispielsweise: reduzierte Strahlungsbelastungen durch Verzicht auf konventionelle Röntgenbilder, Zeit- und Kostenersparnisse durch Wiederholungsuntersuchung bei nicht korrekter Lagerung des Patienten auf dem Röntgentisch, beliebige digitale Bildrekonstruktionen aus den vorhandenen CT-Datensätzen mit der Subtraktion des Hüftkopfes zur besseren Beurteilung des Frakturverlaufs [75, 77].

## 2. Bestehen deutliche Unterschiede in der Bildqualität?

Die Beurteilung der Bildqualität zeigte sowohl für die Röntgen- als auch für die DRR-Aufnahmen – mit Ausnahme der Bewertung „sehr schlecht“ von Röntgenaufnahmen – eine sehr geringe Reliabilität (Fleiss Kappa > 0,20), d. h. die Bildqualität wurde von den drei Ratern unterschiedlich eingeschätzt. Vergleicht man die Bildqualität der Röntgen-Aufnahmen mit DRR-Bildern jedes Beurteilers einzeln, so kann durchweg eine signifikante Intrarater-Reliabilität beobachtet werden. In der Qualitätsbewertung spielen viele Faktoren eine wichtige Rolle, z.B. die subjektive Bildbewertung, fehlende einheitliche Qualitätskriterien eines Röntgenbildes, Artefakte, Projektionsfehler, Weichteil- oder Metallüberlagerung und Fehlen einer speziellen Bildbearbeitungs- und Betrachtungssoftware an den Arbeitsplätzen [75]. Sinatra et al. verglich bei übergewichtigen Patienten (BMI > 35 kg/cm<sup>2</sup>) mit Acetabulumfrakturen die DRR-Aufnahmen mit den konventionellen Röntgenbildern und fand heraus, dass DRR-

Aufnahmen bei adipösen Patienten für die Diagnosestellung gleichwertig waren und bei der Frakturklassifikation sogar besser abschnitten [80].

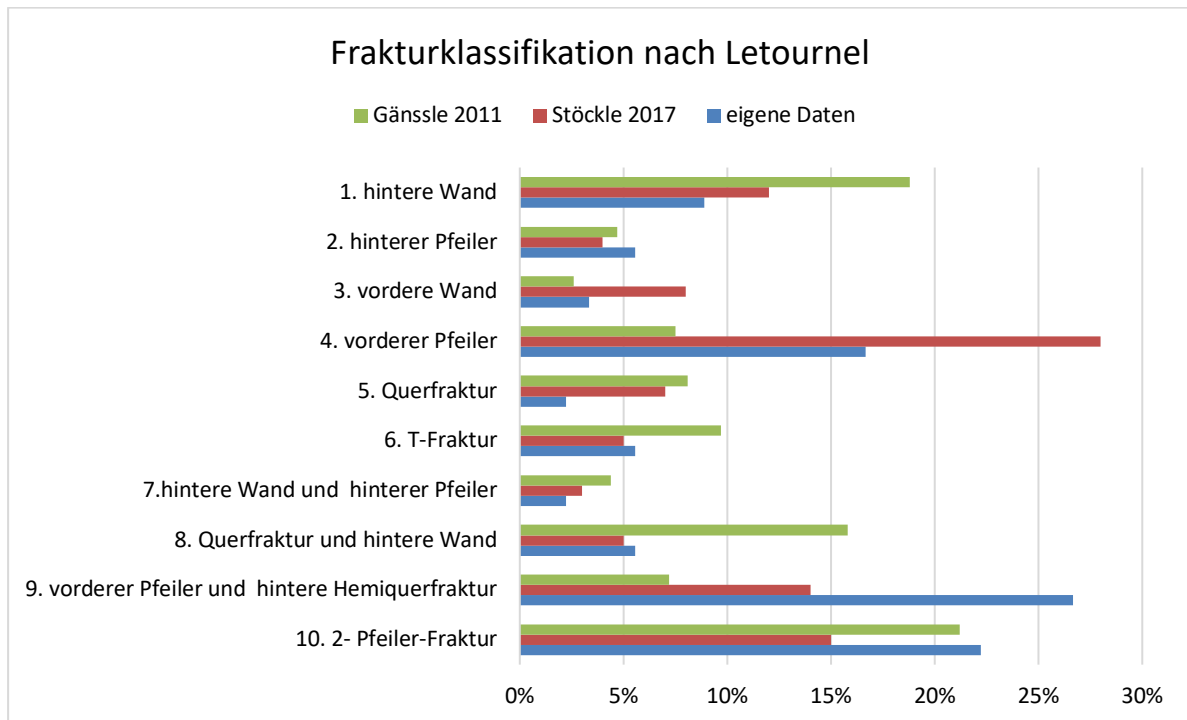
Bei der Auswertung unserer Daten für die Interrater-Reliabilität zwischen der Bildqualität und dem BMI, der Bildqualität und der CT-Schichtdicke konnte kein Zusammenhang hergestellt werden.

3. Ist eine Frakturklassifikation nach Judet und Letournel ausschließlich anhand von DRR-Aufnahmen möglich?

Auch bei der Frakturklassifikation zeigten die Einschätzungen der drei Rater eine deutlich größere Übereinstimmung, wenn sie auf den Röntgenbildern basierten. Visutipol et al. kamen zum ähnlichen Ergebnis: Die Kappa-Werte für die Frakturklassifikation der Intra- und Interobserver-Reliabilität lagen unter dem Signifikanzniveau. Begründet wurde das mit komplizierter Frakturklassifikation (1-10) nach Judet mit deren Subtypen und geringer Erfahrung des Operateurs bei dieser speziellen Frakturform des Beckens [76]. Tazeabadi et al. verglichen die intraoperativ ermittelten Frakturklassifikationen mit den prä-operativen Röntgen- bzw. DRR-Aufnahmen und kamen zum Ergebnis, dass durchaus auf konventionelle Röntgenbilder für die Operationsplanung und Frakturklassifikation verzichtet werden kann. Zum ähnlichen Ergebnis kam auch Ohashi et al. [77, 78, 79]. Die Ergebnisdifferenzen der aufgeführten Studien könnten auf den ungleichen Studienaufbau und auf die Patientenkohorte zurückgeführt werden.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse ist somit davon auszugehen, dass eine korrekte Kategorisierung der Frakturen derzeit zuverlässiger anhand konventioneller Röntgendaten vorzunehmen ist.

Abbildung 25 zeigt die Frakturtypen der vorliegenden Studie anhand der Frakturklassifikation nach Judet und Letournel im Vergleich zu der Arbeitsgemeinschaft Becken der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie und den epidemiologischen Daten von Gänssle et al. [3, 64]. Dabei ist erkennbar, dass sich die Häufigkeiten der Frakturen zwischen den Studien unterscheiden, was jedoch auf Differenzen in dem jeweils betrachteten Patientenkollektiv, dem Studiendesign und den Bewertungskriterien zurückgeführt werden könnte.



**Abbildung 27** Frakturklassifikation nach Judet und Letournel, der vorliegenden Studie (grün), Stöckle et al. 2017 (rot) und Gänssle 2011 (blau) [3, 64].

Schlussfolgernd lässt sich sagen, dass DRR durchaus zu einer korrekten Einschätzung von Acetabulumfrakturen beitragen können und in der vorliegenden Studie den Röntgenaufnahmen in einigen Aspekten der Beurteilung gleichwertig waren. Dennoch war die Übereinstimmung zwischen den drei Ratern durchweg größer, wenn die Einschätzungen auf konventionellen Röntgenbildern basierten. Hinsichtlich der individuellen Abweichungen bei der Bewertung von Acetabulumfrakturen anhand von DRR stellen ebendiese demnach, ausgehend von den hier gewonnenen Erkenntnissen, derzeit keine Alternative zu konventionellen Röntgenbildern dar.

## Literaturverzeichnis

1. Bundesamt, S. *Publikation - Transport & Verkehr - Unfallentwicklung auf deutschen Straßen 2015*. 2015 8. September 2016]; Available from: <https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressekonferenzen/2016/Unfallentwicklung-2015/pressebroschuere-unfallentwicklung.html>
2. Müller-Mai, C.M., Ekkernkamp, A., *Frakturen*. 2010, Berlin, Heidelberg: Springer.
3. Gänsslen, A. and H.J. Oestern, *Azetabulumfrakturen*. *Der Chirurg*, 2011. **82**(12): p. 1133-1150.
4. Rommens, P.M., P.L. Broos, and P. Vanderschot, *Vorbereitung und Technik der operativen Behandlung von 225 Acetabulumfrakturen Zweijahresergebnisse in 175 Fällen*. *Der Unfallchirurg*, 1997. **5**: p. 338-348.
5. Burkhardt, M., et al., *Neue Möglichkeiten der Visualisierung von Frakturen mittels CT: Rekonstruktionen, 3D-Planungen. Schwierige Gelenkverletzungen - Modernes Management - Verbesserte Bildgebung und Operationsplanung bei Gelenkverletzungen*. *Zentralbl Chir*, 2003. **128**(01): p. 34-39.
6. Lippert, H., *Lehrbuch Anatomie*. 2006, München: Urban&Fischer.
7. Weigel, B. and M.L. Nerlich, *Praxisbuch unfallchirurgie*. 2011, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
8. Schünke, M., E. Schulte, and U. Schumacher, *Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem - Prometheus - LernAtlas der Anatomie*. 2007, Stuttgart: Thieme.
9. Tscherne, H. and T. Pohlemann, *Tscherne Unfallchirurgie: Becken und Acetabulum*. 2014, Heidelberg: Springer.
10. Culemann, U., G. Tosaunidis, and T. Pohlemann, *Die Therapie bei Azetabulumfrakturen - aktuelle Diagnostik und Behandlungsstrategie*. *Zentralblatt für Chirurgie*, 2005. **130**(5): p. 58.
11. Bommas-Ebert, U., P. Teubner, and R. Voß, *Kurzlehrbuch Anatomie*. 2011.
12. Bachmann, G., et al., *3D-CT und Angiographie an Ausgußpräparaten von Beckengefäßen: Darstellung der arteriellen Durchblutung der Hüftgelenkspfanne*. *Rofo*, 1993. **158**(03): p. 214-220.
13. Culemann, U., G. Tosounidis, and T. Pohlemann, *Aktuelle Behandlungsstrategien nach Azetabulumfrakturen*. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date*, 2009. **4**.
14. Benner, K.-U. and R.S. Snell, *Klinische Anatomie. Atlas und Textbuch*. 1997, Augsburg: Weltbild.
15. Steinbrück, I., D. Baumhoer, and P. Henle, *Intensivkurs Anatomie*. 2008, München: Urban&Fischer.
16. Ditzen, W. and M. Börner, *Behandlungsstrategien bei Azetabulumfrakturen*. *Trauma und Berufskrankheit*, 2003. **5**: p. 83-91.
17. Kuner, E.H., *Indications, techniques and complications in surgical treatment of the acetabulum*. *Der Orthopäde*, 1997. **26**(4): p. 327-335.

18. Ambacher, T., et al., *Klassifikation und Diagnostik von Azetabulumfrakturen*. Trauma und Berufskrankheit, 2000. **2**(1): p. 19-27.
19. Rommens, P.M. and M.H. Hessmann, *Acetabular fractures*. Der Unfallchirurg, 1999. **102**(8): p. 591-610.
20. Kreitner, K.-F., et al., *Rationelle bildgebende Diagnostik von Becken und Azetabulum- verletzungen*. Rofo-fortschritte Auf Dem Gebiet der Rontgenstrahlen und der Bildgebenden Verfahren - ROFO-FORTSCHR RONTGENSTRAHL, 2000. **172**: p. 5-11.
21. Letournel, E., *Acetabulum fractures: classification and management*. Clin Orthop Relat Res, 1980(151): p. 81-106.
22. Tile, M., *Fractures of the Acetabulum*, in *The Rationale of Operative Fracture Care*, J. Schatzker and M. Tile, Editors. 2005, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 291-340.
23. Giannoudis, P.V., et al., *Operative treatment of displaced fractures of the acetabulum. A meta-analysis*. J Bone Joint Surg Br, 2005. **87**(1): p. 2-9.
24. Engels, H.-P., *Spezielle Traumatologie*, in *Diagnostische und Interventionelle Radiologie*, T.J. Vogl, W. Reith, and E.J. Rummeny, Editors. 2011, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 1099-1130.
25. Rüter, A., O. Trentz, and M. Wagner, *Unfallchirurgie*. 2003, München: Urban&Fischer.
26. Gänsslen, A., F. Hildebrand, and C. Krettek, *Transverse + posterior wall fractures of the acetabulum: epidemiology, operative management and long-term results*. Acta Chir Orthop Traumatol Cech, 2013. **80**(1): p. 27-33.
27. Gänsslen, A. and C. Krettek, *Osteosynthese von Zwei-Pfeiler-Frakturen des Azetabulums über den ilioinguinalen Zugang*. Operative Orthopädie und Traumatologie, 2009. **21**(3): p. 270-282.
28. Naumburger, H., C.M. Müller-Mai, and M. Wich, *Becken*, in *Frakturen auf einen Blick*, C. Müller-Mai and A. Ekkernkamp, Editors. 2015, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 313-344.
29. Bauer, G.J. and M.R. Sarkar, *Injury classifications and operative approaches in hip dislocation and fractures*. Der Orthopäde, 1997. **26**(4): p. 304-316.
30. Jeroukhimov, I., et al., *Selection of patients with severe pelvic fracture for early angiography remains controversial*. Scand J Trauma Resusc Emerg Med, 2009. **17**: p. 62.
31. Stein, D.M., R. O'Toole, and T.M. Scalea, *Multidisciplinary approach for patients with pelvic fractures and hemodynamic instability*. Scand J Surg, 2007. **96**(4): p. 272-80.
32. Frevert, S., B. Dahl, and L. Lönn, *Update on the roles of angiography and embolisation in pelvic fracture*. Injury, 2008. **39**(11): p. 1290-4.
33. Siebenrock, K.A., et al., *Posteriore Zugänge zum Acetabulum*. Der Unfallchirurg, 2013. **116**(3): p. 221-226.
34. Mayr, E., et al., *Approach – related results after acetabular fractures*. Der Orthopäde, 1997. **26**(4): p. 384-393.

35. Keel, M.J.B., et al., *Anteriore Zugänge zum Acetabulum*. Der Unfallchirurg, 2013. **116**(3): p. 213-220.
36. Hirvensalo, E., J. Lindahl, and V. Kiljunen, *Modified and new approaches for pelvic and acetabular surgery*. Injury, 2007. **38**(4): p. 431-41.
37. Cole, J.D. and B.R. Bolhofner, *Acetabular Fracture Fixation Via a Modified Stoppa Limited Intrapelvic Approach Description of Operative Technique and Preliminary Treatment Results*. Clinical Orthopaedics and Related Research®, 1994. **305**.
38. Lehmann, W., et al., *Der Stoppa-Zugang zur Versorgung von Azetabulumfrakturen*. Z Orthop Unfall, 2014. **152**(05): p. 435-437.
39. Ma, K., et al., *Randomized, controlled trial of the modified Stoppa versus the ilioinguinal approach for acetabular fractures*. Orthopedics, 2013. **36**(10): p. e1307-15.
40. Schwabe, P., et al., *Komplikationen nach osteosynthetischer Versorgung von Azetabulumfrakturen*. Der Orthopäde, 2014. **43**(1): p. 24-34.
41. Eulert, J., D. Knelles, and T. Barthel, *Heterotope Ossifikationen*. Der Orthopäde, 1997. **26**(4): p. 399-406.
42. Wedegärtner, U., et al., *Multislice CT (MSCT) in der Detektion und Klassifikation von Becken- und Azetabulumfrakturen*. Rofo, 2003. **175**(01): p. 105-111.
43. Hüfner, T., et al. *Die Wertigkeit der CT zur Klassifikation und Entscheidungsfindung nach Acetabulumfrakturen : Eine systematische Analyse*. 1999.
44. Löw, R., et al., *Radiologische Diagnostik polytraumatisierter Patienten: Management unter Verwendung der Ganzkörper-Spiral-Computertomographie*. Dtsch Arztebl International, 2001. **98**(26): p. 1744-.
45. Prokop, M., M. Galanski, and C. Schaefer-Prokop, *Ganzkörper-Computertomographie: Spiral- und Multislice-CT*. 2006, Stuttgart: Georg Thieme.
46. Bundesärztekammer, *Leitlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik bzw. Computertomografie*. Dtsch Arztebl International, 2008. **105**(10): p. 536-.
47. Strahlenschutz, B.f. *Röntgen - Röntgendiagnostik: Häufigkeit und Strahlenexposition*. 2017; Available from: <http://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-mezizin/diagnostik/roentgen/haeufigkeit-exposition.html>.
48. Bundesärztekammer. *Leitlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik – Qualitätskriterien röntgendiagnostischer Untersuchungen*. 2007; Available from: [https://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/LeitRoentgen2008Korr2.pdf](https://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/downloads/LeitRoentgen2008Korr2.pdf).
49. König, B., et al., *Evaluation der Bildqualität des Iso-C3D-Bildwandlers im Vergleich mit dem CT*. Der Unfallchirurg, 2005. **108**(5): p. 378-386.
50. Körner et al. *Advances in Digital Radiography: „Physical Principles and System Overview“*. RadioGraphics 2007; 27: 675-686.

51. Ewert, U., et al., *Image Quality in Digital Industrial Radiography*. Materials Evaluation, 2012. **70**: p. 955-964.
52. Eibensteiner, H. and A. Haring, *Digitale Röntgenaufnahmen, Dosis und Bildqualität*. Rofo, 2011. **183**(S 01): p. MTRA2\_3.
53. Sund, P., et al., *Comparison of visual grading analysis and determination of detective quantum efficiency for evaluating system performance in digital chest radiography*. Eur Radiol, 2004. **14**(1): p. 48-58.
54. Wong, M.D., X. Wu, and H. Liu, *The effects of x-ray beam hardening on detective quantum efficiency and radiation dose*. J Xray Sci Technol, 2011. **19**(4): p. 509-19.
55. Willis, C., S.K. Thompson, and S.J. Shepard, *Artifacts and misadventures in digital radiography*. Applied Radiology, 2004. **33**: p. 11-20.
56. R. Fasbender, R.Schaetzing, *Neue CR-Technologien für die digitale Radiographie*. Springer Verlag/ Radiologe 2003: S.370-373
57. Dössel, O. and T.M. Buzug, *Medizinische Bildgebung*. 2014, Berlin: Walter de Gruyter
58. Jimenez, R.R., et al., *CT versus plain radiographs for evaluation of c-spine injury in young children: do benefits outweigh risks?* Pediatric Radiology, 2008. **38**(6): p. 635-644.
59. Berthold, L.D., et al., *Bildgebende Diagnostik*, in *Pädiatrische Pneumologie*, E. von Mutius, et al., Editors. 2013, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 203-244.
60. Ludwig, K. and T.M. Bernhardt, *Digitale Flachdetektorsysteme*. Radiologie up2date, 2002. **2**: p. 45-58.
61. Schegerer, A., et al., *Innovative, unabhängige Verfahren zur Evaluierung der Qualität computer-tomographisch (CT) generierter Röntgenaufnahmen*. RÖFo-Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren, 2009. **181**(01): p. VO316\_4.
62. Vanselow, K. and D. Proppe, *Grundlagen der quantitativen Röntgen-Bildauswertung* Vol. 55. 2013, Berlin, Heidelberg: Springer.
63. Talebi, H. *Introducing NIMA: Neural Image Assessment*. 2017; Available from: <https://ai.googleblog.com/2017/12/introducing-nima-neural-image-assessment.html>
64. Stöckle, U., A. Trulson, and F. Stuby, *Aktuelle Trends in der Behandlung von Acetabulumfrakturen*. Trauma und Berufskrankheit, 2017. 19.
65. Gänsslen A, Müller M, Nerlich M, Hrsg. *Azetabulumfrakturen*. 1. Auflage, Thieme, 2015.
66. G. Rademacher, *Verletzungen von Becken und Azetabulum*, Trauma und Berufskrankheit, Springer Verlag, 2012, 14[Suppl 2]: p. 118–124
67. Jame p.Stannard, A.H. Schmidt, P.J.Kregor, M.Stover at al, *Spezielle Unfachchirurgie*, 1.Auflage, Thieme; 2011, Abschnitt 20- Azetabulumfrakturen, p. 518-522
68. Rommens P.M., *Der Kocher-Langenbeck-Zugang zur Behandlung von Azetabulumfrakturen*, Operat Orthop Traumatol 2004; 16:59–74

69. Marc Semper, *Bildqualität – Rauschen II*. Voxeltalk, 2016, Available from: <https://voxeltalk.wordpress.com/2016/07/10/bildqualitat-rauschen-ii-image-quality-noise-ii/>
70. H.P. Busch, *Digitale Projektionsradiographie*. Der Radiologe 08/1999: S. 711-724
71. S. Becht, R.C. Bittner, A. Ohmstede, A. Pfeiffer, R. Roßdeutscher. *Lehrbuch der röntgendiagnostischen Einstelltechnik*. 2008, 6. Auflage, Springer, pp 1-58
72. T. A. Ferguson, R. Patel, M. Bhandari, J. M. Matta, *Fractures of the acetabulum in patients aged 60 years and older*, J Bone Joint Surg [Br] 2010;92-B:250-7.
73. Mraity HAAB, England A, Cassidy S, Eachus P, Dominguez A, Hogg P. *Development and validation of a visual grading scale for assessing image quality of AP pelvis radiographic images*. Br J Radiol 2016; 89: 20150430.
74. Christine Duller, *Einführung in die Statistik mit EXCEL und SPSS*. 4., überarbeitete und erweiterte Auflage, 2019, Springer Gabler, Berlin, Heidelberg.
75. M. Pekmezci, U. Kandemir, P.Toogood, S. Morshed, *Are conventional inlet and outlet radiographs obsolete in the evaluation of pelvis fractures?* J Trauma Acute Care Surg. 2013;74: 1510 - 1515.
76. B.Visutipol, P.Chobtangsin, B.Ketmalasiri, N.Pattarabanjird, N.Varodompon. *Evaluation of Letournel and Judet classification of acetabular fracture with plain radiographs and three-dimensional computerized tomographic scan*. Journal of Orthopaedic Surgery 2000,8(1):33–37
77. S.A. Tazeabadi et al. *Evaluation of Judet view radiographs accuracy in classification of acetabular fractures compared with three-dimensional computerized tomographic scan: a retrospective study*. (2020) 21:405
78. Ohashi et al. *Interobserver Agreement for Letournel Acetabular Fracture Classification with Multidetector CT: Are Standard Judet Radiographs Necessary?* Radiology: Volume 241: Number 2—November 2006
79. A. K. Misiura, A. D. Nanassy, J. Urbine. *Usefulness of Pelvic Radiographs in the Initial Trauma Evaluation with Concurrent CT: Is Additional Radiation Exposure Necessary?* International Journal of Pediatrics Volume 2018, Article ID 6260954, 4 pages
80. P. M. Sinatra, B. R. Moed, *CT-generated Radiographs in Obese Patients With Acetabular Fractures: Can They Be Used in Lieu of Plain Radiographs?* Clin Orthop Relat Res (2014) 472:3362–3369

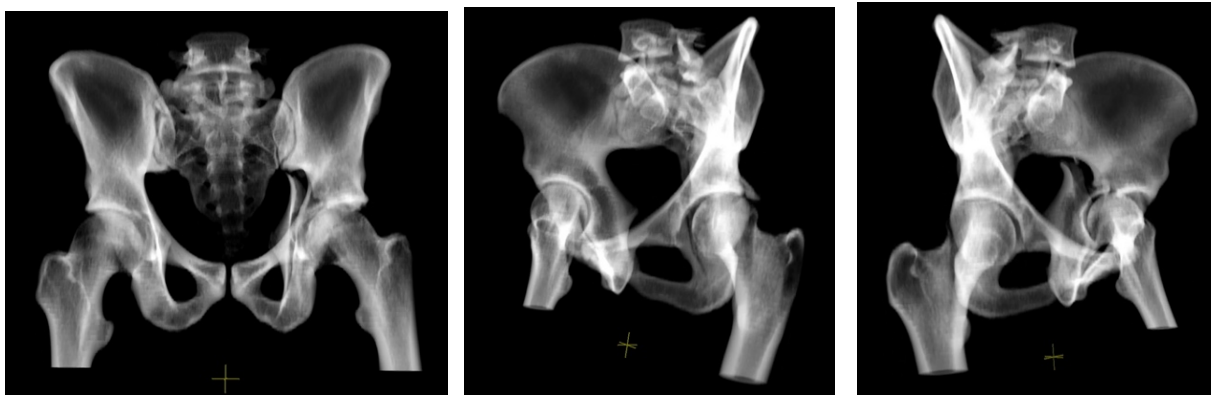


## Anhang

**Fallbeispiel 1: 26-jähriger männlicher Patient mit hinterer Pfeilerfraktur nach Verkehrsunfall mit dem Motorrad, BMI 26,8**



Konventionelle Röntgen a.p.-/ Ala-/ Abturator-Aufnahmen, Qualitätsbewertungen der drei Rater 3/3/3

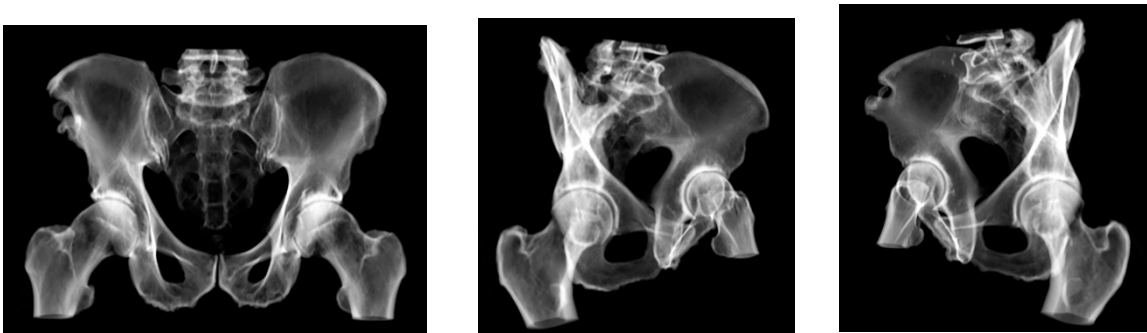


DRR a.p.-/ Ala-/ Abturator-Aufnahmen, CT- Schichtdicke 2 mm, Qualitätsbewertungen der drei Rater 5/3/5

**Fallbeispiel 2: 64-jähriger männlicher Patient mit vorderer Pfeilerfraktur nach Sturz in häuslicher Umgebung, BMI 26,6**



Konventionelle Röntgen a.p.-/ Ala-/ Abturator-Aufnahmen, Qualitätsbewertungen der drei Rater 1/1/1



DRR a.p.-/ Ala-/ Abturator-Aufnahmen, CT- Schichtdicke 2 mm, Qualitätsbewertungen der drei Rater 3/2/4

**Fallbeispiel 3: 86-jähriger männlicher Patient mit vorderer Pfeiler und hinterer Hemiquerfraktur nach Sturz in häuslicher Umgebung, BMI 30,6**

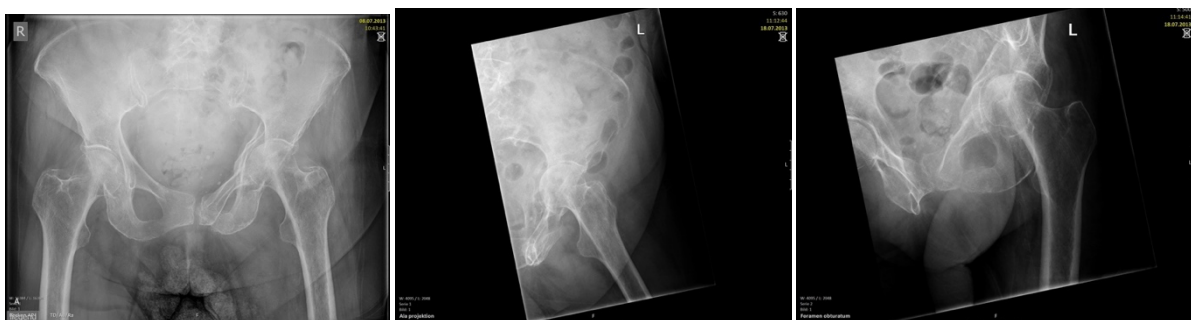


**Konventionelle Röntgen a.p./ Ala-/ Abturator-Aufnahmen, Qualitätsbewertungen der drei Rater 5/4/5**

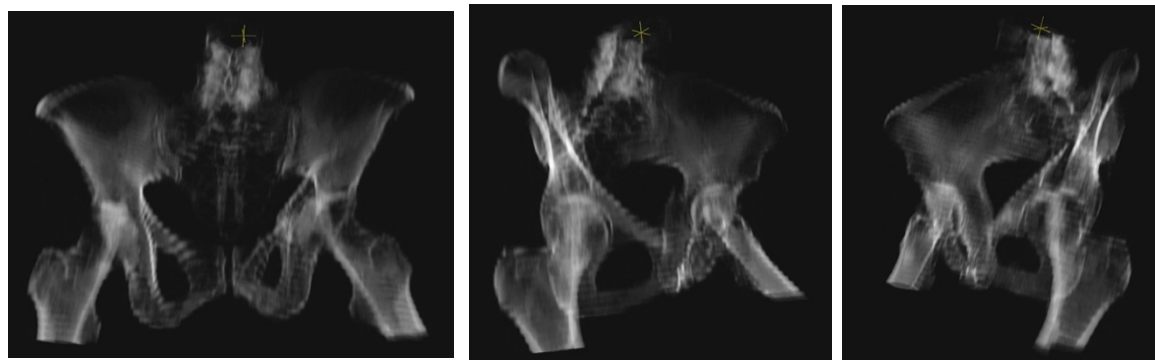


**DRR a.p./ Ala/ Abturator-Aufnahmen, CT- Schichtdicke 1 mm, Qualitätsbewertungen der drei Rater 4/3/5**

**Fallbeispiel 4: 77-jährige Patientin mit vorderem Pfeiler und hinterer Hemiquerfraktur nach Sturz in häuslicher Umgebung, BMI 27,8**



**Konventionelle Röntgen a.p./ Ala/ Obturator -Aufnahmen, Qualitätsbewertungen der drei Rater 3/2/4**



**DRR a.p./ Ala/ Obturator -Aufnahmen, CT-Schichtdicke 5 mm, Qualitätsbewertungen der drei Rater 3/3/4**

## **Danksagung**





