

Aus der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik
Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie
an der Universität Tübingen

**Stellenwert der Navigation in der Becken- und
Acetabulumchirurgie**
Systematische Literaturanalyse und Umfrage unter den
unfallchirurgischen Kliniken Deutschlands

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

Schunck, Jessica

2017

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. G. Ochs

2. Berichterstatter: Professor Dr. F. Maurer

Tag der Disputation: 07.04.2017

Inhaltsverzeichnis

<u>1</u>	<u>EINLEITUNG</u>	<u>1</u>
1.1	STANDARDFLUOROSKOPIE UND NAVIGATIONS-GESTÜTZTE OPERATIONSVERFAHREN	3
1.2	ANATOMISCHE GRUNDLAGEN	13
1.3	DIAGNOSTIK DER BECKENRING- UND ACETABULUMFRAKTUREN	17
1.4	KLASSIFIKATION DER BECKENRING- UND ACETABULUMFRAKTUREN	20
1.5	BEHANDLUNGSVERFAHREN DER BECKENRING- UND ACETABULUMFRAKTUREN	26
1.6	ZIELSETZUNG DER ARBEIT	34
<u>2</u>	<u>MATERIAL UND METHODEN</u>	<u>35</u>
2.1	SYSTEMATISCHE LITERATURRECHERCHE	35
2.2	UMFRAGE ALLER UNFALLCHIRURGEN UND ORTHOPÄDEN DEUTSCHLANDS	36
2.3	STATISTISCHE AUSWERTUNG DER UMFRAGE	40
<u>3</u>	<u>ERGEBNISSE</u>	<u>41</u>
3.1	ERGEBNISSE DER LITERATURRECHERCHE	41
3.2	ERGEBNISSE DER UMFRAGE	62
<u>4</u>	<u>DISKUSSION</u>	<u>90</u>
4.1	DISKUSSION DER UMFRAGEERGEBNISSE IN ZUSAMMENSCHAU MIT DEN ERGEBNISSEN DER LITERATURRECHERCHE	90
4.2	DISKUSSION DER METHODIK DER UMFRAGE	106
<u>5</u>	<u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	<u>108</u>
<u>6</u>	<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	<u>110</u>
<u>7</u>	<u>ERKLÄRUNG ZUM EIGENTEIL</u>	<u>121</u>

Abkürzungsverzeichnis

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
#	Fraktur
A.	Arteria
Abb.	Abbildung
AC	Acetabulum
AG	Arbeitsgemeinschaft
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
a.p.	anterior-posterior
bds.	beidseitig
Bsp.	Beispiel
bspw.	beispielsweise
BR	Beckenring
CAS	Computer-assistierte Verfahren
CT	Computertomographie
DGU	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
DL	Durchleuchtung
EM	Elektromagnetisch
HP	hinterer Pfeiler
k. A.	keine Angabe
MRT	Magnetresonanztomographie
Min.	Minuten
mSv	Milli-Sievert
N.	Nervus
OP	Operation
ORIF	Offene Reposition und interne Fixation
OTA	Orthopedic Trauma Association
Pat.	Patient/Patienten
R.	Ramus
RP	Ramus pubis
RPI	Ramus pubis inferior
RPS	Ramus pubis superior
Sek.	Sekunden

SA	supraacetabulär
SI	sakroiliakal
Std.	Stunden
Tab.	Tabelle
TEP	Totalendoprothese
TZ	Traumazentrum
u.a.	unter anderem
v.a.	vor allem
VP	vorderer Pfeiler
z.B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil

1 Einleitung

Computer-assistierte Operationsverfahren, auch kurz Navigation genannt, haben in den letzten Jahren in der Becken- und Acetabulumchirurgie zunehmend an Bedeutung gewonnen. Die Navigation ist ein Verfahren bei dem mit Hilfe eines Computers und verschiedener bildgebender Verfahren eine Digitalisierung der anatomischen Daten des Patienten erfolgt und anschließend die aktuelle Position der chirurgischen Instrumente anhand des akquirierten Datensatzes angezeigt wird. Dies kann zur präoperativen Planung und Durchführung chirurgischer Eingriffe genutzt werden, indem die Bohrtrajektorien virtuell angezeigt werden und Länge und Durchmesser der Schrauben berechnet werden können. Mit Hilfe der Navigation können somit bei der perkutanen Schraubenplatzierung intraoperativ ohne erneute Bilddatenanfertigung Instrumentenposition und Implantatlage in Echtzeit visualisiert werden. Bisher hat sich die Methodik vor allem in der Wirbelsäulenchirurgie bei der perkutanen Platzierung von Pedikelschrauben bewährt [182]. In der Becken- und Acetabulumchirurgie ist die perkutane Schraubenplatzierung aufgrund der komplexen anatomischen Gegebenheiten und der engen Schraubenkorridore technisch anspruchsvoll. Die Navigation erweist sich jedoch hierbei durch die verbesserte Visualisierung als nützliches Hilfsmittel zur Erhöhung der Präzision bei der Implantatplatzierung und zur Reduktion der Fehlplatzierungsraten bei gleichzeitiger Abnahme der Durchleuchtungszeiten [11, 19, 20, 25, 26, 42, 88, 157, 206].

Grundsätzlich stehen zwei Herangehensweisen zur operativen Behandlung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen zur Verfügung: zum einen die offene Reposition und interne Fixierung (ORIF) und zum anderen die technisch anspruchsvolle perkutane geschlossene Reposition mit interner Osteosynthese (CRIF). Die Wahl der Methode ist abhängig von der Art, der Lokalisation und der Komplexität der Fraktur. Die offene Versorgung von Becken- und Acetabulumfrakturen ist bei einigen komplizierten Frakturarten indiziert, geht jedoch meist mit ausgedehnten Zugängen einher, die mit einem großen Weichteiltrauma und erheblichen Komplikationen verbunden sind. Relevante Komplikationen sind hierbei Weichteilinfektionen, signifikant erhöhter Blutverlust, lange Operationszeiten, heterotope Ossifikation, posttraumatische Arthrose und neurovaskuläre Verletzungen. Eine Reduktion der Komplikationsraten kann durch

die minimal-invasiven perkutanen Osteosyntheseverfahren erreicht werden [11, 25, 41, 68, 102, 157]. Frakturen können dabei unter Bildwandlerkontrolle geschlossen reponiert und über kleine Hautschnitte osteosynthetisch versorgt werden. Die offenen Verfahren bilden zwar weiterhin den Goldstandard bei der operativen Versorgung von Beckenring- und Acetabulumverletzungen, werden jedoch zum Teil inzwischen durch schonendere minimalinvasive perkutane Osteosyntheseverfahren ersetzt. Das bisher gängigste perkutane Vorgehen erfolgt unter **Standardfluoroskopie** nach Matta und Saucedo [106]. Hierbei werden perioperativ mit Hilfe eines sogenannten mobilen C-Bogens (eine C-förmige Kombination aus Röntgenstrahler und Röntgendetektor) röntgengestützte zweidimensionale Durchleuchtungsaufnahmen des Operationsgebiets angefertigt und anhand dieser Aufnahmen die Ausrichtung des Osteosynthesematerials sowie das Repositionsergebnis in Echtzeit kontrolliert. Dafür sind jedoch intraoperativ mehrere Bildwandlerprojektionen notwendig, resultierend in einer hohen Strahlenbelastung für den Patienten und das Personal [26, 64, 134, 206]. Es werden Durchleuchtungszeiten von bis zu 10 Minuten pro Schraube beschrieben [119, 161]. Eine Durchleuchtung des Beckens über beispielsweise eine Minute mit einer Dosis von 40 mSv ist dabei mit 250 Röntgenaufnahmen des Thorax gleichzusetzen. Darüber hinaus sind perkutane Schraubenplatzierungen technisch anspruchsvoll, bedingt durch die geschützte Lage der ossären Strukturen, der komplexen Becken- und Acetabulumgeometrie und der meist komplexen Frakturmuster. Sie bergen aufgrund der unter Standardfluoroskopie eingeschränkten uniplanaren zweidimensionalen Darstellung des Operationsgebiets und bei erschwerten Bedingungen wie Darmgasüberlagerung oder Adipositas die Gefahr einer Schraubenfehlplatzierung und einer konsekutiven Nerven- und Gefäßverletzung. Die Gefahr einer Verletzung sakraler Nerven bei der perkutanen Platzierung von iliosakralen Schrauben liegt zwischen 0,5 % – 7,7 % [76, 155, 176]. In diesem Punkt können die computerassistierten Verfahren einen Zugewinn bedeuten. Die navigierten Operationsverfahren bieten in Form von **2D-Fluoroskopie-, 3D-Fluoroskopie-** und der **CT-gestützten Navigation** die Möglichkeit einer verbesserten Visualisierung des Operationsgebiets und der Instrumentenposition. Es hat sich herausgestellt, dass mit Hilfe der Navigation bei der perkutanen Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen unter bestimmten Voraussetzungen neben der **Reduktion von Strahlenexposition** und der **Operationsdauer** gleichzeitig eine

Erhöhung der Präzision bei der Implantatplatzierung erreicht werden kann [28, 45, 57, 70, 77, 169, 205]. Vor allem in der Beckenchirurgie hat sich die Navigation bei der perkutanen Versorgung von wenig dislozierten Sakrumfrakturen und sakroiliakalen Gelenksprengungen mit dem Vorteil einer Reduktion der Fehlplatzierungsraten und der Durchleuchtungszeiten etabliert [19, 20, 74, 143, 145, 155, 169, 206]. Die verschiedenen Navigationsverfahren sind allerdings auch mit Limitationen verbunden und setzen eine enorme Expertise des Operateurs bezüglich der anatomischen Verhältnisse des Beckens und der navigierten Operationsverfahren voraus. In der Literatur wurde der Einsatz der navigierten Verfahren vor allem in der Wirbelsäulenchirurgie beschrieben, während dies in der Becken- und Acetabulumchirurgie bisher vor allem im Rahmen von experimentellen oder klinischen Einzelfallstudien erfolgte und primär spezialisierten Zentren vorbehalten ist. In der Becken- und Acetabulumchirurgie finden sich vor allem Studien zur 2D- und CT-Navigation mit dem Ergebnis einer erhöhten Praktikabilität und erhöhten Präzision [21, 28, 51, 85, 100, 169]. Die 3D-Navigation stellt eine neuere Entwicklung dar und hat sich bisher vor allem in der Wirbelsäulenchirurgie bei der Platzierung von Pedikelschrauben etabliert. Sie wurde bisweilen vorwiegend in der Beckenchirurgie beim Einsatz am hinteren Beckenring untersucht [19, 20, 172]. Der Einsatz der 3D-Navigation bei Acetabulumfrakturen beschränkt sich aufgrund der geringen Erfahrungswerte auf wenige ausgewählte Fälle. Die Vorteile und die Limitationen der einzelnen Navigationsverfahren sowie deren Praktikabilität wurden zwar im Rahmen klinischer und experimenteller Studien erarbeitet, jedoch fehlt bisher in der Literatur ein systematischer Vergleich der einzelnen Navigationsverfahren gegenüber der allein bildwandlergestützten Technik hinsichtlich der Durchleuchtungszeiten, der Positionsgenauigkeit der Implantate und der möglichen Komplikationen. Darüber hinaus findet sich bisher kein Überblick zur aktuellen Versorgungsstruktur bei Beckenring- und Acetabulumfrakturen bezüglich des Einsatzes der Navigation sowie dessen Stellenwert an deutschen Kliniken.

1.1 Standardfluoroskopie und navigations-gestützte Operationsverfahren

Die perkutane osteosynthetische Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen erfolgt heutzutage entweder unter **Standardfluoroskopie** oder mit Hilfe sogenannter

navigations-gestützter Operationsverfahren, der sogenannten **computerassistierten Chirurgie (CAS)**:

Standardfluoroskopie

Die perkutanen Osteosyntheseverfahren unter Standardfluoroskopie in der Becken- und Acetabulumchirurgie erfolgen mit Hilfe eines herkömmlichen Bildwändlers (C-Bogen), der intraoperativ angewendet wird. Zunächst erfolgt die präoperative Planung einer perkutanen Schraubenplatzierung mit Hilfe präoperativ angefertigter Röntgen- oder CT-Bilder oder anhand von Modellen. Um intraoperativ die Bohrrichtung des Führungsdrahtes, das Repositionsergebnis und die Implantatlage zu kontrollieren, werden mehrere Aufnahmen in verschiedenen Projektionen nach Matta und Saucedo (1989) angefertigt [106]. Um eine genaue Lagebestimmung der Bohrtrajektorie zu erhalten, müssen mehrere Bildwandlerprojektionen angefertigt werden. Dafür werden Inlet- und Outletaufnahmen sowie Aufnahmen im antero-posterioren und im seitlichen Strahlengang akquiriert. Bei Acetabulumfrakturen kommen zusätzlich die Ala- und Obturatoraufnahme hinzu. Die Bohrtrajektorie wird mittels der verschiedenen Projektionen intraoperativ verfolgt und gegebenenfalls korrigiert. Sofern eine regelrechte Position ermittelt wurde, erfolgt die Schraubeneinbringung ebenfalls unter mehrfacher Durchleuchtungskontrolle in verschiedenen Ebenen. Dies hat zur Folge, dass es zu hohen Durchleuchtungszeiten von bis zu 10 Minuten kommen kann mit konsekutiv verlängerten Operationszeiten [87, 161, 170, 172]. Trotzdem werden bei den perkutanen Osteosyntheseverfahren unter Standardfluoroskopie im Vergleich zu den offenen Osteosyntheseverfahren kürzere Operationszeiten verzeichnet sowie geringere Weichteilverletzungen mit reduzierten Komplikationsraten erreicht [115, 119, 124, 147, 162, 190]. Routt et al. beschrieben 1995 als eine der Ersten die perkutane Schraubenplatzierung von iliosakralen Schrauben unter Standardfluoroskopie als sichere und gut reproduzierbare Methode [143]. Zusätzlich bewerteten Routt et al. (1995) in ihrer Studie mit 177 Patienten die perkutane Platzierung von iliosakralen Schrauben als eine schwierige Technik, die jedoch mit geringen Infektionsraten und geringem Blutverlust einhergeht. Van den Bosch et al. (2002) betonen in ihrer Studie, dass es sich bei der perkutanen SI-Schraubenplatzierung um eine sichere Methode handelt, sofern sie von erfahrenen Chirurgen durchgeführt wird [190]. Starr et al.

(2001) beschreiben die perkutane Platzierung von vorderen und hinteren Pfeilerschrauben bei Acetabulumfrakturen als anspruchsvolle Technik mit akzeptablen Ergebnissen, jedoch nur bei der Versorgung einfacher, nicht-dislozierter Frakturen [162]. Um Komplikationen zu vermeiden sind fundierte Kenntnisse der anatomischen Gegebenheiten und der Verletzungsmechanismen obligat. Jedoch kann es trotzdem, insbesondere bei anatomischen Varianten oder erschwerter Visualisierung durch Darmgasüberlagerung oder Adipositas, zu Fehlbeurteilungen kommen. Es besteht dadurch die Gefahr einer Nervenverletzung durch eine extraossäre Schraubenlage. Die Gefahr einer Verletzung sakraler Nerven bei der perkutanen Platzierung von iliosakralen Schrauben liegt zwischen 0,5 % – 7,7 %, wobei die Komplikationsraten insgesamt gering sind [76, 114, 155, 176]. Templeman et al. (1996) berichten von einem erhöhten Risiko für neurovaskuläre Verletzungen bei einer Fehlplatzierung der Schrauben bereits um wenige Grad (4°) [177]. In diesem Zusammenhang können computerassistierte Verfahren durch eine verbesserte Visualisierung der Instrumentenposition einen Zugewinn bedeuten.

Computerassistierte Chirurgie (CAS)

Mit dem Begriff computerassistierte Chirurgie (CAS) werden verschiedene Applikationen vereint, die durch Visualisierung des Operationsgebiets mit Hilfe eines Computers und verschiedener bildgebender Verfahren zur präoperativen Planung und Durchführung chirurgischer Eingriffe genutzt werden. Man unterscheidet bildgestützte Verfahren von nicht-bildgestützten Verfahren. Die bildgestützten Verfahren nutzen entweder prä- oder intraoperativ akquirierte CT-Bilder oder die intraoperative Fluoroskopie. Zu den nicht-bildgestützten Verfahren zählen beispielsweise die infrarotgestützte Navigation. Ziel der CAS ist zum einen die Erhöhung der Präzision der Schraubenimplantation bei gleichzeitig reduzierter Strahlenexposition für Patient und Chirurg. Zum anderen soll es als minimalinvasives Verfahren zu einer Reduktion bzw. Vermeidung der durch das Weichteiltrauma entstehenden Komplikationen führen. Die CAS fand erstmals vor circa 20 Jahren in der Wirbelsäulenchirurgie bei der Pedikelschraubenplatzierung ihren Einsatz, wo auch bisher die meiste Erfahrung gesammelt wurde. Hier konnte neben einer Erhöhung der Präzision bei der Pedikelschraubenimplantation von bis zu 70 %, eine um bis zu 90 % verringerte Strahlenbelastung verzeichnet werden [3, 72, 131, 152, 156, 173, 194]. Dieser Zugewinn durch die Navigationstechniken wird auch in anderen Bereichen wie beispielsweise der Knie-, Hüft- und Schulterchirurgie oder auch in der orthopädischen Tumorchirurgie genutzt [2, 4, 38, 39, 81, 92, 99, 126, 130, 133, 173, 196] .

Konzepte der verschiedenen Navigationsverfahren

Bei jeder intraoperativen Navigation wird ein Kamerasystem genutzt, welches speziell angepasste Instrumente im Operationsbereich erfasst und ihre Position ortet. Die Verbindung zwischen Patient und Computer bzw. virtuellem Bild erfolgt akustisch, elektromagnetisch oder optoelektronisch. Die Informationen werden an einen Rechner geschickt, an dem über einen mathematischen Algorithmus die Berechnung der Instrumentenlage in Relation zum Patienten erfolgt. Je nach Bildgebungsart wird die Instrumentenposition zu jeder Zeit während der Operation auf einem Monitor angezeigt [46]. Man unterscheidet drei Arten der bildgestützten Navigation basierend auf verschiedenen Modalitäten: die **CT-gestützte Navigation**, die **2D-Fluoroskopie-gestützte Navigation** (virtuelle Fluoroskopie) und die **3D-Fluoroskopie-gestützte**

Navigation. Mithilfe der jeweiligen Modalität werden vom Operationssitus prä- und/oder intraoperativ Bilder akquiriert und für den Operateur an einem Monitor zusammen mit der Instrumenten- und Implantatlage in Echtzeit visualisiert. Dank der Navigation ist es möglich präoperativ angefertigte Aufnahmen auf dem Computer zu speichern und während des Eingriffs wieder aufzurufen und für die Planung und Durchführung der perkutanen Osteosynthese zu nutzen.

Jede Art von Navigation benötigt drei Schritte zur Vorbereitung: als ersten Schritt die **Datenakquirierung** und der Datentransfer, anschließend das **Tracking** und zum Schluss die **Referenzierung**. Zusätzlich unterscheidet man Navigationsverfahren, die einen manuellen **Registrierungsvorgang** benötigen und die, bei denen keine Registrierung benötigt wird.

Die Datenakquirierung, d.h. die Anfertigung von Bildern des Operationsgebiets kann auf drei Arten erfolgen: fluoroskopisch, CT-gestützt oder MRT-gestützt. Die Daten werden anschließend beispielsweise über das interne Netzwerk auf den Navigationscomputer geladen. Das **Tracking** beschreibt den Vorgang bei dem die chirurgischen Instrumente in Echtzeit verfolgt werden und ihre Position auf einem Bildschirm in Relation zum Patientensitus visualisiert werden. Danach folgt der **Referenzierungsvorgang**, bei dem aktive oder passive Referenzmarker an den Patienten angebracht werden um Bewegungen des Patienten und der Kamera zu erfassen und auszugleichen. Dies erfolgt passiv oder aktiv mit Hilfe von optoelektronischen oder elektromagnetischen Markern. Unter der **Registrierung** versteht man den Vorgang, bei dem die zuvor akquirierten Bilddaten mit anatomischen Landmarken des Patienten in Verbindung gebracht werden. Dafür kommen u.a. optoelektronische oder elektromagnetische Marker zum Einsatz, die an festgelegten Punkten am Patienten fixiert werden. Man unterscheidet zwei verschiedene Methoden: das „paired-point matching“ bei dem einige Korrelationspunkte am Patienten gewählt werden und das „surface matching“ bei dem ein Punktenetz abgetastet wird. [63, 78, 113]

a) Konzept der CT-gestützten Navigation

Die iliosakrale Verschraubung unter CT-Navigation wurde erstmals 1987 und 1994 von Ebraheim et al. beschrieben [36, 37]. 1992 wurde von Gay et al. das CT-gestützte Operationsverfahren bei der perkutanen Schraubenfixation von Acetabulumfrakturen vorgestellt [45]. Die Technik eignet sich am besten bei nicht- oder leicht dislozierten Beckenringfrakturen und Frakturen des Acetabulumsdachs sowie des hinteren Pfeilers mit Dislokationen kleiner 1 cm. Darüber hinaus findet sie auch Anwendung in der Tumorchirurgie [45]. Es werden zwei Arten der CT-gestützten Navigation unterschieden: zum einen basierend auf präoperativ angefertigten CT-Datensätzen und zum anderen in Form der intraoperativen CT-gestützten Navigation. Es wird zunächst präoperativ ein CT-Datensatz akquiriert. Die Bilddaten werden anschließend über Datenträger oder über das Netzwerk auf das Navigationssystem übertragen. Daraufhin kann ein dreidimensionales virtuelles Bild erstellt werden. Danach folgt als obligatorischer Arbeitsschritt ein aktiver Abgleich (Registrierung) zwischen Patient und den präoperativ gewonnenen Daten (**Abb. 1**). Dieser Schritt besteht aus der Paar-Punkt- und Oberflächenregistrierung. Dafür muss eine Referenzbasis fest an den Knochen des Patienten angebracht werden. Es müssen mindestens 3 Landmarken präoperativ festgelegt werden, die anschließend zur Paar-Punkt-Registrierung intraoperativ erfasst werden. Bei der Oberflächenregistrierung wird ein Punktenetz am Patient digitalisiert und mit dem virtuellen Bild in Deckung gebracht. Die entsprechenden Bereiche des Patienten (i.e. Becken) können nun auf dem Monitor des Navigationsgerätes virtuell dargestellt werden. Die einzelnen Arbeitsgeräte erhalten ebenfalls eine Referenzbasis über die ihre Position auf dem Navigationsmonitor in Echtzeit dargestellt werden können (**Abb. 2**) [73, 93]. Erst nachdem die Bilder angefertigt wurden und der Registrierungsvorgang abgeschlossen wurde, erfolgt der Vorgang der Reposition und der Schraubenimplantation. Nach der perkutanen Schraubenplatzierung kann eine postoperative Röntgen- oder CT-Kontrolle erfolgen (**Abb. 3**).

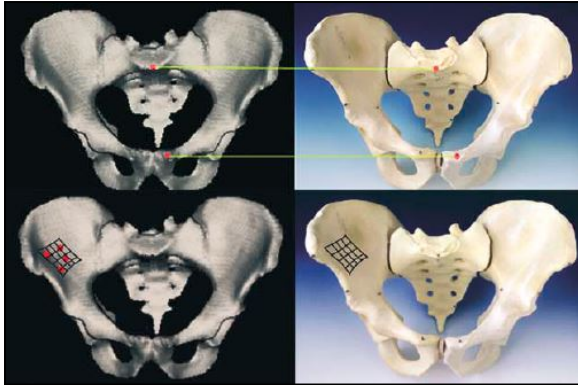


Abb. 1 Registrierungsvorgang am Becken (Quelle: Hüfner et al. 2004 [73])

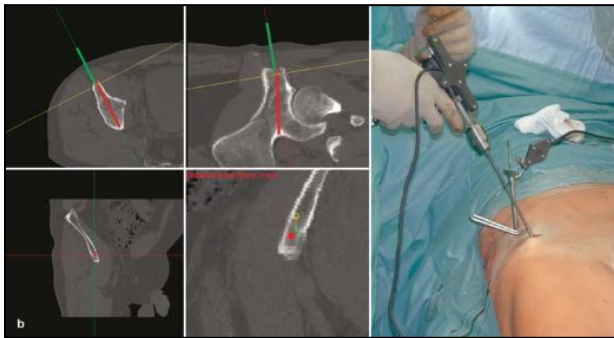


Abb. 2 a. CT-gestützte perkutane Schraubenosteosynthese einer vorderen Pfeilerfraktur. b. Intraoperative Monitoransicht und OP-Setup (Quelle: Stöckle et al. 2002 [167])



Abb. 3 Postoperative Röntgen- und CT-Kontrolle nach perkutaner Verschraubung einer vorderen Pfeilerfraktur: links ap-Röntgenaufnahme, rechts CT-Aufnahme mit endgültiger Implantatlage und Planungstrajektorie (rote Linie) (Quelle: Stöckle et al. 2002 [167])

Es besteht jedoch die Gefahr, dass sich die Frakturfragmente beim Umlagern von CT-Gantry zum OP-Tisch gegeneinander verschieben, wodurch die Bilder durch eine erneute CT-Aufnahme aktualisiert werden müssen [87]. Aus diesem Grund kommt die CT-Navigation primär nur bei nicht-dislozierten Frakturen in Frage. Bei der intraoperativen CT-gestützten Navigation hingegen ist das Navigationssystem

unmittelbar mit der CT verbunden, wodurch die Bilder direkt übertragen werden können ohne dass ein Registrierungsvorgang notwendig ist. Im Gegensatz zur Navigation basierend auf der präoperativen CT, werden die Bilder erst nach der Reposition angefertigt. Allerdings muss hier die Operation innerhalb der CT-Gantry durchgeführt werden, was sich aufgrund des Platzmangels, wie bereits von Crowl et al. (2002) beschrieben, als schwierig erweisen kann [28].

b) Konzept der 2D-Fluoroskopie-gestützten Navigation

Für die 2D-bildwandlergestützte Navigation werden herkömmliche Bildwandler (C-Bogen) genutzt, die bei den meisten orthopädischen und unfallchirurgischen Operationen ihren Einsatz finden. Mit Hilfe eines C-Bogens werden verschiedene Standardaufnahmen angefertigt, über die eine Kontrolle der Instrumentenlage in Echtzeit erfolgen kann. Vor der Bildakquirierung müssen die Operationsinstrumente, der Röntgenbildwandler und der Patient mit optoelektronischen Markern versehen werden (Referenzierung). Das Navigationsgerät kommuniziert dann mittels Infrarotstrahlung mit den Markern. Der Bildwandler muss präoperativ einmalig kalibriert werden. Daraufhin können die Aufnahmen akquiriert werden und als zweidimensionale Bilddaten an das Navigationsgerät übertragen werden. Hierbei ist von Vorteil, dass der Patient im Vergleich zur CT-gestützten Navigation nach Gewinnung des Bildmaterials nicht mehr bewegt werden muss. Damit ist die Erfassung der aktuellen Position des Patienten und der aktuellen Frakturposition gesichert. Eine manuelle Registrierung entfällt bei der 2D-Navigation. Es werden die vier Standardaufnahmen „anterior-posterior“, „inlet“, „outlet“, „lateral“ und zusätzlich zur Beurteilung des Acetabulums die Projektionen „ala“, „obturator“ und „oblique“ angefertigt (siehe **Abb. 8** und **Abb. 9**). Die Position der Instrumente und die Bohrtrajektorien können anschließend über optoelektronische Marker in Echtzeit auf bis zu 4 verschiedenen Bildwandlerebenen verfolgt werden. Von Vorteil ist, dass während der Operation keine weiteren Aufnahmen angefertigt werden müssen, was im Vergleich zur perkutanen Schraubenplatzierung unter Standardfluoroskopie zu einer Reduktion der Strahlenexposition von Patient und Operateur führt [73, 93]. Lediglich vor und nach dem Eingriff müssen zur präoperativen Planung der Bohrtrajektorie und zur postoperativen Kontrolle der Implantatposition Aufnahmen angefertigt werden. Für die

2D-Bildwandlernavigation wird ein sogenannter xSpot™ intraoperativ in den Strahlengang montiert, der zu keiner wesentlichen Einengung des Abstands zwischen Röntgenquelle und – verstärker führt und damit keine Beeinträchtigung darstellt (Abb. 4) [87]. Früher hingegen waren dafür große Zusatzmontagen nötig, die zu einer Einschränkung der Flexibilität des Bildwandlers und zu Beeinträchtigungen der Bildqualität führten.

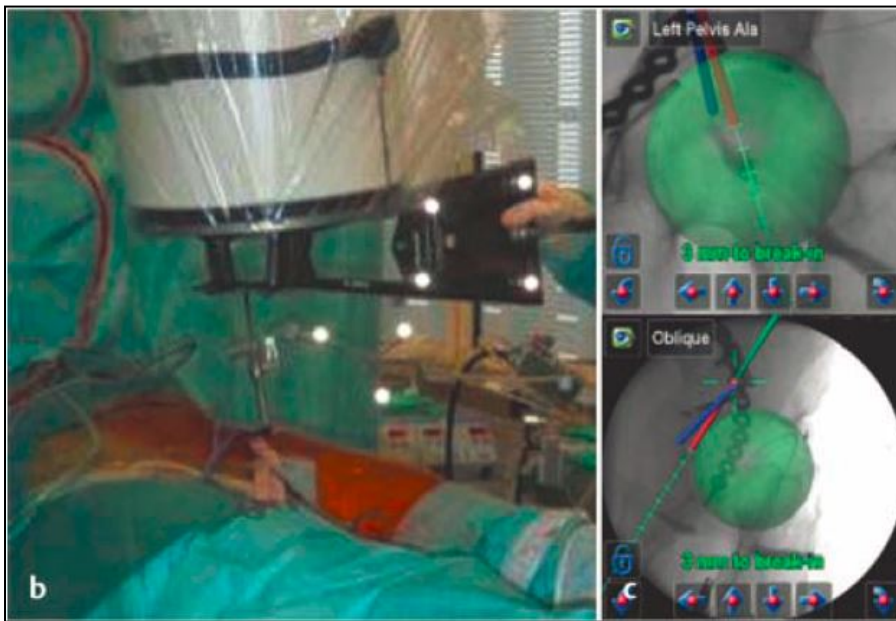


Abb. 4 2D-bildwandlergestützte Navigation: **b** Der xSpot™ wird in den Strahlengang gehalten. **c** 2 Projektionen (ala und oblique) mit Instrumentendarstellung (Quelle: König et al. 2011 [87])

Wie jedes Navigationsverfahren bringt die 2D-Navigation sowohl Vorteile wie auch Nachteile mit sich. Ein Nachteil ist, dass die bildwandlergestützte Navigation eine wesentlich geringere Bildqualität aufweist als die CT-Navigation und dadurch eine präzise Darstellung bei anatomischen Varianten nicht gewährleistet ist [19, 20, 28, 54, 83, 165].

c) Konzept der 3D-Fluoroskopie-gestützten Navigation

Diese Methode wurde erstmals 2003 eingeführt und stellt eine Weiterentwicklung der 2D-Fluoroskopie-gestützten und CT-gestützten Navigation dar. Es werden Bilddaten mit Hilfe eines 3D-Bildwandlers gewonnen, wie beispielsweise dem Iso-C^{3D}- Bildwandler (Siremobil, Fa. Siemens, Erlangen). Das Besondere hierbei ist im Vergleich zu konventionellen C-Bögen die Tatsache, dass sich Kamera und Strahlenquelle immer im

selben Abstand um ein Isozentrum drehen. Durch die Erstellung einer isozentrischen Bildserie können bis zu 100 Bilder aus verschiedenen Winkeln angefertigt werden und mit einem speziellen Algorithmus über koronare, axiale und sagittale Rekonstruktionen dreidimensional dargestellt werden. Da es sich um Hochkontrastdarstellungen handelt, können besonders starke Dichteunterschiede, wie es bei Knochen und Weichteilen der Fall ist, gut dargestellt werden (**Abb. 5**) [74, 93].



Abb. 5 Nach durchgeführtem Iso-C-3D-Scan erfolgt das Einlesen der Daten in das Navigationssystem (Quelle: Hüfner et. al 2004 [74])

Von Vorteil sind die einfachere Anwendung im Vergleich zur CT-Navigation und die bessere Bildqualität gegenüber der Standardfluoroskopie und 2D-Fluoroskopie [84, 141, 197]. Die 3D-Navigation vereint die Vorteile der CT-basierten Navigation und der fluoroskopiebasierten Navigation, bringt jedoch auch einige Limitationen mit sich. Nachteilig ist neben den hohen Anschaffungskosten einerseits ein eingeschränktes Abbildungsvolumen von 12 cm^3 , was sich vor allem in der Visualisierung der komplexen Beckenanatomie bemerkbar macht. Andererseits weist diese Methode gegenüber der CT-Navigation eine schlechtere Bildqualität auf. Allerdings kann die Bildqualität durch intraoperative Nachbearbeitung soweit verbessert werden, dass eine sichere Implantateinbringung in der Acetabulum- und Beckenchirurgie möglich ist. Des Weiteren kann es durch die Hochkontrastauflösung dazu kommen, dass

Metallstrukturen im Aufnahmebereich (am Patienten oder in der Umgebung) zu erheblichen Artefakten führen [19, 84].

1.2 Anatomische Grundlagen

1.2.1 Knöchernes Becken

Das knöcherne Becken setzt sich zusammen aus den beiden Ossa coxae und den dorsal gelegenen Os sacrum und Os coccygis. Zusammen bilden sie den knöchernen Beckenring, auch Beckengürtel genannt. Die Ringstruktur des Beckens ergibt sich aus der Verbindung der Ossa coxae mit dem dorsal gelegenen Os sacrum über die Articulationes sacro-iliacae und der ventralen Vereinigung an der Symphysis pubica über den Discus interpubicus. Das Becken verbindet den Rumpf mit den unteren Extremitäten und dient mithilfe seiner ringförmigen Anordnung der Lastübertragung auf die Beine [12]. Die Ossa coxae setzen sich jeweils aus den drei ursprünglichen Ossifikationszentren Os pubis, Os ischium und Os ilium zusammen, die an der Y-Fuge des Acetabulums vereinigt sind [12]. Betrachtet man das Acetabulum von der Seite, so wird die auf dem Kopf stehende Y-Struktur erkennbar, deren Schenkel dem sogenannten vorderen und hinteren Pfeiler des Acetabulums entsprechen. Diese morphologische Einteilung bildet die Grundlage der Klassifikation von Acetabulumfrakturen nach Judet und Letournel (1964). Die virtuelle Trennlinie zwischen den beiden Pfeilern verläuft vom Foramen ischiadicum majus durch das Zentrum des Acetabulums in das Foramen obturatum und endet im Ramus inferior ossis pubis. Der ventrale Pfeiler wird damit gebildet aus den vorderen Anteilen des Os ilium, der vorderen Hälfte des Acetabulums und aus dem oberen und unteren Ast des Os pubis. Der dorsale Pfeiler besteht aus der hinteren Hälfte des Acetabulums sowie aus der Spina ischiadica und dem Tuber ischiadicum (**Abb. 6**) [56].

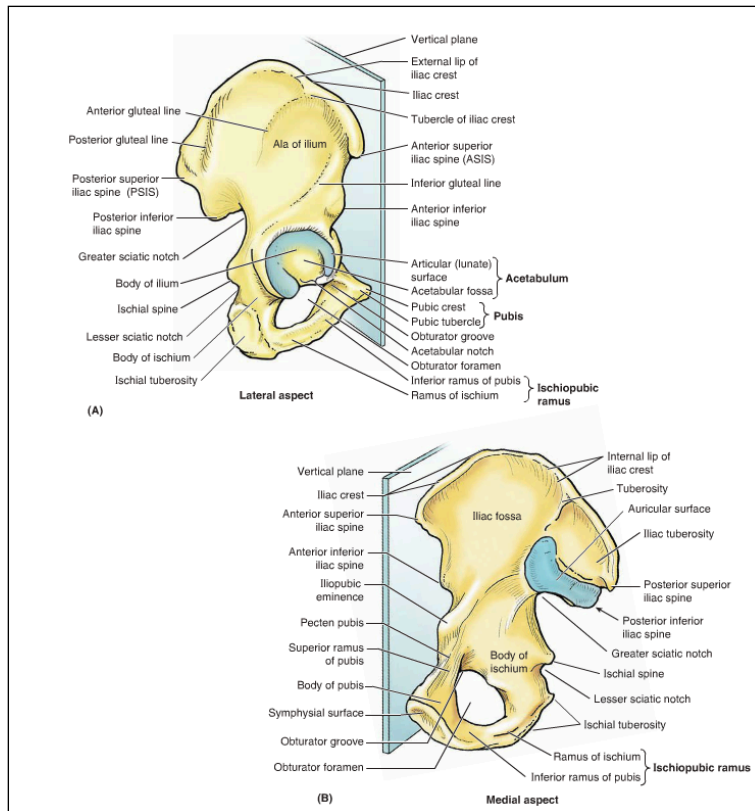


Abb. 6 Knöchernes Becken. (Quelle: Clinically Oriented Anatomy, 6th ed, Lippincott Williams & Wilkins, 2010 [117])

1.2.2 Gelenke und ligamentäre Verbindungen

Die Stabilität des Beckenrings ergibt sich aus der Verbindung der Ossa coxae und dem Os sacrum über die Iliosakralgelenke. Sie stellen zwar „echte Gelenke“ (Diarthrosen) dar, lassen jedoch als Amphiarthrosen kaum Bewegung der Gelenkkörper gegeneinander zu. Hier artikulieren die Facies auriculares des Os ilium und Os sacrum mit nur geringer Beweglichkeit miteinander. Grund dafür sind zum einen die ineinander verzahnten Gelenkflächen, zum anderen der Bandapparat aus ungewöhnlich massiven Bändern [10].

Die Symphyse ist eine feste Verbindung (Synarthrose) aus Faserknorpel und verbindet ventral die beiden Corpora pubica. Die Symphyse wird aus einem Discus interpubicus gebildet, der in das Lig. pubicum superius und inferius übergeht.

Die Bandstrukturen des Beckens sorgen für die nötige Festigkeit und Stabilität.

Dorsal stellt das Os sacrum die Verbindung zwischen dem Beckenring und der Wirbelsäule dar und ist über die Sakroiliakgelenke (ISG) beidseits mit den Ossa coxae verbunden. Das Sakroiliakgelenk wird von den Ligg. sacroiliacalia ventralia,

interossea und den sehr stabilen Ligg. sacroiliacalia dorsalia umgeben. Sie stabilisieren als kurze, kräftige Bandzüge das Gelenk. Der dorsale iliosakrale Bandapparat bildet den wichtigsten mechanischen Stabilisator des Beckens.

Weitere Stabilisatoren des Beckenrings in dorsaler, kranialer und rotatorischer Richtung sind das Lig. sacrotuberale und Lig. sacrospinale [56, 188]. Das Lig. sacrotuberale entspringt als dreieckige Platte an der kaudalen Dorsalfläche des Sakrums und setzt nach schrägem Verlauf am Tuber ossis ischii an. Das Lig. sacrospinale hat seinen Ursprung weiter distal an der Dorsalseite des Sakrums und verläuft nahezu senkrecht zum Lig. sacrotuberale bis zu seinem Ansatz an der Spina ischiadica.

An der Symphysis pubis besteht durch das Lig. arcuatum pubis und Lig. superius pubicus nur eine schwache Bandverbindung, die lediglich die Funktion einer Stütze übernimmt und keine wesentliche lasttragende Funktion aufweist (**Abb. 7**) [117, 188].

Die Membrana obturatoria verschließt als bindegewebige Platte das Foramen obturatum mit Ausnahme des Canalis obturatorius. Durch ihn ziehen vom Becken kommend der N. obturatorius und die A. und V. obturatoria bis zur Innenseite des Oberschenkels. Bei Beckenringfrakturen mit Beteiligung des Ramus superior ossis pubis kann es zu einer Schädigung des N. obturatorius kommen und damit zu einer Parese der Adduktoren [10].

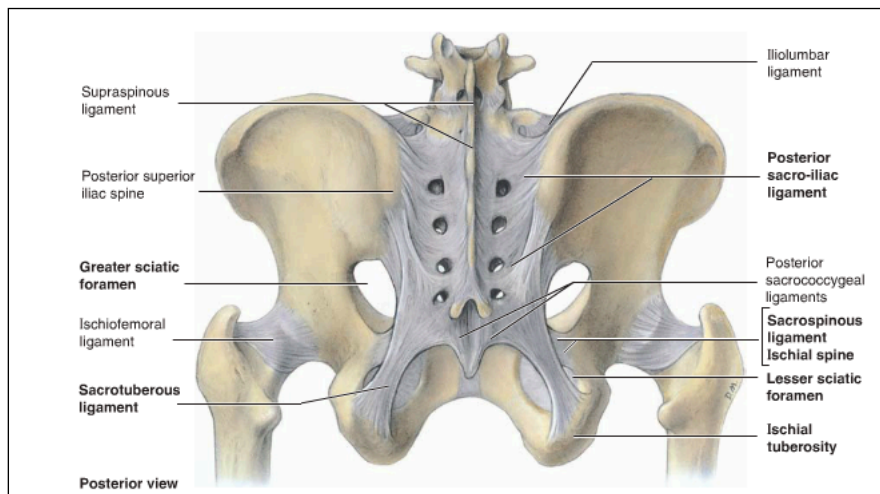


Abb. 7 Ligamente des Beckens. (Quelle: Clinically Oriented Anatomy, 6th ed, Lippincott Williams & Wilkins, 2010 [117])

1.2.3 Muskulatur des Beckens

Der Beckenring ist sowohl Ansatz, wie auch Ursprung vieler Muskeln und Muskelgruppen, insbesondere der Bauchwand- und Hüftmuskulatur. Wichtige Vertreter der Bauchwandmuskulatur sind der M. rectus abdominis und die Mm. obliquus externus und internus abdominis. Die Hüftmuskulatur unterteilt sich in die Gruppe der Hüftbeuger bestehend aus dem M. iliopsoas und dem M. tensor fasciae latae, den Hüftstreckern und Abduktoren gebildet aus den Glutealmuskeln, die Adduktoren und nicht zuletzt die Außenrotatoren bestehend unter anderem aus dem M. obturatorius internus und externus und dem M. piriformis. Der Beckenring wird nach kaudal aus mehreren Schichten von Muskeln des Beckenbodens, wie den Hauptvertretern M. levator ani und M. transversus perinei profundus et superficialis und von Bindegewebe abgeschlossen [117, 159].

1.2.4 Gefäß-, Lymph- und Nervenversorgung

Die Versorgung der unteren Extremität erfolgt über die A. iliaca communis, die sich aus der Aorta abdominalis fortsetzt und sich beidseits angelegt jeweils vor dem SI-Gelenk in die A. iliaca externa und A. iliaca interna aufteilt. Die A. iliaca externa dient der Versorgung der Beine. Sie verlässt das Becken unterhalb des Leistenbandes als A. femoralis und verläuft hinab zum Bein. Die A. iliaca interna übernimmt mit ihren Ästen die Versorgung der Beckenorgane. Sie teilt sich auf Höhe der Linea terminalis in einen vorderen und einen hinteren Hauptstamm auf [117, 159].

Die venöse Versorgung des Beckens erfolgt hauptsächlich über venöse Plexus, wobei die folgenden Plexus die größte chirurgische Relevanz besitzen [117]:

- Plexus venosus vesicalis
- Plexus venosus rectalis
- Plexus venosus uterinus
- Präsakraler Venenplexus

Bei den Lymphbahnen lassen sich die Abflussbahnen der oberflächlichen Schichten der Haut und Unterhaut von denen der tieferen Schichten unterscheiden. Die wichtigsten Stationen stellen zum einen die Nodi lymphatici inguinales superficiales et profundi, die die Lymphe aus der unteren Extremität, der Leisten-, Gesäß- und Dammregion sammeln. Bei der Frau wird zusätzlich die Lymphe des Uterus abgeleitet. Daneben

sammeln die Nodi lymphatici sacrales die Lymphe aus Muskeln, Knochen und Gelenken des hinteren Beckenrings. Von dort aus wird die Lymphe aus der Bein- und Beckenregion über die iliakalen und lumbalen Lymphknotenstationen nach zentral transportiert [189].

Bei Becken- und Sakrumfrakturen sind vor allem der Plexus lumbosacralis und der Plexus coccygeus von neurologischer und chirurgischer Bedeutung. Der Plexus lumbosacralis entspringt den Wurzeln L4 bis S3 und verläuft mit den Sakralnerven durch die Foramina sacralia, wo sie bei Sakrumfrakturen verletzt werden können. Daraus können Funktionsverluste des Urogenitalsystem und des Darms resultieren [117].

1.3 Diagnostik der Beckenring- und Acetabulumfrakturen

Beckenring- und Acetabulumfrakturen bilden mit 3 - 8 % zwar nur einen kleinen Anteil aller Frakturen, jedoch sind diese Frakturen häufig mit schweren Begleitverletzungen und Komplikationen assoziiert [137]. Eine retrospektive Studie von Laird et al. (2005) beschreibt eine Inzidenz der Acetabulumfrakturen bei 3 Patienten pro 100.000 Patienten pro Jahr. Über einen Untersuchungszeitraum von 16 Jahren zeigt sich eine signifikante Verringerung des Schweregrads der Acetabulumfrakturen und damit assoziiert eine geringe Mortalitätsrate und verringerte Krankenhausaufenthaltsdauer [94].

Die Diagnostik bei Beckenringverletzungen ist aufgrund der komplexen anatomischen Gegebenheiten anspruchsvoll. Bei polytraumatisierten Patienten wird nach den Richtlinien des ATLS (Advanced Trauma Life Support) vorgegangen. Sofern der Patient stabil ist und primär versorgt wurde, sollte, wenn möglich eine Anamnese zum Unfallhergang und zur Einschätzung der Schwere und des Ausmaßes der Verletzungen erfolgen. Anschließend folgen Inspektion und Palpation um Fehlstellungen des Beckens zu erkennen. Durch Kompression der Beckenhälften oder der Symphyse wird die Stabilität in anterioposteriore Richtung und in der Frontalebene geprüft. Ebenfalls notwendig ist die Prüfung der Durchblutung, Sensibilität und Motorik, insbesondere im Versorgungsgebiet des N. ischiadicus und des N. femoralis. Des Weiteren sind eine digitale rektale und vaginale Untersuchung sowie eine Inspektion der Urethra obligat um Begleitverletzungen zu erfassen [56, 120].

Sonographie

Direkt beim Eintreffen des Patienten im Schockraum ist eine sonographische Untersuchung obligat um intraabdominelle Verletzungen parenchymatöser Organe und freie Flüssigkeit zu detektieren. Die Vorgehensweise nennt sich „focussed abdominal sonography in trauma (FAST)“ [160]. Sollte initial keine freie Flüssigkeit gefunden werden, so empfiehlt es sich zur Kontrolle nach 4-6 Stunden nochmals eine sonographische Untersuchung des Abdomens durchzuführen [120, 188, 193].

Konventionelles Röntgen

Mittels einer Beckenübersichtsaufnahme im anterioren-posterioren Strahlengang lassen sich die ossären Strukturen des Beckens beurteilen. Hierbei ist zu beachten, dass es sich um eine Schrägaufnahme vom Becken handelt, da die Beckeneingangsebene um 45° zur Körperachse gekippt ist. Dies hat zur Folge, dass eine Beurteilung des hinteren Beckenrings erschwert ist. Zur weiteren Beurteilung können zusätzlich sogenannte Inlet- und Outlet-Aufnahmen nach Pennal durch Kippung des Strahlengangs nach kraniokaudal angefertigt werden (**Abb. 8**). Für die Inlet-Aufnahme wird der Zentralstrahl um 40° nach kaudal gerichtet um den hinteren und vorderen Beckenring und die Fragmentdislokation in kraniokaudale Richtung zu bewerten. Bei der Outlet-Aufnahme erfolgt die Ausrichtung des Strahls um $40-60^\circ$ nach kranial, wodurch sich das Os sacrum und die Fragmentdislokation der Beckenringfraktur in ventrodorsale Richtung beurteilen lassen [56].

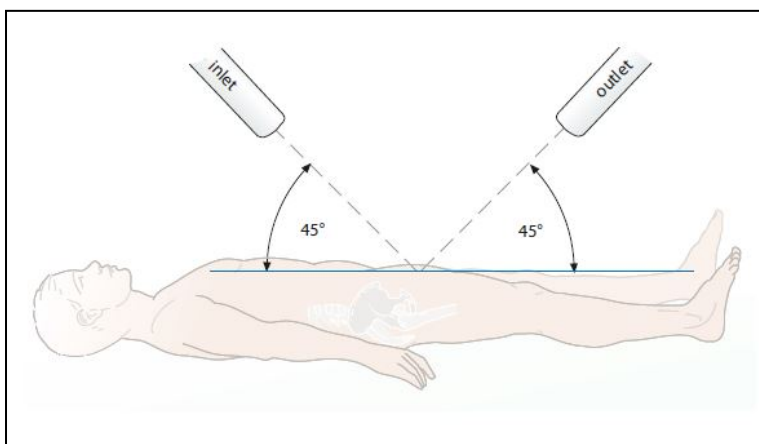


Abb. 8 Einstelltechnik der Inlet- und Outletaufnahme (Quelle: Grifka, Orthopädie und Unfallchirurgie, 2011 [56])

Zur Untersuchung des Acetabulums werden sogenannte Ala- bzw. Obturatoraufnahmen genutzt. Die Ala-Aufnahme erfolgt durch Kippung des Beckens um 45° auf die verletzte Seite zum Nachweis von Verletzungen des dorsalen Pfeilers. Die Obturatoraufnahme wird bei Neigung des Beckens um 45° auf die gesunde Seite angefertigt und dient der Beurteilung des vorderen Pfeilers (**Abb. 9**). Zusätzlich kann eine seitliche Aufnahme des Os sacrum angefertigt werden [56].

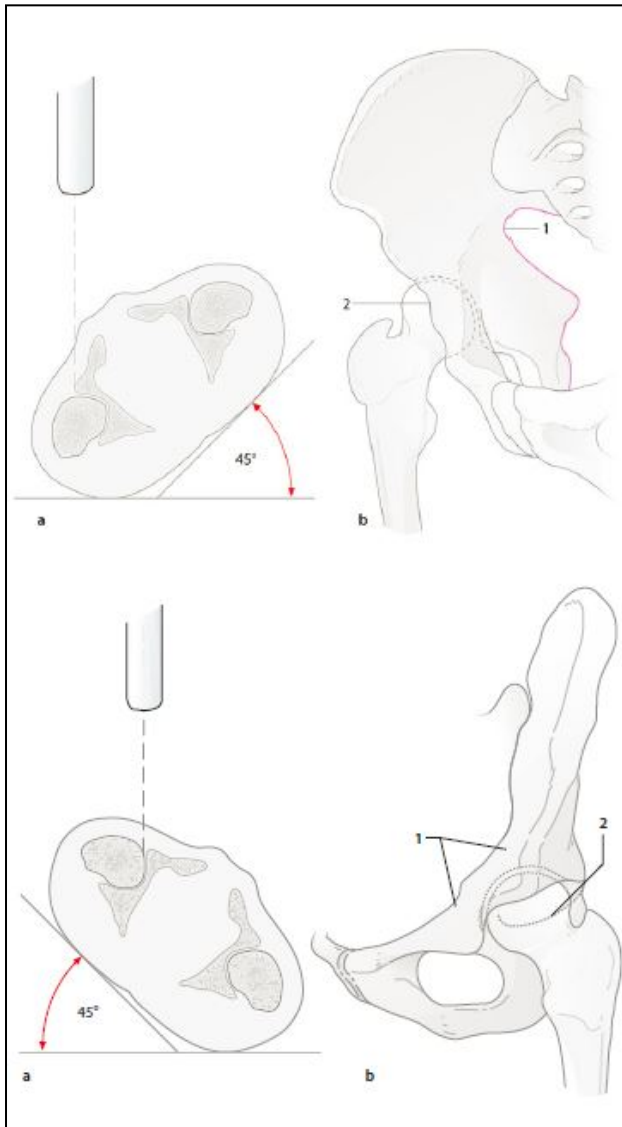


Abb. 9 Oben: Ala-Aufnahme: **a** Einstellung, **b** hinterer Pfeiler (1), vorderer Pfannenrand (2). Unten: Obturator-Aufnahme: **a** Einstellung, **b** vorderer Pfeiler (1), hinterer Pfannenrand (2) (Quelle: Grifka, Orthopädie und Unfallchirurgie, 2011 [56])

Computertomographie

Im Rahmen der Akutdiagnostik und zur genaueren Beurteilung des Beckenrings und des Acetabulums wird eine computertomographische Untersuchung angefertigt. Die

Computertomographie lässt bei hoher Bildauflösung eine genauere Aussage über die Beckenringverhältnisse, das Ausmaß der Frakturdislokation und Begleitverletzungen der Weichteile zu. Auch dienen die computertomographischen Bilder beispielsweise mit Hilfe von dreidimensionalen Rekonstruktionen dem Operateur zur präoperativen Planung insbesondere bei gelenknahen Frakturen. [56, 188]

Magnetresonanztomographie

Untersuchungen mit Hilfe der Magnetresonanztomographie (MRT) spielen in der Akutdiagnostik eine untergeordnete Rolle. Sie dienen hauptsächlich der Detektion von Weichteilverletzungen oder von Plexusläsionen. Auch findet sie Anwendung bei der Verlaufskontrolle von Acetabulumfrakturen, da sich gelegentlich im Verlauf eine Hüftkopfnekrose bilden kann [120]. Darüber ist eine MRT-Untersuchung zur Beurteilung von Beckenringverletzungen bei Kindern nützlich [188].

Angiographie und Urethrozystographie

Bei Beckenringverletzungen ist es wichtig Begleitverletzungen des Urogenitaltrakts auszuschließen. Dies ist häufig bei dislozierten Frakturen des vorderen Beckenrings der Fall. Um eine Verletzung der Urethra auszuschließen sollte neben der klinischen Kontrolle (Blutaustritt aus der Harnröhre) vor allem bei männlichen Patienten eine retrograde Urethrozystographie mit Hilfe von Kontrastmittel durchgeführt werden [188].

1.4 Klassifikation der Beckenring- und Acetabulumfrakturen

Am Becken werden allgemein Frakturen des Beckenrings und Frakturen des Acetabulums unterschieden. Bei den Beckenringfrakturen handelt es sich um Verletzungen, bei denen es zu einer Kontinuitätsunterbrechung der Ringstruktur des Beckens kommt. Die Acetabulumfrakturen stellen knöcherne Verletzungen der Gelenkpfanne dar.

Klassifikation der Beckenringfrakturen

Im Laufe der Zeit wurden verschiedene Klassifikationen zur Einteilung der Beckenringfrakturen entwickelt. Heute werden verschiedene Klassifikationssysteme angewendet, wobei die Klassifikation nach AO/OTA (Arbeitsgemeinschaft für

Osteosynthesefragen/Orthopedic Trauma Association) die gängigste ist. Sie basiert auf der Einteilung der Beckenringfrakturen nach Tile (1984) [178]. Tile klassifizierte die Beckenringverletzungen nach dem zunehmenden Schweregrad der Instabilität unter Berücksichtigung der Richtung der Gewalteinwirkung in Typ A, B und C. Dabei werden die antero-posteriore Kompression, die laterale Kompression und die vertical-shear Verletzung unterschieden (**Abb. 10**) [56].

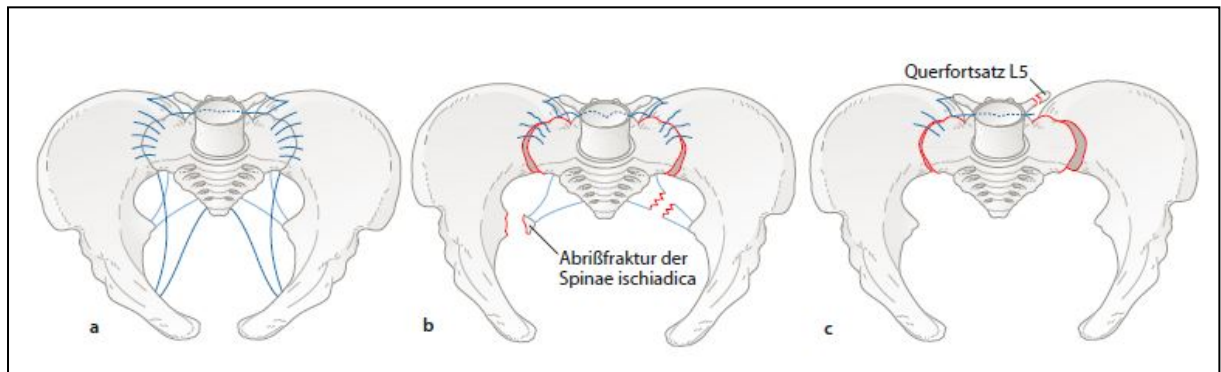


Abb. 10 Beckenringfrakturen nach Tile (Quelle: Grifka, Orthopädie und Unfallchirurgie 2011 [56])

Die AO-Klassifikation stellt eine Erweiterung der Einteilung nach Tile dar, bei der die drei Frakturarten Typ A (stabil), Typ B (rotationsinstabil, aber vertikal stabil) und Typ C (translations- und rotationsinstabil) nach dem zunehmenden Grad der Instabilität unterschieden und nochmals in Subtypen unterteilt werden. Hierbei wird der Beckenring in einen vorderen und einen hinteren Beckenring unterteilt, wobei das Acetabulum die Grenze bildet. Der Erhalt des hinteren Beckenrings ist entscheidend für die Stabilität des gesamten Beckenrings [171, 189].

TYP-A FRAKTUREN

Es handelt sich hierbei um eine stabile Fraktur des vorderen Beckenrings, während die knöchernen und ligamentären Strukturen des hinteren Beckenrings erhalten sind. Die Rotations- und Translationsstabilität ist daher weiterhin gewährleistet [120].

Bei diesen Frakturen sind Abrissfrakturen von Muskel- und Bandansätzen sowie isolierte Frakturen der Ossa coxae, der Schambeinäste, der Spinae oder des Sakrums zu finden [120, 180, 188]. Unterteilt werden die Typ-A-Frakturen in (**Abb. 11**):

- Typ-A1: Beckenrandverletzung
- Typ-A2: Vordere Beckenringfrakturen mit intakter dorsaler Stabilität

- Typ-A3: Querfraktur des Os sacrum oder Os coccygis

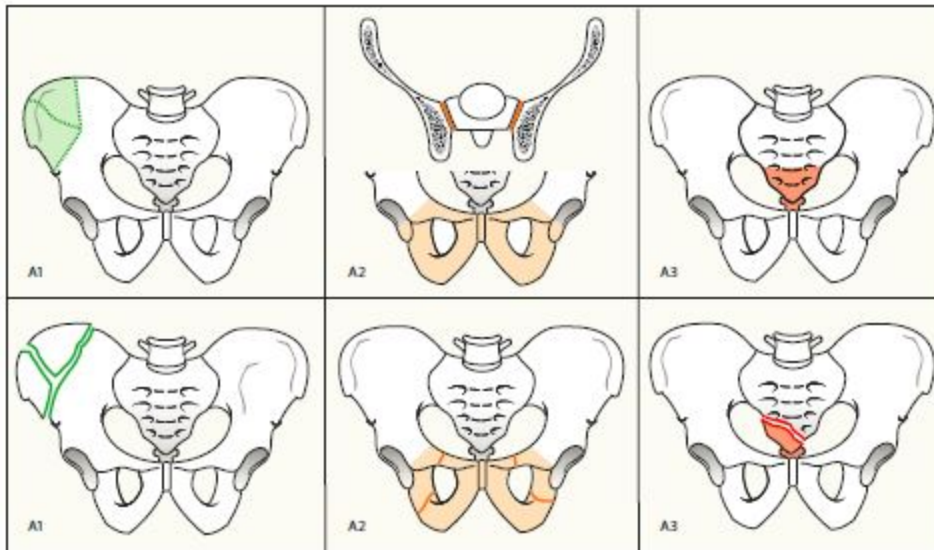


Abb. 11 AO-Klassifikation der Typ A - Frakturen (Quelle: Müller-Mai, Frakturen 2010 [120])

TYP-B-FRAKTUREN

Bei den Typ-B-Frakturen kommt es zur Verletzung des vorderen Beckenrings und zu einer inkompletten Unterbrechung des hinteren Beckenrings mit konsekutiver Rotationsinstabilität um die Körperlängsachse. Die vertikale Stabilität des Beckenrings bleibt jedoch weiterhin erhalten. Ein Vertreter der Typ-B-Frakturen ist die durch antero-posteriore Gewalteinwirkung entstandene „Open-Book-Fraktur“, bei der neben einer Symphysensprengung, eine Ruptur der ventralen Bänder des ISG sowie der Lig. sacrotuberale und Lig. sacrospinale vorliegt. Dies führt zu einer Außenrotation einer Beckenhälfte. Darüber hinaus kann eine solche Fraktur durch laterale Krafteinwirkung, beispielsweise durch einen Sturz auf die Seite entstehen. Hierbei kommt es zur Innenrotation und zu einer lateralen Kompressionsfraktur mit impaktierter Fraktur des Os sacrum und des oberen und unteren Schambeinastes [120, 188]. Die Typ-B-Frakturen sind in folgende Untergruppen unterteilt (**Abb. 12**):

- Typ-B1: „Open-book“-Fraktur oder auch anterior-posteriore Kompressionsverletzung
- Typ-B2: Laterale Kompressionsverletzung oder auch Innenrotationsverletzung
- Typ-B3: Beidseitige dorsale Rotationsverletzungen

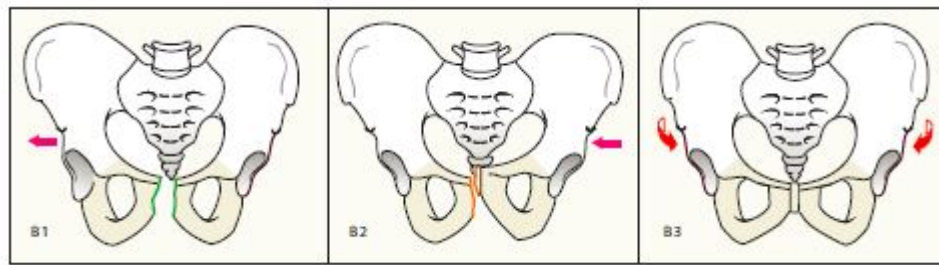


Abb. 12 AO-Klassifikation der Typ B - Frakturen (Quelle: Müller-Mai, Frakturen 2010 [120])

TYP-C-FRAKTUREN

Bei den Typ-C-Frakturen liegt eine vollständige Unterbrechung des hinteren Beckenrings vor. Dies führt zu einer kompletten rotatorischen und translatorischen Instabilität des Beckens. Somit kann eine Beckenhälfte gegen die andere vertikal verschoben werden („vertical shear“), wie beispielsweise bei kombinierten beidseitigen SI-Verletzungen und vorderen Beckenringfrakturen [120, 188]. Unterteilt werden die Typ-C-Frakturen in folgende Untergruppen (Abb. 13):

- Typ-C1 unilaterale komplette Unterbrechung des hinteren Beckenrings
- Typ-C2 einseitige komplette Unterbrechung des hinteren Beckenrings mit einer inkompletten Unterbrechung der Gegenseite
- Typ-C3 bilaterale komplette Unterbrechung des hinteren Beckenrings

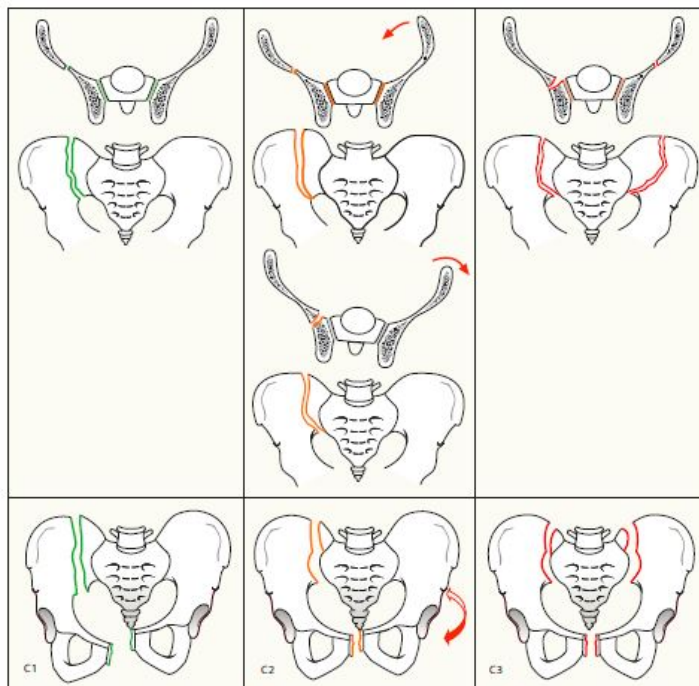


Abb. 13 AO-Klassifikation der Typ C - Frakturen (Quelle: Müller-Mai, Frakturen 2010 [120])

Sakrumfrakturen

Es gibt Klassifikationen speziell für Frakturen des Os sacrum, wie beispielsweise die Klassifikation nach Denis oder Pohlemann [34, 137]. Dabei werden 3 Zonen der Frakturlokalisation differenziert. Man unterscheidet die transalare, die transforaminale und die zentrale Zone, wobei Frakturen in der transalaren Zone am häufigsten vorkommen (50 %). Es handelt sich hierbei um stabile Frakturen, da die dorsalen Sakroiliakalbänder stabilisierend wirken. Die transforaminalen Frakturen hingegen kommen mit 34 % am zweithäufigsten vor. Sie gehen mit einer Instabilität des dorsalen Beckenrings und häufig mit neurologischen Begleitverletzungen einher [31, 137].

Klassifikation der Acetabulumfrakturen

Für die Acetabulumfrakturen gibt es verschiedene Klassifikationen. Die gängigsten Klassifikationen sind die AO-Klassifikation und die Klassifikation nach Judet und Letournel (1964) [82].

Das Acetabulum wird dabei in einen ventralen und einen dorsalen Pfeiler unterteilt. Der ventrale Pfeiler wird gebildet aus den vorderen Anteilen des Os ilium, der vorderen Hälfte des Acetabulums und aus dem oberen und unteren Ast des Os pubis. Der dorsale Pfeiler besteht aus der hinteren Hälfte des Acetabulums sowie aus den hinteren Anteilen des Os ischii und Os ilium (**Abb. 14**).

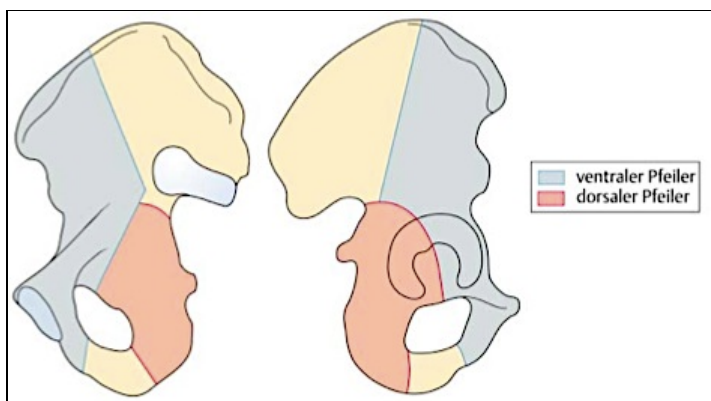


Abb. 14: Morphologische Einteilung der Acetabulums nach Judet und Letournel (Quelle: Niethard, Duale Reihe Orthopädie und Unfallchirurgie 2009 [123])

Bei der AO-Klassifikation gibt es die drei Schweregrade A-C mit je drei Unterformen und drei Subunterformen. Die Typ-A-Frakturen zeigen eine Beteiligung von nur einem Pfeiler bei größtenteils intaktem Gelenk. Bei den Typ-B-Frakturen sind beide Pfeiler

frakturiert, wobei das Acetabulumdach weiterhin teilweise mit dem Os ilium in Verbindung steht. Die Typ-C-Frakturen zeigen eine vollständige Abtrennung des Acetabulums vom Os ilium [120].

Die Klassifikation nach Judet und Letournel hingegen unterteilt die Frakturen des Acetabulums in fünf Grundformen und fünf Kombinationsverletzungen (**Abb. 15**) [82, 120, 188]:

Tab. 1 Klassifikation der Acetabulumfrakturen nach Judet und Letournel

Grundformen	Kombinationsverletzungen
Typ 1: Fraktur des dorsalen Pfannenrandes	Typ 6: T-Frakturen
Typ 2: Fraktur des dorsalen Pfeilers	Typ 7: Hinterer Rand und hinterer Pfeiler
Typ 3: Fraktur des ventralen Pfannenrandes	Typ 8: Querfraktur mit hinterem Rand
Typ 4: Fraktur des ventralen Pfeilers	Typ 9: Ventraler Pfeiler mit hinterem Querbruch
Typ 5: Querfrakturen des Acetabulums bei intaktem Pfannendach	Typ 10: Zweipfeilerfraktur

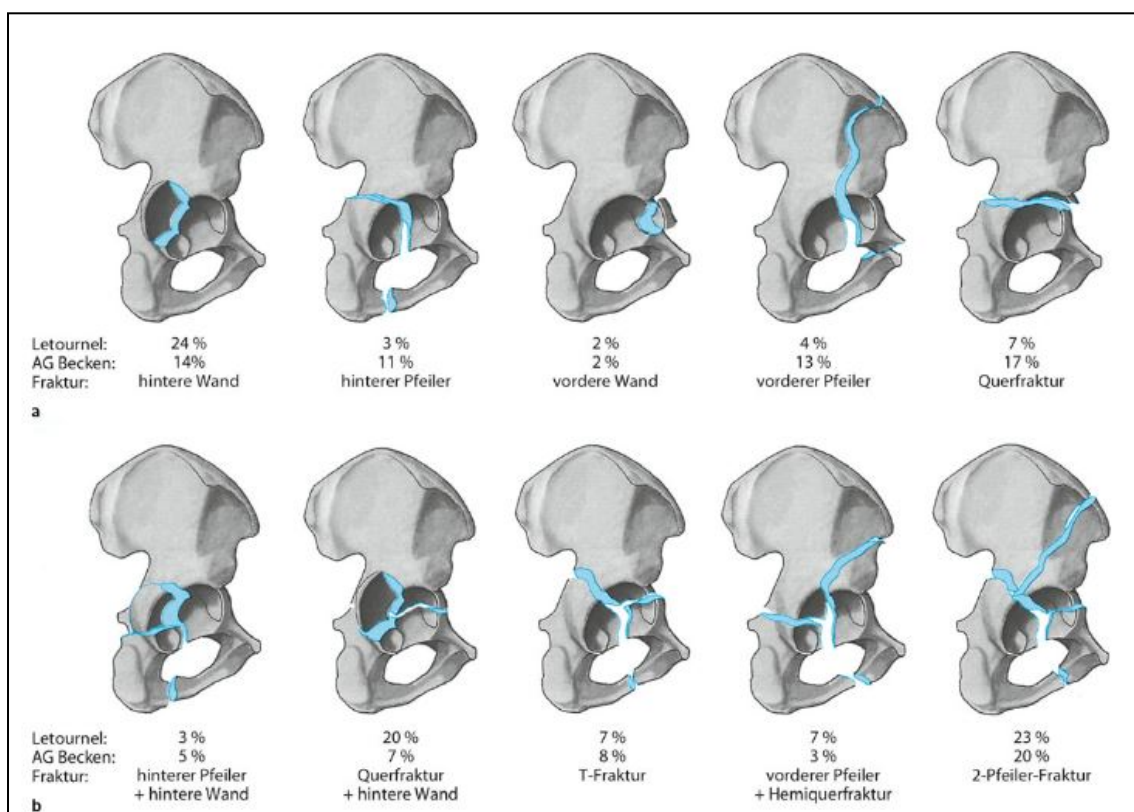


Abb. 15 Klassifikation der Acetabulumfrakturen nach Letournel (Quelle: Weigel und Nerlich, Praxisbuch Unfallchirurgie 2011 [193])

Die Hinterwandfrakturen (Typ 1) sind mit circa 30 % die häufigsten Acetabulumfrakturen und treten häufig in Kombination mit Frakturen der hinteren Pfeilers (Typ 2) und mit Querfrakturen (Typ 8) auf [97].

1.5 Behandlungsverfahren der Beckenring- und Acetabulumfrakturen

Das Ziel bei der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen ist zum einen die Wiederherstellung der biomechanischen Stabilität des Beckenrings und der stufenlosen Reposition zur Vermeidung von Spätfolgen. Zum anderen wird eine frühzeitige Mobilisierung des Patienten angestrebt um durch Immobilisation hervorgerufene Komplikationen wie muskulärer Abbau, posttraumatische Arthrosen, Thrombosen, Infektionen und psychische Belastungen zu vermeiden.

Bei Patienten mit Beckenringverletzungen unterscheidet man hämodynamisch stabile und hämodynamisch instabile Patienten. Bei instabilen Patienten stehen im Rahmen des Polytraumamanagements nach den ATLS-Richtlinien die Stabilisierung des Herz-Kreislaufsystems, die Blutstillung und die Frakturstabilisierung im Vordergrund [80]. In circa 3 % aller Beckenringfrakturen kommt es zu signifikanten Blutungen, die in einer hämodynamischen Instabilität des Patienten resultieren [137]. Bei der primären Versorgung liegt daher zunächst das Augenmerk auf der Stillung der akuten Blutung, da diese die Haupttodesursache darstellt [137]. Vorsicht ist geboten bei der Öffnung des Beckens, da es dadurch zu einer Vergrößerung des Volumens kommt, in dem sich das Blut verteilen kann. Bei fehlender Kompression kann es dann über den Retroperitonealraum zu einer lebensbedrohlichen Ausdehnung des Blutes nach kranial kommen. Aus diesem Grund erfolgt bei hämodynamisch instabilen Patienten eine Primärversorgung mittels eines Beckengurts, einer Beckenzwinge oder eines Fixateur externe, wodurch das Beckenvolumen verkleinert und ein Tamponadeneffekt erzielt werden kann [40]. Eine bekannte und weitverbreitete Beckenzwinge ist die Beckenzwinge nach Ganz (1991), die ohne Durchleuchtungskontrolle mit Hilfe der anatomischen Landmarken fixiert werden kann [40]. Die Beckenzwinge findet bei Sakrumfrakturen und SI-Sprengungen ihren Einsatz und darf ausschließlich bei intakten Darmbeinschaukeln angewendet werden. Der Fixateur externe wird bevorzugt bei Patienten mit instabilen Beckenringfrakturen vom Typ B und Typ C angewendet und insbesondere bei Instabilität des vorderen Beckenrings. Er wird über supraacetabuläre

Pins fixiert [62]. Beide Verfahren eignen sich mit geringem technischen Aufwand und kleinem allgemeinen Risiko zur Erstversorgung von Blutungen bei Schwerverletzten, da 90% der bedeutsamen Blutungen aus der Fraktur selbst oder aus dem Plexus praesacralis bzw. paravesicalis kommen [120, 193]. Da die Anbringung des Fixateur externe einige Zeit in Anspruch nimmt und unter Durchleuchtungskontrolle angebracht werden sollte, ist dieser der Erstversorgung hämodynamisch stabiler Patienten vorbehalten, während bei instabilen Patienten die Anlage einer Beckenzwinge bevorzugt wird.

Ziel der verschiedenen Therapieverfahren ist die anatomische Reposition und die mechanische Stabilisierung des Beckenrings durch Wiederherstellen der Kraftübertragung [29, 179, 189]. Daraus resultiert eine frühzeitige Mobilisation und Rehabilitationsbehandlung des Patienten. Die Entscheidung zwischen einer konservativen und einer operativen Therapie hängt vom Verletzungsausmaß, der Art der Beckenringverletzung, dem Alter des Patienten und dem begleitenden Weichteiltrauma ab [17, 31, 136, 195].

Konservative Therapie der Beckenring- und Acetabulumfrakturen

Grundsätzlich können alle stabilen Beckenfrakturen eine konservative Therapie erhalten, d.h. alle Frakturen bei denen die Intaktheit des gesamten Beckenrings oder zumindest des hinteren Beckenrings gegeben ist. Dies trifft auf circa 50 % der Beckenringfrakturen zu. Darunter fallen die meisten Typ-A-Frakturen und einige Typ-B-Frakturen wie beispielsweise die isolierten Frakturen der Ala ossis ilii oder des distalen Os sacrum, Schambein- und Sitzbeinfrakturen oder Frakturen vom Typ B2 (laterale Kompressionsfraktur), bei denen der hintere Beckenring unversehrt ist. Hierbei sollte die Symphysensprengung jedoch nicht größer als 2,5 cm betragen [30, 106, 120, 179, 181]. Ausnahmen bilden Typ-A Frakturen, die stark disloziert oder offen sind und dadurch eine Perforationsgefahr mit sich bringen [17, 138, 195].

Grundsätzlich können alle nicht-dislozierten Acetabulumfrakturen, Frakturen mit Erhalt der Gelenkstabilität und -überdachung sowie Frakturen ohne Beteiligung der Hauptbelastungszone konservativ behandelt werden [120]. Die konservative Therapie gewährleistet jedoch nicht immer die nötige anatomische Reposition und kann im Vergleich zur operativen Versorgung zu einem schlechteren Outcome führen [103,

104]. Schon geringfügige Inkongruenzen und Unterbrechungen der Gelenkfläche können im Verlauf in einer posttraumatischen Coxarthrose resultieren.

Anzustreben ist bei der konservativen Therapie nach initialer Bettruhe unter Thromboseprophylaxe und physiotherapeutischer Behandlung, die direkte Mobilisierung des Patienten über Stockentlastung bis hin zur zügigen Vollbelastung. Voraussetzung hierfür ist eine ausreichende analgetische Behandlung. Wenn sich die Vollbelastung für den Patienten als problematisch darstellt, ist auch eine kurzfristige Teilbelastung der betroffenen Seite mithilfe von Unterarmgehstützen oder Gehwagen möglich. Spätestens nach 6 Wochen sollte allerdings eine Vollbelastung erreicht werden. [120, 188, 193]

Operative Therapie der Beckenring- und Acetabulumfrakturen

Es werden grundsätzlich zwei Formen der operativen Therapie unterschieden: zum einen die offene Variante, die sogenannte „**open reduction and internal fixation**“ (**ORIF**) und zum anderen die perkutane Methode, die sogenannte „**closed reduction and percutaneous fixation**“ (**CRPF**). Die perkutanen Verfahren können entweder unter **Standardfluoroskopie** oder mit Hilfe von **computer-assistierte Navigationsverfahren** erfolgen. Für die geschlossene Reposition einer Fraktur gibt es verschiedene Möglichkeiten. So kann beispielsweise unter fluoroskopischer Kontrolle unter Traktion eine Reposition erzielt werden oder mit Hilfe eines Fixateur externe eine temporäre Frakturstabilisierung erfolgen. Der Nachteil der offenen Versorgung einer Beckenringverletzung ist die Gefahr ein bereits bestehendes intrapelvines Hämatom zu Eröffnen und dadurch das Blutungsrisiko zu erhöhen. Aus diesem Grund wird inzwischen das perkutane Verfahren bei bestimmten Frakturarten gegenüber dem offenen Vorgehen bevorzugt [143]. Bereits Routt et al. berichten bei der perkutanen Versorgung von vorderen und hinteren Beckenringfrakturen von einer Reduktion der Komplikationsraten [144, 145].

Folgende Verfahren stehen zur Stabilisierung von Beckenringfrakturen abhängig von der Art und Lokalisation der Fraktur zur Verfügung: Schrauben- und Zuggurtungsosteosynthesen, Plattenosteosynthesen, externe Stabilisatoren, perkutane Osteosyntheseverfahren. Ziel sind die anatomische stufenlose Reposition und eine Wiedererlangung der Beckenringstabilität [188]. Grundsätzlich ist eine operative

Therapie indiziert bei offenen Frakturen, bei initialer Instabilität der Fraktur und bei größeren dislozierten Frakturen [29, 30, 56, 102, 179, 188, 189]. Eine Instabilität des Beckens ist bei einer Sprengung des hinteren Beckenrings von > 1 cm zu erwarten und bei einer ausgeprägten Außenrotationsfehlstellung einer Beckenhälfte [55]. Es werden abhängig von der Frakturlokalisation verschiedene Formen der Instabilität unterschieden wie **Abb. 16** zu entnehmen ist:

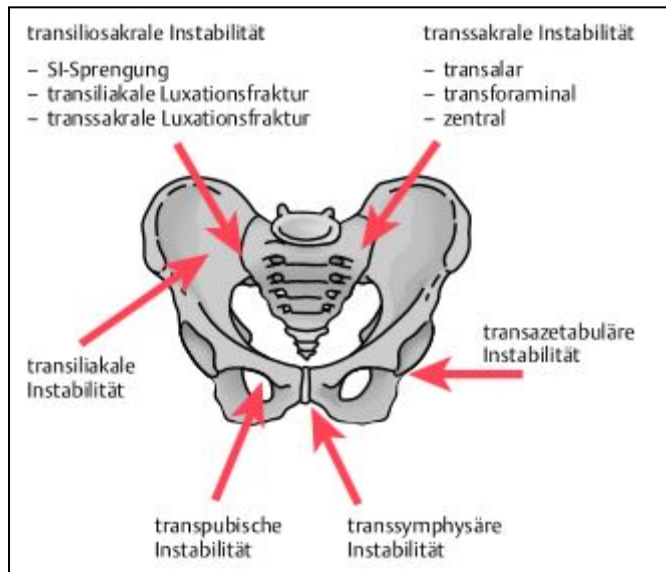


Abb. 16 Formen der Instabilität bei Frakturen des Beckenrings (Quelle: Tosounidis et al. 2009 [188])

Beckenringfrakturen

Meist sind bei der operativen Versorgung ausgedehnte Zugänge nötig. Die Freilegung des vorderen Beckenrings erfolgt über einen Pfannenstielzugang oder über die medialen Teilabschnitte des ilioinguinalen Zugangs [188]. Der Zugang zum hinteren Beckenring hingegen erfolgt von ventral über den lateralen Teilabschnitt des ilioinguinalen Zugangs oder von dorsal direkt über einen medianen oder paramedianen Zugang [29, 56, 102, 179, 188, 189]. Nachfolgend werden für die wichtigsten Frakturarten und resultierenden Instabilitäten des Beckenrings und des Acetabulums die jeweiligen standardisierten operativen Behandlungsverfahren vorgestellt.

Die meisten Typ-A-Frakturen können mit Hilfe einer konservativen Therapie behandelt werden, bei der Bettruhe und eine frühfunktionelle Nachbehandlung im Vordergrund stehen. Nur in Ausnahmefällen wie bei stark dislozierten oder offenen Frakturen sowie Apophysenabspaltungen bei sportlich aktiven Patienten, die eine Dislokation von mehr als 0,5 cm aufweisen eine operative Versorgung erforderlich [17, 31, 136, 188,

195]. Bei Typ-B-Frakturen handelt es sich um instabile Frakturen, bei denen der vordere Beckenring verletzt ist und dadurch eine Rotationsinstabilität vorherrscht. Es werden Innen- und Außenrotationsverletzungen unterschieden, wobei abhängig von der vorhandenen Reststabilität und vom Ausmaß der Dislokation zwischen einer konservativen oder einer operativen Versorgung entschieden wird. In der Regel erfolgt eine anteriore Stabilisierung mit Hilfe von Osteosyntheseplatten, Osteosyntheseschrauben oder mittels eines Fixateur externe [188, 195].

Bei Symphysenverletzungen wie einer Symphysensprengung kommt es zum ventralen Aufklappen des Beckenrings. Zur Wiederherstellung der Stabilität wird bevorzugt in Rückenlage über einen Pfannenstielschnitt eine 4- oder 6-Loch-DC-Platte (3,5 mm) mit kraniokaudaler Verschraubung eingebracht [138, 188]. Handelt es sich um isolierte Verletzungen der Schambeinäste oder des Sitzbeins erfolgt entweder eine konservative Behandlung oder eine Anbringung eines supraacetabulären Fixateur externe. Bei zusätzlicher Symphysenverletzung werden über einen Pfannenstiel-Schnitt oder ilioinguinalen Zugang eine Osteosyntheseplatte, eine 3,5 mm Kriechschraube oder zusätzlich für 3-4 Wochen ein Fixateur externe eingebracht [120, 188, 193, 195].

Typ-C-Frakturen zeigen eine vollständige Unterbrechung des hinteren Beckenrings mit einer konsekutiven Translationsinstabilität. Aufgrund der ausgeprägten biomechanischen Instabilität, ist bei allen Typ-C-Frakturen eine operative Therapie indiziert. Zur Wiederherstellung der Stabilität muss eine Kombination aus ventraler und dorsaler Fixierung mit Hilfe der verschiedenen Osteosynthesematerialien erfolgen.

Transiliakale Instabilitäten werden in Rückenlage über den ilioinguinalen Zugang mittels Zugschrauben und Osteosyntheseplatten versorgt (DC- oder Rekonstruktionsplatten) [188, 195].

Bei Sakrumfrakturen hängt die Wahl der Therapie unter anderem vom Grad der Instabilität, vom Ausmaß der Dislokation sowie von der betroffenen Zone ab (Zone I – III nach Denis). Mit Ausnahme von nicht- oder leicht dislozierten Frakturen, empfiehlt sich bei den Sakrumfrakturen grundsätzlich eine operative Stabilisierung, da sich in den letzten 20 Jahren unter konservativer Therapie unbefriedigende Ergebnisse gezeigt haben. Insbesondere dislozierte Sakrumfrakturen gehen mit einer hohen Rate an Nervenschädigung und chronischen Schmerzzuständen einher [34, 136]. Ziel ist eine lokale osteosynthetische Versorgung mit Hilfe einer Osteosyntheseplatte,

transiliosakralen Zugschrauben oder einer lumbosakralen Distractionsspondylodese [122, 188].

Acetabulumfrakturen

Früher erfolgte meist bei allen Acetabulumfrakturen eine konservative Behandlung. Mit der Zeit entwickelte sich die offene Reposition mit einer internen Osteosynthese nach Judet, Letournel, Mayo und Matta zum Standardverfahren zur Versorgung von Acetabulumfrakturen [82, 103-105, 108, 110]. Dabei werden das Repositionsergebnis und die Implantatlage mit Hilfe von Bildwandlern intraoperativ kontrolliert.

Bei Acetabulumfrakturen handelt es sich um Frakturen, bei denen schon kleinste Stufenbildungen (größer 2 mm) und Inkongruenzen der Gelenkfläche zu arthrotischen Veränderungen führen können. Darüber hinaus kann eine passagere Luxationsstellung im Gelenk die Entwicklung einer Hüftkopfnekrose begünstigen. Aus diesem Grund erhalten nur noch ausschließlich nicht-dislozierte Acetabulumfrakturen eine konservative Therapie.

Aufgrund der Seltenheit der Acetabulumfrakturen (3 Patienten/100.000 pro Jahr) findet man in der Literatur hauptsächlich Ergebnisse von einzelnen Operateuren in Form von Fallberichten über die operative Behandlung spezieller Acetabulumfrakturen (z.B. Hinterwandfrakturen) oder über spezielle Zugangswege bei denen ausgedehnte und minimal invasive Zugänge verglichen werden [15, 91, 103, 104, 107, 110, 111]. Indikationen für eine operative Versorgung sind unter anderem dislozierte Frakturen > 2 mm, offene Frakturen und neurologische Begleitverletzungen des N. ischiadicus.

Es werden beim offenen Vorgehen verschiedene Zugangswege unterschieden:

- Kocher-Langenbeck-Zugang
- Ilioinguinaler Zugang
- (Extended) Iliofemorale Zugang
- Maryland Zugang
- Modified Stoppa

Prinzipiell wird bei der Versorgung des dorsalen Pfeilers der Kocher-Langenbeck-Zugang gewählt und für Frakturen des ventralen Pfeilers nutzt man den Ilioinguinalen Zugang [33, 79, 97, 108]. Mithilfe des extended iliofemorale Zugangs oder des

Maryland Zugangs können kombinierte Frakturen des vorderen und hinteren Pfeilers gleichzeitig versorgt werden [1, 67, 140, 192, 200]. Abhängig vom Verlauf der Frakturlinie durch das Acetabulum werden Zugschrauben (3,5 – 6,5 mm) und/oder Osteosyntheseplatten eingebracht und mit Hilfe eines Bildwandlers, der Computertomographie oder navigations-gestützt Materiallage und Repositionsergebnis kontrolliert. In einer Studie über die Entwicklung der Behandlung von Acetabulumfrakturen über einen Zeitraum von 15 Jahren von Ochs et al. (2010) wurde festgestellt, dass der ilioinguinale Zugangsweg bevorzugt genutzt wird, mutmaßlich aufgrund der zunehmenden Inzidenz von Frakturen des vorderen Pfeilers bei einem Patientenkollektiv älter als 60 Jahre. Über diesen Zeitraum veränderte sich die Methode der Frakturversorgung mittels Osteosyntheseplatten in Kombination mit einzelnen Schrauben jedoch nicht. Auch zeigte sich über die Jahre auch keine wesentliche Verbesserung der Repositionsqualität, vermutlich aufgrund des zunehmenden Patientenalters und der erschwerten anatomischen Reposition bei älteren Patienten [129].

Die operative Versorgung des Acetabulums gestaltet sich aufgrund seiner geschützten Lage und der damit erschwerten präoperativen Planung als chirurgisch anspruchsvoll. Allen Zugangswegen gemeinsam, ist das mit der ausgeprägten Freilegung des Frakturareals einhergehende Weichteiltrauma. Mit Hilfe dieser ausgedehnten Zugangswege können bisher zwar die meisten komplexen Acetabulumfrakturen stabilisiert werden, jedoch wurde Anfang der 1990er Jahre erkannt, dass das langfristige Outcome, neben einer hohen perioperativen Morbiditätsrate, unbefriedigend war [82, 95, 189]. Die ausgedehnten Zugangswege können dabei Ursache für eine Reihe postoperativer Komplikationen sein, wie Infektionen, Gefäß- und Nervenverletzungen, heterotope Ossifikation sowie als Spätfolge die posttraumatische Arthrose und Femurkopfnekrose [108, 110, 166, 200]. Somit bilden zur operativen Versorgung von Acetabulumfrakturen minimalinvasive Repositions- und Osteosynthesemethoden unter Zuhilfenahme verschiedener Bildgebungsarten und Navigationstechniken eine nützliche Alternative zu den bisher genutzten ausgedehnten Zugängen. [85, 86]

Sakroiliakale Instabilitäten entstehen infolge einer Sprengung oder Luxation im Bereich des Iliosakralgelenks. Zur Versorgung kann eine transiliosakrale Verschraubung sowohl offen als auch perkutan erfolgen. Die Stabilisierung einer Luxation des

Iliosakralgelenks erfolgt durch eine offene Reposition und anschließende Einbringung zweier 3-Loch-4,5-mm-DC-Platten von ventral über eine antero-laterale Inzision am Beckenkamm. Vorteilhaft bei dieser Methode ist, dass das Iliosakralgelenk gut einsehbar ist und sich in Rückenlage zeitgleich die Symphyse darstellen lässt.

Eine Alternative zu den offenen Verfahren mit den teils sehr exponierenden Zugängen, bietet die perkutane Schraubenversorgung, die entweder mit Hilfe von Standardfluoroskopie oder unter dem Einsatz computergesteuerter Navigation erfolgt. In den letzten 20 Jahren konnten im Hinblick auf die dabei verwendeten Osteosynthesetechniken deutliche Fortschritte verzeichnet werden. Insbesondere durch Verbesserungen der Bildwandlertechnologien und den Einsatz von Navigationstechniken konnte sich die perkutane Schraubenosteosynthese immer mehr etablieren.

Handelt es sich um nicht- oder leicht dislozierte (< 2 mm) Verletzungen des SI-Gelenks werden nach erfolgreicher geschlossener Reposition perkutan iliosakrale Zugschrauben (7 mm oder 7,3 mm, kanüliert) eingebracht [188, 195]. Hierbei wird das Os ilium mit dem 1. und bei Bedarf auch mit dem 2. Sakralwirbel mit Hilfe von Spongiaschrauben verschraubt. Die Schraubenkorridore verlaufen entweder durch den Wirbelkörper S1 bzw. S2, durch den hinteren oder vorderen Pfeiler oder supraacetabulär (**Abb. 17**) [120].

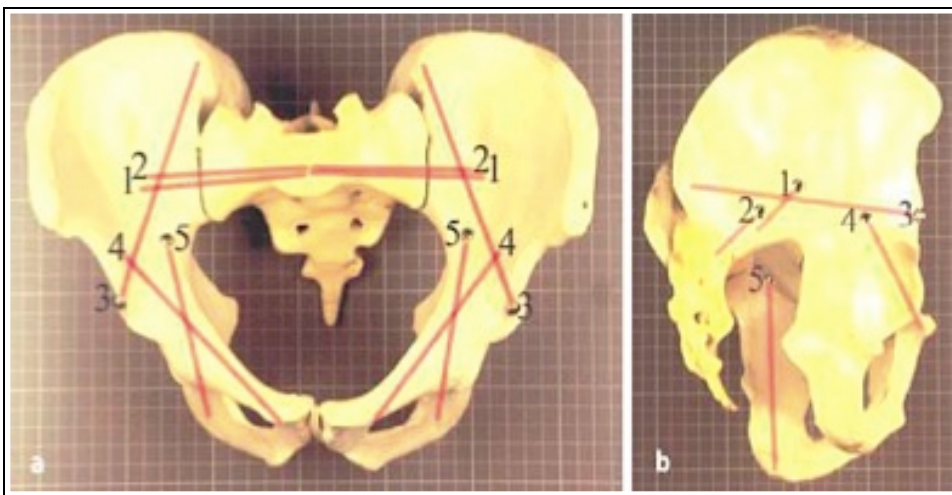


Abb. 17: Schraubenkorridore des Acetabulums und des hinteren Beckenrings in der a.-p. und lateralen Projektion: (1) SI-Schraube in S1, (2) SI-Schraube in S2, (3) supraacetabuläre Iliumschraube, (4) vordere Pfeilerschraube, (5) hintere Pfeilerschraube (Quelle: Stöckle et al. 2001 [165])

1.6 Zielsetzung der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es auf Basis einer systematischen Literaturanalyse und einer aktuellen Umfrage in Form eines Fragebogens der in Deutschland klinisch tätigen Unfallchirurgen einen Überblick über den aktuellen Stand der Versorgungsstruktur in der operativen Versorgung von Beckenring- und Acetabulumverletzungen zu erarbeiten. Dabei soll der Stellenwert der verwendeten Navigationssysteme, ihre Handhabung, ihre Indikation, ihre Vor- und Nachteile gegenüber der konventionellen allein bildwandlergestützten Methode (Standardfluoroskopie) herausgearbeitet und basierend darauf ihre Perspektive als mögliches Standardverfahren in der Zukunft evaluiert werden.

2 Material und Methoden

2.1 Systematische Literaturrecherche

Es wurde mit Hilfe der Datenbank PUBMED eine systematische Recherche durchgeführt, bei der alle zwischen 1980 bis 2016 veröffentlichten Artikel zum Thema „Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen mit Standardfluoroskopie versus CT-, 2D- und 3D-Fluoroskopie gestützte Navigation“ gelesen und erfasst wurden. Davon ausgenommen waren Expertenmeinungen, Reviewartikel und biomechanische Untersuchungen. Suchbegriffe waren [Fluoroscopy based], [Navigation], [Pelvis], [Acetabulum], [Fracture], [Computer Aided Surgery], [2D], [3D] and [CT], [Iso-C-3D-Navigation], [Percutaneous Screw fixation], [Iliosacral] [Sacroiliac], die in verschiedenen Kombinationen in Verbindung mit dem Verknüpfungswort [and] angewendet wurden.

Die Artikel wurden nach folgenden Kriterien analysiert:

- Patientencharakteristik
- Frakturcharakteristik
- Studienpopulation
- Diagnostische Interventionen
- Therapeutische Interventionen
- Navigation
- Indikation
- Komplikationen
- Durchleuchtungszeit
- Positionsgenauigkeit der Implantate

Anhand der Ergebnisse der Literaturrecherche wurde ein Fragebogen zur Umfrage aller Unfallchirurgen und Orthopäden in Deutschland konzipiert. Die Ergebnisse der Literaturrecherche werden im Diskussionsteil der Arbeit mit den Ergebnissen der Umfrage verglichen.

2.2 Umfrage aller Unfallchirurgen und Orthopäden Deutschlands

Auf Basis des aktuellen Stands der Wissenschaft wurde ein Fragebogen generiert, der anschließend im Auftrag der AG Becken der DGU (Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie) an alle Unfallchirurgen und Orthopäden Deutschlands per E-Mail verschickt wurde. Die beantworteten Bögen wurden per Fax oder E-Mail an die BG-Unfallklinik Tübingen zurückgeschickt und anonymisiert ausgewertet, sodass kein Rückschluss auf die jeweiligen Kliniken erfolgen konnte. Die angeschriebenen Ärzte waren über die Absicht des Fragebogens unterrichtet worden und es war ihnen freigestellt daran teilzunehmen. Die Bearbeitung des Bogens dauerte ca. 5 – 10 Minuten.

Der Fragebogen umfasste insgesamt 32 Fragen, die sich mit der operativen Behandlung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen und dem Einsatz der Navigation an deutschen Kliniken befassten. Ziel war es einen aktuellen Überblick über die Versorgungsstruktur Deutschlands bezüglich des Managements von Beckenring- und Acetabulumfrakturen zu gewinnen und dabei den Stellenwert der Navigation herauszuarbeiten. Dabei wurde auf die verwendeten Navigationssysteme, auf die Vorgehensweise bei der Schraubenosteosynthese und auf die Vorteile wie auch auf die Probleme und Schwierigkeiten der Navigation eingegangen. Es wurden verschiedene Fragentypen verwendet. Neben geschlossenen Fragen mit „Ja“ und „Nein“ als Antwortmöglichkeiten, wurden sowohl Mehrfachantworten angeboten wie auch freie Felder für eigene Kommentare.

Die 1. Frage ermittelte zunächst die Art des Traumazentrums um mögliche Zusammenhänge zwischen Traumazentrumsart und dem Einsatz der Navigation zu erfassen und Rückschlüsse auf die Versorgungsstruktur an den einzelnen Institutionsarten zu ziehen. Frage 2 und 3 explorierten ob Beckenring- und Acetabulumfrakturen an der Klinik behandelt werden.

Mit den nächsten beiden Fragen (Frage 4 – 5) wurde die jährliche Anzahl an operativ behandelten Beckenring- und Acetabulumfrakturen eruiert, wobei zwischen den vier Antwortmöglichkeiten gewählt werden konnte: < 10 Patienten/Jahr, 11 - 30 Patienten/Jahr, 31 - 50 Patienten/Jahr und > 51 Patienten/Jahr (Beckenringfrakturen) bzw. > 31 Patienten/Jahr (Acetabulumfrakturen).

Fragen 6 und 7 ermittelten die Anzahl der Kollegen, die an der operativen Behandlung beteiligt sind und deren Ausbildungsstand (Chefarzt, Oberarzt, Facharzt und Assistenzarzt).

Im zweiten Abschnitt folgten Fragen über die Verfügbarkeit und den Einsatz von Navigationssystemen bei der operativen Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen (Frage 8 – 15). Fragen 8 und 9 eruierten ob der Klinik bzw. der Abteilung ein Navigationsgerät zu Verfügung steht und um welches Modell des Navigationsgeräts es sich dabei handelt. Dabei wurden die gängigsten Firmen „Brainlab“, „Medtronic“, „Stryker“ sowie „andere“ zur Auswahl aufgelistet. Bei „andere“ bestand die Möglichkeit selbständig einen Firmennamen einzutragen. Die Fragen 10 und 11 explorierten ob die Navigationsgeräte bei der operativen Versorgung von Becken- bzw. Acetabulumfrakturen eingesetzt werde. Die Fragen 12 und 13 ermittelten analog zum ersten Abschnitt die jährliche Anzahl an navigierten Operationen am Beckenring- und Acetabulum. Ebenfalls analog zum ersten Abschnitt wurden in Frage 14 und 15 nach der Anzahl und dem Ausbildungsstand der an der navigierten Versorgung der Beckenring- bzw. Acetabulumfrakturen beteiligten Kollegen gefragt. Die Antwortmöglichkeiten waren die gleichen wie bei Frage 6 und 7. Anschließend wurde in zwei weiteren Fragen (Fragen 16 und 17) die Art der verwendeten Navigation bei der Versorgung von Beckenring- bzw. Acetabulumfrakturen untersucht, wobei zwischen den drei Navigationsmöglichkeiten „2D-Fluoroskopie“, „3D-Fluoroskopie“ und „CT-basiert“ gewählt werden konnte. Mit Frage 18 wurde das verwendete Modell des 3D-Bildwandlers erfragt, wobei die verbreitetsten Firmen „Ziehm“, „Siemens“, „O-Arm“ und „Andere“ zur Auswahl standen. Im Anschluss daran folgten Fragen zum Verfahren der Durchführung der Osteosynthese der Acetabulum- und Beckenringfrakturen. In Frage 19 wurden die verwendeten Schraubenkorridore bei der Stabilisierung von Beckenringverletzungen erfragt. Es konnte einzeln oder in Kombination zwischen der Platzierung in „S1“ und „S2“ gewählt werden. In Frage 20 wurde nach der Indikation der Navigation bei der Versorgung von Acetabulumfrakturen gefragt. Hier konnten die „perkutane Schraubenplatzierung“, die „Platzierung kritischer gelenknaher Schrauben beim offenen Vorgehen“ oder „beides“ genannt werden.

Frage 21 bezog sich auf die verwendeten Schraubenkorridore bei der Versorgung von Acetabulumfrakturen, wobei einzeln oder als Mehrfachauswahl „hinterer Pfeiler“, „vorderer Pfeiler“ oder „supraacetabulärer Pfeiler“ angekreuzt werden konnten. Zur genaueren Beschreibung ermittelten Frage 22 und 23 die verwendeten Platzierungsweisen der vorderen bzw. hinteren Pfeilerschrauben mit den Antwortmöglichkeiten „antegrad“, „retrograd“ oder „beides“. In der Literatur werden beide Methoden diskutiert [49, 69, 100, 119, 161].

Mit den darauffolgenden Fragen wurde nach den Schwierigkeiten und Problemen der navigierten Verfahren gefragt. In Frage 24 wurde ermittelt ob es bereits zu einem vorzeitigen Abbruch des navigierten Verfahrens aufgrund technischer Probleme wie beispielsweise durch einen Systemabsturz gekommen ist. Frage 25 eruierte ob ein vorzeitiger Abbruch aufgrund unzureichender Bildqualität bereits erlebt wurde.

Danach folgten Fragen über den Einsatz bildgebender Verfahren zur Lage- und Repositionskontrolle mittels eines intraoperativen 3D-Scans, welcher in einigen Studien zur Detektion einer intraartikulären Schraubenlage oder zur Repositionskontrolle als vorteilhaft anerkannt wird [87].

In Frage 28 und 29 wurde nach der Durchführung einer postoperativen CT-Untersuchung zur Kontrolle der Frakturposition und Schraubenlage gefragt. Die Computertomographie eignet sich, wie in einigen Studien aufgezeigt, aufgrund der hohen Bildauflösung und der allgemeinen guten Verfügbarkeit zur postoperativen Repositions- und Implantatkontrolle [53, 190].

Die letzten drei Fragen dienten der Bewertung der Navigation in der Becken- und Acetabulumchirurgie bezüglich ihrer Vorteile und ihrer Perspektive in der Zukunft. In Frage 30 konnte angegeben werden ob Vorteile in der Navigation bei der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen gesehen werden. Aufbauend darauf bekamen die Befragten in Frage 31 die Möglichkeit anhand mehrerer Optionen konkrete Vorteile der Navigationsverfahren zu nennen wie: „höhere Präzision der Schraubenpositionierung generell“, „höhere Präzision der Schraubenpositionierung bei anatomischen Varianten (z.B. dysmorphes Sacrum)“, „Reduktion der Strahlenbelastung für den Patienten“, „Reduktion der Strahlenbelastung für den Operateur/Team“, „Schulung der dreidimensionalen Vorstellungskraft des Operateurs“. Auch hier wurde die Gelegenheit geboten in Form freier Felder weitere Vorteile zu ergänzen. In der

letzten Frage wurden die Befragten gebeten anzugeben ob sie sich die Navigation in den nächsten 5-10 Jahren als Standardverfahren in der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen vorstellen können. Ein Exemplar des Fragebogens befindet sich im Anhang der Arbeit.

TraumaNetzwerk DGU der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie

Zur Gestaltung einer übersichtlicheren und aussagekräftigeren Auswertung wurden die Kliniken zu Beginn in verschiedene Kategorien unterteilt. Zum einen nach Art des Klinikums in Universitätsklinikum, Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik, Lehrkrankenhaus und sonstige Klinik. Zum anderen wurden die Kliniken gemäß des Konzeptes des „Traumnetzwerkes“ der „Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie“ in überregionale, regionale und lokale Traumzentren unterteilt. Kliniken, die noch nicht auditiert bzw. zertifiziert wurden, wurden als „Sonstiges“ kategorisiert.

Das TraumaNetzwerk DGU® ist ein von der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) erstelltes Konzept zur bundesweiten Standardisierung und Optimierung der Versorgung Schwerverletzter unter Integration von Kliniken jeder Versorgungsstufe. Die Prognose eines Schwerverletzten hängt maßgeblich von der zeitnahen und adäquaten Versorgung in einem Krankenhaus mit entsprechender struktureller und personeller Kompetenz ab. Studien in den USA belegen, dass durch die Einführung regionaler Traumazentren eine Reduktion vermeidbarer Todesfälle von bis zu 50 % erreicht wurde [23, 121, 154, 204].

Das gesamte Traumanetzwerk setzte sich zum Zeitpunkt der Umfrage aus 53 regionalen Traumanetzwerken bestehend aus fachkompetenten Kliniken zusammen. Diese Kliniken werden anhand verschiedener Qualitätsmerkmale (strukturell, personell und apparativ) in drei Versorgungsstufen unterteilt: in ein überregionales, regionales oder lokales Traumazentrum [16]. Hierbei besteht die Aufgabe der lokalen Traumazentren darin, die häufigsten Einzelverletzungen flächendeckend zu versorgen und eine adäquate Erstversorgung zu gewährleisten. Regionale Traumazentren hingegen sollen eine umfassende Erst- und Definitivversorgung für die Mehrzahl aller Verletzungsmuster bieten. Bei den überregionalen Traumazentren handelt es sich als Standort um Kliniken der Maximalversorgung, die eine umfangreiche Versorgung aller Mehrfach- und Schwerletzten und die Behandlung komplizierter und seltener

Verletzung anbieten können. Gemäß dem „Weißbuch Schwerverletztenversorgung“ bieten sich dafür Universitätskliniken, BG-Kliniken und Kliniken mit vergleichbaren Ausstattungsmerkmalen als Standorte für überregionale Traumazentren an. [16]

Die einzelnen Traumazentren sind innerhalb des Traumanetzwerks miteinander verbunden, wodurch ein zügiger Transport eines schwerverletzten Patienten von unter 30 Minuten vom Unfallort bis in ein fachkompetentes Haus realisiert werden kann. Zudem wird mit Hilfe des Konzepts des Traumanetzwerks versucht die Unterschiede bezüglich Geographie und Infrastruktur zwischen den verschiedenen Regionen sowie deren unterschiedlichen Versorgungskonzepte zu kompensieren und minimieren.

Im Rahmen der Umfrage wurden die Antworten der einzelnen Krankenhäuser nach Institutionsart (Universitätsklinik, BG-Unfallklinik oder Lehrkrankenhaus) und Art des Traumazentrums (überregionales, regionales oder lokales Traumazentrum) ausgewertet. Dadurch konnten Aussagen über die aktuelle Versorgungsstruktur und den Stellenwert der Navigation in Deutschland getroffen werden.

2.3 Statistische Auswertung der Umfrage

Die Antworten der einzelnen Bögen wurden zunächst mit Microsoft Excel® tabellarisch erfasst. Dafür wurden die verschiedenen Antwortmöglichkeiten in Zahlen umcodiert, wobei jede Zahl einer Antwortoption entsprach. Mit Hilfe des Programmes SPSS® Statistics Version 22 erfolgte anschließend eine deskriptive Auswertung mit einer prozentualen Häufigkeitsverteilung. Prozentangaben wurden gerundet. Es erfolgte bei Fragestellungen mit ordinal skalierten Merkmalen die Anwendung des Kruskal-Wallis-Tests während bei den übrigen Fragen die Anwendung des Chi-Quadrat-Tests erfolgte. Ein Signifikanzwert von $p \leq 0,05$ wurde als statistisch signifikant betrachtet. Die p-Werte wurden auf drei Nachkommastellen gerundet. Zur Textverarbeitung wurde Microsoft Word® verwendet.

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Literaturrecherche

Über einen Zeitraum von 1980 bis 2016 wurden Studien veröffentlicht, die sich mit der navigierten Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen unter verschiedenen bildgebenden Verfahren beschäftigten. Bis heute finden sich hauptsächlich Fallstudien und experimentelle Studien und nur wenige klinische Studien, während kontrollierte prospektive randomisierte Studien mit einem Langzeit-Follow-Up fehlen. Die bisher veröffentlichten Studien wurden für die Arbeit gesichtet und nach verschiedenen Parametern miteinander verglichen um den Stellenwert der Navigation in der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen darzustellen. Beim Vergleich der einzelnen Navigationsverfahren wurden verschiedene Aspekte berücksichtigt. Zum einen wurde der Nutzen der Navigation bei der Verkürzung der **Operationszeiten und Durchleuchtungszeiten** pro Operation oder Schraubenplatzierung berücksichtigt. Zum anderen wurde der Einfluss der Navigation auf die **Präzision** bei der Schraubenplatzierung bzw. auf die Perforations- und Revisionsraten betrachtet. Darüber hinaus wurden zusätzlich die Nachteile, die **technischen Limitationen und möglichen Komplikationen**, die mit den einzelnen Navigationsverfahren assoziiert sind, evaluiert. Die gesamten Ergebnisse der Literaturrecherche befinden sich in tabellarischer Form im Anhang und werden im Folgenden in Auszügen ausgeführt.

Stellenwert der Navigation in der Beckenchirurgie

In der Beckenchirurgie hat sich vor allem die perkutane Verschraubung des Sakroiliakalgelenks etabliert und sich bei der Stabilisierung von wenig dislozierten Sakrumfrakturen und SI-Gelenksprengungen bewährt [46, 53, 87, 143, 155, 172, 176]. Die ersten Erfahrungen mit der perkutanen Platzierung von SI-Schrauben unter Standardfluoroskopie stammen von Routt et al. (1995) zur Versorgung von SI-Gelenksprengungen und Sakrumfrakturen, bei der die Methodik als sicher und reproduzierbar erachtet wurde [143]. Zur Sakrumverschraubung werden perkutan je nach Frakturart ein oder zwei Schrauben von 6.5 – 7.3 mm Durchmesser unter fluoroskopischer Kontrolle über das Os ilium und das SI-Gelenk in die oberen

Sakralwirbelkörper S1 und S2 implantiert. Hier besteht bei versehentlicher Perforation des Knochens die Gefahr der Verletzung sakraler Nerven. Bei der Schraubenplatzierung in S1 durchläuft die Schraube einen engen Korridor im Kreuzbeinflügel mit einer durchschnittlichen langen Achse von 22 mm und einer kurzen Achse von 11 mm [184]. In der Nähe dieser Zone befinden sich im vorderen Bereich die Anteile L4 und L5 des N. ischiadicus, im posterioren Bereich liegt der vordere Ast des Spinalnerven S1. Auch kann es dabei zur Verletzung der naheliegenden Vena iliaca kommen, resultierend in Blutungskomplikationen [186]. Daher ist eine präzise Schraubenplatzierung obligat. Zur präoperativen Planung und zur Schraubenlagenkontrolle zählen die Projektionen nach Matta und Saucedo (1989) zu den gängigen Einstellungen: die laterale Projektion, die anterior-posterior und die Inlet- bzw. Outlet-Projektion [106]. Da für die Orientierung anhand der verschiedenen Projektionen ein gutes räumliches Vorstellungsvermögen notwendig ist, handelt es sich bei der Fluoroskopie-gestützten Verschraubung um eine anspruchsvolle Technik, die eine entsprechende Expertise und Erfahrung des Operateurs voraussetzt. Das Outcome ist folglich, wie in einigen Studien belegt, stark abhängig vom durchführenden Chirurgen [203]. Zusätzlich erschwert wird die Orientierung durch verschiedene Faktoren wie die Überlagerung durch Darmgase, Adipositas oder anatomische Varianten [149, 203]. Die erschwerten Bedingungen gepaart mit einer eingeschränkten Bildqualität und zusätzlicher Fehlinterpretation der anatomischen Gegebenheiten, bergen die Gefahr einer Perforation des Knochens mit einer konsekutiven Verletzung sakraler Gefäße und Nerven [114, 145, 177]. Die Perforationsrate unter Standardfluoroskopie reicht laut Studien von 2 % bis 15 % und die konsekutive Nervenverletzung zeigt eine Inzidenz von 0,5 % bis 7,7 % [37, 65, 76, 106, 147, 155, 176, 177, 190, 206, 207]. In der aktuellen Datenlage werden sowohl beim offenen Vorgehen wie auch bei der perkutanen Versorgung Perforationsraten von 0,9 % - 10 % beschrieben [35, 54, 82, 103, 108, 110].

Darüber hinaus sind sowohl Patient wie auch Operateur einer hohen Strahlenexposition ausgesetzt, da zur intraoperativen Kontrolle der Bohrrichtung und der Implantatlage wiederholte Bildwandlerprojektionen nötig sind [134, 163]. Mit dem Potential Komplikationsraten und Durchleuchtungszeiten zu reduzieren und zusätzlich bei verbesserter Bildqualität eine präzisere Schraubenplatzierung zu erreichen, wurden in den letzten Jahren verschiedene computergestützte Verfahren untersucht [5, 19, 25, 60,

66, 150, 157, 169, 206]. Die verschiedenen Verfahren wurden im Rahmen experimenteller und klinischer Studien untersucht, wobei die experimentellen Studien an Kunststoffmodellen und Kadavern gegenüber klinischen Studien bisher überwiegen bzw. nur prospektive Studien mit kleinen Fallzahlen zu finden sind [11, 18, 26, 44, 54, 58, 66, 128, 157].

Stellenwert der Navigation in der Acetabulumchirurgie

Der aktuelle Therapiestandard zur Versorgung von Acetabulumfrakturen ist nach wie vor die offene Reposition mit einer internen Stabilisierung der Fraktur, wie sie 1994 von Matta et al. (1994), Judet et al. (1964), Mayo et al. (1994) und Wright et al. (1994) beschrieben wurde [82, 107, 110, 198]. Hierbei zählen die Zugänge von anterior und posterior, der Kocher-Langenbeck und der ilioinguinale Zugang zu den gängigsten Zugangswegen [33, 79, 96, 108]. Diese kommen laut einer Untersuchung von Ochs et al. (2010) bei der Versorgung von 79,5 % aller Acetabulumfrakturen zur Anwendung [129]. Kompliziertere Frakturen (Zwei-Pfeilerfrakturen oder T-Frakturen) werden hingegen über ausgedehntere Zugänge wie der erweiterte ilioinguinale Zugang oder der Maryland-Zugang angegangen [1, 67, 140, 200]. Diese Zugänge erfordern eine ausgedehnte Freilegung des Operationsgebiets, wodurch entsprechende Komplikationen auftreten können, wie beispielsweise ein erhöhter Blutverlust, Infektionen oder Gefäß- und Nervenverletzungen. Die minimalinvasive perkutane Versorgung von Acetabulumfrakturen stellt zur Reduktion der Komplikationsraten eine nützliche Alternative dar. Anders als anfangs angenommen, lässt sich die perkutane Schraubenplatzierung nicht nur bei nicht-dislozierten Frakturen, sondern auch bei leicht dislozierten Frakturen anwenden [69]. Die perkutane Schraubenplatzierung am Acetabulum findet Anwendung bei instabilen, nicht-dislozierten Acetabulumfrakturen und bei dislozierten Frakturen, die mittels dem Zugschraubenprinzip versorgt werden können [119, 162]. Die perkutane Schraubenplatzierung am Acetabulum kann entweder unter Standardfluoroskopie, CT-Navigation oder mittels Fluoroskopie-gestützter 2D- oder 3D-Navigation erfolgen. Bei der Standardfluoroskopie ist der Nachteil, dass zur Planung und Lagekontrolle verschiedene Projektionen benötigt werden, woraus verlängerte Operationszeiten und eine erhöhte Strahlenbelastung für Patient und Personal resultieren [118, 119, 132, 144, 161, 162]. Hier erweisen sich die 2D- und 3D-

Navigation als hilfreich. Zur periacetabulären Schraubenplatzierung unter 2D- oder 3D-Fluoroskopie finden sich jedoch nur einige Studien und meist nur mit kleinen Fallzahlen oder in Form von Fallberichten, die sich über einen langen Beobachtungszeitraum erstrecken in denen es zu Änderungen der Behandlungsmaßnahmen gekommen ist. Grund für die kleine Anzahl an Studien zu diesem Thema ist zum einen die geringe Inzidenz der Acetabulumfrakturen mit 3 Frakturen pro 100.000 Einwohner und Jahr [94]. Zum anderen handelt es sich bei der perkutanen Schraubenversorgung des Acetabulums um einen anspruchsvollen Eingriff, bedingt durch die komplexen anatomischen Verhältnisse und deren teils schwierige Darstellbarkeit. Zusätzlich erschwert wird die periacetabuläre perkutane Schraubenplatzierung durch die engen Schraubenkorridore, die im Acetabulum vorherrschen. Hierbei messen die Schraubenkorridore am vorderen Pfeiler maximal 6,4 mm, am hinteren Pfeiler 11,4 mm und supraacetabulär maximal 12,1 mm [9]. Studien zum direkten Vergleich der verschiedenen Navigationsarten bei der periacetabulären Schraubenplatzierung sind bis auf eine Publikation von Ochs et al. (2010) nicht vorhanden [128]. In dieser Studie wurden bei der perkutanen periacetabulären Schraubenversorgung die 2D- und 3D-fluoroskopiegestützten Navigationsarten mit der Standardfluoroskopie bezüglich präoperativer Planung und Perforationsraten miteinander verglichen. Die Studie ergab, dass unter Verwendung von 3D-fluoroskopie-gestützter Navigation die Perforationsrate mit 7 % signifikant niedriger ist als unter 2D-Fluoroskopie (20 %). Auch beschäftigten sich Ochs et al. (2010) im Rahmen einer weiteren multizentrischen Studie mit Veränderungen der Behandlungsstrategien von Acetabulumfrakturen über einen Zeitraum von 15 Jahren [129]. Die Studie ergab, dass sich die Qualität der Frakturreposition über die Zeit nicht bedeutend verbessert hat, obwohl die operativen Verfahren im Vergleich zur konservativen Therapie immer häufiger angewendet wurden. Dies liegt womöglich daran, dass im Laufe der Zeit zunehmend die postoperative Computertomographie zur Repositionskontrolle eingesetzt wird, was mit einer wesentlich akkurateren Detektion von residuellen Fehlstellungen einhergeht, die möglicherweise vorher nicht detektiert wurden [15, 115]. Zum anderen könnte dies auch am zunehmend höheren Patientenalter und einer damit verbundenen erschwerten Frakturreposition liegen. Das Verfahren der Frakturfixierung hat sich ebenfalls nicht wesentlich geändert und wurde in den 15 Jahren größtenteils mittels einer Kombination

aus Platten- und Schraubenosteosynthese erreicht, wobei der Kocher-Langenbeck und der ilioinguinale Zugang gleich häufig verwendet werden [129]. Zur perkutanen Schraubenplatzierung am Acetabulum unter Standardfluoroskopie wurden die ersten Ergebnisse von Parker et al. (1997) und Starr et al. (1998) veröffentlicht [132, 161]. Sie berichteten über die perkutane Schraubenplatzierung unter konventioneller Durchleuchtung bei vorderen und hinteren Pfeilerfrakturen des Acetabulums. Parker et al. beschreiben die Ergebnisse anhand des Merle d'Aubigné Scores größtenteils als zufriedenstellend [132]. Starr et al. beschreiben die perkutane Schraubenplatzierung als anspruchsvolle Technik, mit der bei ausgewählten Fällen sehr gute Ergebnisse erzielt werden können, da die Schrauben sehr nah senkrecht zum Frakturbereich eingebracht werden können [161]. Auch Crowl et al. (2002) berichten bei der Versorgung von vorderen Pfeilerfrakturen von akzeptablen Ergebnissen, doch wurden aufgrund der uniplanaren Einschränkung der Standardfluoroskopie zur Beurteilung der Schraubenpositionen zusätzliche Durchleuchtungen von bis zu 4 Minuten nötig [28]. Bereits in der Beckenchirurgie wird in mehreren Studien von einer Reduktion der Durchleuchtungszeit mithilfe Fluoroskopie-gestützter Navigation berichtet, zum Teil um den Faktor 2-4 bei ähnlicher Operationsdauer und Präzision der Schraubenlage [20, 150]. Ein weiterer Punkt der in der Literatur an der Navigation als vorteilhaft erachtet wird, ist die Tatsache, dass aufgrund der Visualisierung der Instrumentenposition in Echtzeit häufige Korrekturbohrungen wie sie unter Standardfluoroskopie vorkommen, vermieden werden können, wodurch die Knochenstruktur geschont werden kann. Dies ist insofern relevant, dass multiple Bohrungen zur Reduktion der Knochensubstanz führen, wodurch Materiallockerungen und dadurch notwendige Revisionsoperationen begünstigt werden [207].

3.1.1 Durchleuchtungs- und Operationszeiten in der Beckenchirurgie

Durchleuchtungszeiten

Ein systematischer Vergleich der in der Literatur untersuchten Navigationsverfahren bezüglich Durchleuchtungszeit und Operationsdauer war nur bedingt möglich, da die Dokumentation der verschiedenen Zeiten in den einzelnen Studien variieren. Zum Teil wurden sie nicht angegeben.

Die fluoroskopie-gestützte Navigation erweist sich im Vergleich zur konventionellen Fluoroskopie vor allem in der Reduktion der Strahlenbelastung für den Patienten und das Personal als besonders vorteilhaft [20, 26, 59, 60, 65, 102, 118, 134]. Während bei der Standardfluoroskopie mehrere Projektionen intraoperativ zur Lagekontrolle benötigt werden, erlauben die navigierten Techniken eine virtuelle Darstellung des Instrumentariums in Echtzeit anhand des bereits vorhandenen Datensatzes ohne dass eine erneute intraoperative Bildakquirierung benötigt wird. Im Durchschnitt beträgt die Durchleuchtungszeit am Becken für die SI-Schraubenplatzierungen mit Hilfe der Standardfluoroskopie 26 Sekunden und reicht bis zu 5,7 Minuten und für die Einbringung retrograder Schrauben am Schambeinast 3,2 Minuten pro Schraube [26, 64, 124, 134, 144, 206]. Unter Einsatz der 2D-Navigation liegen die Durchleuchtungszeiten pro SI-Schraubenplatzierung hingegen zwischen 6 Sekunden und maximal 4,2 Minuten [26, 53, 60, 165]. Schep et al. (2004) berichten beispielsweise bei der SI-Schraubenplatzierung von einer Reduktion der Durchleuchtungszeit um den Faktor 2,5 mit Hilfe der 2D-Navigation (0,7 Min.) im Vergleich zur Standardfluoroskopie (1,8 Min.) [150]. Auch in einer Kadaverstudie von Xu et al. (2013) wird von einer deutlichen Reduktion der Durchleuchtungszeit mittels 2D-Navigation (47,7 Sek.) im Vergleich zur Standardfluoroskopie (132,8 Sek.) berichtet [199]. Ebenso beschreiben Day et al. (2007) in ihrer Vergleichsstudie am Kadaver eine Reduktion der Durchleuchtungszeit unter 2D-Navigation (0,46 Min.) im Vergleich zur Standardfluoroskopie (0,75 Min.) bei der Einbringung von SI-Schrauben [32]. In einer weiteren Studie von Zwingmann et al. (2009) zeigt ein Vergleich zwischen 3D-navigierten und unter Standardfluoroskopie versorgten hinteren Beckenringfrakturen, dass es in den navigierten Gruppen (Gruppe 1 nur SI-Schraubenversorgung, Gruppe 2

zusätzlich Versorgung mit Fixateur externe) zu geringeren Durchleuchtungszeiten gekommen ist [206].

Bezüglich der Strahlenbelastung unter 3D-Navigation unterscheiden sich die Angaben zur Strahlenexposition und Durchleuchtungsdauer in der Literatur im Einzelnen. In einigen Studien wird aufgezeigt, dass es unter 3D-Navigation vergleichsweise zu einer Verkürzung der Durchleuchtungszeiten kommt. Briem et al. (2006) beispielsweise betonen in ihrer Studie, dass die intraoperative Strahlenexposition unter 3D-Navigation im Vergleich zu den anderen Verfahren reduziert werden konnte [19]. In dieser Studie wurden bei der Verschraubung des hinteren Beckenrings Durchleuchtungszeiten von 0,25 Minuten unter 3D-Navigation im Vergleich zu längeren Durchleuchtungszeiten von 0,3 Minuten unter 2D-Navigation bzw. von 0,77 Minuten unter Standardfluoroskopie gemessen [19]. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch Li et al. (2015) in ihrer retrospektiven Studie bei der es unter 3D-Navigation zur geringeren Durchleuchtungs- und Operationszeiten kam als unter der Standardfluoroskopie mit einem C-Arm [98]. In einer weiteren experimentellen Studie berichten Briem et al. (2008) ebenfalls von niedrigeren Durchleuchtungszeiten unter 3D-Navigation (0,2 Min.) als unter 2D-Navigation (0,3 Min.) [21].

Es wird jedoch auch eine Verlängerung der Durchleuchtungszeiten unter Verwendung der 3D-Navigation im Vergleich zu anderen Verfahren beobachtet. Xu et al. (2013) berichten beispielsweise in ihrer Kadaverstudie zur iliosakralen und periacetabulären Verschraubung von durchschnittlichen Durchleuchtungszeiten unter 3D-Navigation von 66 Sekunden gegenüber durchschnittlichen 47,7 Sekunden unter 2D-Navigation [199]. Eine Erklärung für die vergleichsweise höhere Strahlenbelastung für den Patienten unter 3D-Navigation gegenüber der 2D-Navigation oder der Standardfluoroskopie ist die automatisierte Bilddatenakquirierung von 100 Bildern durch eine Umdrehung des C-Arms um 190° innerhalb von 2 Minuten, währenddessen die Operateure den Raum verlassen können, die Patienten jedoch nicht [19]. (siehe **Tab. 2**)

Ergebnisse

Tab. 2 Durchleuchtungszeiten in Abhängigkeit von der Navigationsart in der Beckenchirurgie

Autor	Navigation	Frakturart	Durchleuchtungszeit
Routt et al. 1995 [143]	Standard	BR – SI-Verschraubung	2,1 Min./Schraube + präop. Aufnahme
Routt et al. 1995 [144]	Standard	BR – SI-Verschraubung	3,3 Min./Schraube
Hinsche et al. 2001 [65]	Standard, 2D	BR – SI-Verschraubung	4,8 Sek./Schraube (2D) versus 10,2 Sek./Schraube (Standard)
Nork et al. 2001 [124]	Standard	Sakrum – SI-Verschraubung	2,1 Min./Schraube
Stöckle et al. 2001 [165]	2D	Kunststoffbecken – SI-Verschraubung	6 Sek./Schraube
Tonetti et al. 2001 [185]	Standard	SI, Sakrum	1,03 (0,1- 3,1) Min./Patient, 0,6 Min./Schraube
Grützner et al. 2002 [60]	2D	Typ C – SI-Verschraubung	0,9 – 4,2 Min./Schraube
Starr et al. 2002 [163]	2D	Typ B	18 Min. (3 - 43 Min.)
Stöckle et al. 2002 [167]	2D, CT	AC und BR	2D 0,5 Min./Schraube, CT k. A.
Stöckle et al. 2003 [168]	2D, CT	AC und BR	2D 0,5 Min./Schraube, CT k. A.
Schep et al. 2004 [169]	Standard, 2D	Hinterer BR – SI-Verschraubung	Standard 1,8 Min./Eingriff, 2D: 0,7 Min./Eingriff
Collinge et. al 2005 [26]	Standard, 2D	Kadaver – SI-Verschraubung	Standard 26 Sek. (15 – 66 Sek.), 2D 6 Sek. (3 - 22 Sek.)
Hilgert et al. 2005 [64]	Standard	Kunststoffbecken – SI-Verschraubung	1,6 (1,2-2,3) Min./Schraube
Briem et al. 2006 [19]	Standard, 2D, 3D, CT	Kadaver – SI-Verschraubung	Standard 0,77 Min., 2D 0,30 Min., 3D 0,25 Min., CT 0,21 Min. jeweils pro Schraube
Peng et al. 2006 [134]	Standard	BR	Gruppe 1 (1 C-Arm): 5,7 Min., Gruppe 2 (2 C-Arme): 4,5 Min.
Briem et al. 2007 [20]	Standard, 2D	BR – SI-Verschraubung	Standard 1,84 Min., 2D 0,9 Min.
Day et al. 2007 [32]	Standard, 2D	Kadaver – SI-Verschraubung	Standard 0,75 Min., 2D 0,46 Min.
Hofmann et al. 2007 [68]	3D	AC und BR	6 Sek. (3 – 22 Sek.)
Tosounidis et al. 2007 [187]	Standard	Typ C – SI-Verschraubung	1,83 Min. (0,9 – 2,9 Min.)/Schraube
Starr et al. 2008 [164]	Standard	Typ B und C – R. pubis-Verschraubung	7 Min. (0,3 – 20 Min.)/Eingriff
Briem et al. 2008 [21]	2D, 3D, CT	Kadaver, AC und BR – SI-Verschraubung	Experimentell: Standard. 0,8±0,2 Min., 2D 0,3±0,1 Min., CT 0,2±0,1 Min., 3D 0,2±0,1 Min. jeweils pro Schraube Klinisch: Navigation 0,9 ± 0,3 Min., Standard. 1,8 ± 0,8 Min. jeweils pro Schraube
Zwingmann et al. 2009 [206]	Standard, 3D	Typ B und C – SI-Verschraubung	Gruppe 1: Standard: 2,35 Min. ± 1,15 Min., Navi: 1,05 Min. ± 0,25 Min. Gruppe 2: Standard: 3,52 Min. ± 1,56 Min., Navi: 1,55 Min. ± 0,73 Min.
Gras et al. 2010 [53]	2D	Typ B und C – SI-Verschraubung	123 ± 12 Sek./Schraube
Gao et al. 2011 [42]	2D	Typ B, Typ C	22,2 Sek.
Behrend et al. 2012 [11]	Standard, 2D, 3D	Kadaver,	Kadaver:

		Kunststoffbecken – SI-Verschraubung	Standard 0,39, 2D 0,54 und 3D 0,37 Min./Schraube Kunststoffbecken: Standard 0,42, 2D 0,40 und 3D 0,47 Min./Schraube
Xu et al. 2013[199]	Standard, 2D, 3D	Kadaver – SI-Verschraubung	2D 47,7 ± 5,6 Sek., 3D 66 ± 4,8 Sek., Standard 132,8 ± 7,3 Sek.
Li et al. 2015 [98]	Standard, 3D	BR	Standard 57,8 ± 4,9 Sek., 3D 34,2 ± 2,2 Sek.

Operationszeiten

Bezüglich der Operationsdauer unter Einsatz der Navigation in der Beckenchirurgie gibt es ebenfalls unterschiedliche Erkenntnisse in der Literatur. Die unterschiedlichen Ergebnisse sind bedingt durch verschiedene Faktoren, wie unterschiedliche Definitionen der Operationsdauer, Durchführung der Operation durch einen oder mehrere Operateure oder durch Unterschiede im Studiendesign. Definitionsgemäß besteht die gesamte Operationszeit aus den Zeiten für die Anbringung der optoelektronischen Marker am Patienten, der Dauer der Kalibrierung, dem Bilderstellungsvorgang am Computer und der Dauer für die eigentliche Schraubenplatzierung. Die Dokumentation der Operationsdauer variiert jedoch von Studie zu Studie, wodurch ein Vergleich erschwert wird. In manchen Studien wird beispielsweise nur die Zeit der Implantateinbringung angegeben, während andere die Zeit für den gesamten Eingriff nennen. In einigen Studien wird berichtet, dass unter Navigation eine Verlängerung der Operationszeiten beobachtet wird, während andere Studien eine Verkürzung der Instrumentierungs- und Schraubenplatzierungszeiten unter Navigation beschreiben.

Zum einen wird berichtet, dass mit Hilfe der 2D-Navigation im Vergleich zur Standardfluoroskopie eine Verkürzung der Operationsdauer erzielt werden kann [26, 60]. Collinge et al. (2005) berichten beispielsweise bei der Verschraubung von Iliosakralgelenken von einer geringeren durchschnittlichen Operationszeit von 6,7 Minuten bei Benutzung der 2D-Navigation im Vergleich zur Verschraubung unter Standardfluoroskopie (7,3 Minuten) [26]. Betrachtet man dabei die Zeit der eigentlichen Schraubenplatzierung, so ergeben sich unter 2D-Navigation 3,5 Minuten und unter Standardfluoroskopie 7,0 Minuten, die restliche Dauer wurde bei der 2D-Navigation für die Vorbereitung und Kalibrierung des Navigationsgeräts benötigt, wodurch sich die Operationszeiten für den Eingriff bei beiden Verfahren weitestgehend angleichen [26]. Schep et al. (2004) beobachteten mit durchschnittlich 97 Minuten ebenfalls eine

verkürzte Operationszeit unter 2D-Navigation im Gegensatz zu Operationszeiten von 116 Minuten unter Standardfluoroskopie [150]. Die Dauer für die Schraubenplatzierungen betrug jedoch in beiden Verfahren ähnlich lang mit 20,2 Min. unter 2D-Navigation gegenüber 19,4 Min. unter Standardfluoroskopie, wobei die Zeitersparnis bei der 2D-Navigation dadurch erreicht werden konnte, dass ausschließlich in Rückenlage operiert wurde [150]. Xu et al. (2013) beschreiben in ihrer Kadaverstudie ebenfalls eine Verkürzung der Instrumentierungszeit unter Navigation mit der kürzesten Instrumentierungszeit (15,4 Minuten) unter 3D-Navigation, bei jedoch höheren Durchleuchtungszeiten unter 3D-Navigation als unter 2D-Navigation [199]. In einer retrospektiven Studie von Li et al. (2015) werden ebenfalls eine Verkürzung der Instrumentierungszeit unter 3D-Navigation im Vergleich zur Standardfluoroskopie bei der Versorgung von Beckenringfrakturen beobachtet [98].

Im Gegensatz dazu wird in anderen Studien eine vergleichsweise längere Operationsdauer unter 2D- oder 3D-Navigation gegenüber der Standardfluoroskopie verzeichnet, unter anderem bedingt durch verlängerte Instrumentierungszeiten im Rahmen des Lernprozesses und durch die verlängerten Vorbereitungszeiten [11, 19, 25]. Li et al. (2015) erklären die Verlängerung der gesamten Operationszeit damit, dass für die 3D-Navigation mehr Personal eingesetzt wird, da sich eine Operation unter 3D-Navigation insgesamt komplexer darstellt als eine vergleichbare Operation unter Standardfluoroskopie [98]. Die Operationszeit beträgt beispielsweise bei Briem et al. (2006) unter Standardfluoroskopie (15,4 Min.) nur halb so lange wie unter 2D-Navigation (31,5 Min.) oder 3D-Navigation (26,3 Min.) [19]. Auch Day et al. (2007) stellten eine verkürzte Operationszeit unter Standardfluoroskopie (781,5 Sek.) als unter 2D-Navigation (1301,1 Sek.) in ihrer Kadaverstudie fest [32].

Im Vergleich zu den Fluoroskopie-gestützten Navigationsverfahren weist die CT-Navigation hingegen die längsten Operationszeiten auf. Diese reichen von 44 Minuten bis 86 Minuten bei der Einbringung von SI-Schrauben [5, 13, 19, 76]. Unter den verschiedenen Navigationsmodalitäten liefert die CT-Navigation allerdings die höchste Bildauflösung [19]. Die hohe Bildauflösung geht jedoch einher mit einer hohen Strahlenbelastung für den Patienten [47]. Laut einer Vergleichsstudie von Wieners et al. (2005) liegt das Dosis-Längenprodukt bei der CT-Navigation mit 82 - 389 mGy x cm weit über dem der 3D-Navigation (41.2 mGy x cm), dies wird jedoch aufgrund der

besseren Bildqualität und der kürzeren Untersuchungsdauer trotzdem noch als vertretbar angesehen [197]. Nachteilig an der CT-Navigation ist, dass sie nur nicht-dislozierten Frakturen, die kein Repositionsmanöver benötigen, vorbehalten ist, da bei intraoperativen Umlagerungsmanövern die Gefahr einer Frakturverschiebung besteht ohne die Möglichkeit einen neuen aktuellen Datensatz zu akquirieren. Peng et al. (2013) beschreiben die Verwendung der Computertomographie mit integrierter Navigation zur operativen Versorgung von Frakturen des hinteren Beckenrings, welches eine Erweiterung der CT-Navigation darstellt. Sie berichten von einer akkuraten Schraubenplatzierung darunter, allerdings verbunden mit höheren Strahlendosen als unter Fluoroskopie-gestützten Verfahren. Der Vorteil hierbei ist jedoch, dass intraoperativ Bilder in Echtzeit zur Verfügung stehen ohne dass der Patient umgelagert werden muss. Dadurch werden fehlerhafte Datensätze wie sie bei der herkömmlichen CT-Navigation nach Umlagerung entstehen können, vermieden [135]. Grundsätzlich ist die CT-Navigation daher nicht-dislozierten Frakturen vorbehalten, es sei denn es besteht die Möglichkeit einer intraoperativen Verfügbarkeit einer Computertomographie, was sich jedoch kostenintensiv gestaltet [86]. (siehe **Tab. 3**)

Tab. 3 Operationszeiten in Abhängigkeit von der Navigationsart in der Beckenchirurgie

Autor	Navigation	Frakturart	Operationszeit
Jacob et al. 1997 [76]	CT	BR – SI-Verschraubung	86 Min.
Blake-Toker et al. 2001 [13]	CT	BR – SI-Verschraubung	82 (30-150) Min.
Nork et al. 2001 [124]	Standard	BR – SI-Verschraubung	48 Min./Schraube
Tonetti et al. 2001 [185]	Standard, Ultraschall	BR	Standard: 25 Min./Schraube, 40 Min./2 Schrauben
Grützner et al. 2002 [60]	2D	BR – SI-Verschraubung	45 – 115 Min.
Starr et al. 2002 [163]	2D	AC und BR	80 (15-190) Min.
Arand et al. 2004 [5]	CT	BR – SI-Verschraubung	44 (32-55) Min.
Schep et al. 2004 [150]	Standard, 2D	BR – SI-Verschraubung	Standard 116 Min./Eingriff, 2D 97 Min./Eingriff
Collinge et al. 2005 [26]	Standard, 2D	Kadaver – SI-Verschraubung	Standard 7,3 (5,1-14) Min./Schraube und 7,3 (5,1-14) Min./Eingriff, 2D 6,7 (3,2-9,1) Min./Schraube und 3,5 (1,8-7,8) Min./Eingriff
Hilgert et al. 2005 [64]	Standard	BR – SI-Verschraubung	55 (40-85) Min
Peng et al. 2006 [134]	Standard	BR	Gruppe 1 (1 C-Arm): 45 Min., Gruppe 2 (2 C-Arme): 16 Min.
Briem et al. 2006 [19]	Standard, 2D, 3D,	Kadaver – SI-	Standard 15,4 Min., 2D: 31,5 Min., 3D: 26,3

Ergebnisse

	CT	Verschraubung	Min., CT 58,3 Min.
Briem et al. 2007 [20]	Standard, 2D	BR – SI-Verschraubung	Standard: 25,37 Min./Schraube, 2D: 36,2 Min./Schraube
Day et al. 2007 [32]	Standard, 2D	Kadaver – SI-Verschraubung	Standard: 781,5 Sek., 2D: 1301,1 Sek.
Luo et al. 2007 [101]	2D	AC und BR	22,7 Min./Schraube
Tosounidis et al. 2007 [187]	Standard	Typ C – SI-Verschraubung	58,9 Min. (21 – 94 Min.)
Starr et al. 2008 [164]	Standard	Typ B und C – R. pubis-Verschraubung	71 (25 – 178) Min./Eingriff
Briem et al. 2008 [21]	2D, 3D, CT	Kadaver, AC und BR – SI-Verschraubung	Experimentell: Standard 15,4±4,0, 2D 31,5±4,9, CT 58,3±12,9, 3D 26,3±8,5 jeweils Min./Schraube Klinisch: 36,2±12,5 Min navigiert vs. 25,4±8,2 Min konventionell
Zwingmann et al. 2009 [206]	Standard, 3D	Typ B und C – SI-Verschraubung	Gruppe 1: Standard: 69 ± 38 Min., 3D: 72 ± 16 Min. Gruppe 2: Standard: 74 ± 24 Min., 3D: 87 ± 30 Min.
Gras et al. 2010 [53]	2D	Typ B und C – SI-Verschraubung	163 ± 13 (56-450) Min./Eingriff
Rosenberger et al. 2010 [142]	CT	AC und BR	83,4 (59-109) Min.
Gao et al. 2011 [42]	2D	Typ B, Typ C	23,6 Min
Xu et al. 2013 [199]	Standard, 2D, 3D	Kadaver – SI-Verschraubung	2D 26,3 ± 7,5 Min., 3D 15,4 ± 4,5 Min., Standard 31,5 ± 6,2 Min.
Li et al. 2015 [98]	Standard, 3D	BR	Standard 19,4 ± 0,8 Sek./Schraube, 3D 14,0 ± 0,7 Sek. /Schraube

3.1.2 Durchleuchtungs- und Operationszeiten in der Acetabulumchirurgie

In der Acetabulumchirurgie gibt es dagegen nur wenige vergleichende Studien zu den verschiedenen Navigationsverfahren. Einige Studien machten auch keine Differenzierung zwischen der Zeit für die Bilddatengewinnung und die Zeit für die Implantateinbringung oder machten keine Angaben zur Strahlendosis [28, 51, 100, 167, 169, 170].

Durchleuchtungszeiten

Eine relevante Vergleichsstudie bezüglich der Durchleuchtungszeiten stammt von Crowl et al. (2002) [28]. In dieser Studie beträgt bei der periacetabulären Verschraubung die durchschnittliche Durchleuchtungszeit pro Schraube unter Standardfluoroskopie 73 Sekunden, während sie mit Hilfe der 2D-Fluoroskopie auf unter 45 Sekunden reduziert werden konnte. Gras et al. (2008) berichten ebenfalls bei

der perkutanen Schraubenplatzierung am Acetabulum von geringen Durchleuchtungszeiten unter 2D-Navigation (87 Sekunden pro Schraube) [51]. Auch Hong et al. (2010) berichten von einer Reduktion der Durchleuchtungsdauer unter der 2D-Fluoroskopie mit durchschnittlichen 28,4 Sekunden pro Schraube [69]. Ochs et al. (2010) beschreiben im Vergleich von 2D-Navigation und 3D-Navigation bei der periacetabulären Verschraubung wesentlich höhere Durchleuchtungszeiten unter 3D-Navigation im Vergleich zur 2D-Navigation oder Standardfluoroskopie [128]. Zu diesem Ergebnis kamen auch Gras et al. (2012), in deren Studie die periacetabuläre Verschraubung unter 2D-Navigation 13 Sekunden betrug, während sie unter 3D-Navigation mit 64 Sekunden deutlich länger ausfiel [54].

Unterdessen berichten Hofmann et al. (2007) hingegen unter Verwendung der 3D-Navigation von wesentlich niedrigeren Durchleuchtungszeiten pro Schraube (6 Sekunden) als beispielsweise Hong et al. (2010) unter 2D-Navigation (24,6 Sekunden Pro Schraube) oder Mouhsine et al. (2005) unter Standardnavigation (62 Sekunden) [69, 119].

Die ersten Erfahrungen mit der perkutanen Schraubenplatzierung bei nicht oder nur leicht dislozierten Acetabulumfrakturen mit Hilfe von CT-gesteuerten Verfahren stammen von Ebrahim et al. (1987), Brown et al. (2000), Gay et al. (1992), Jacob et al. (2000) und Zura et al. (2000) [22, 36, 45, 77, 205]. In diesen Arbeiten wird die Technik als geeignetes Verfahren zur Versorgung sowohl nicht-dislozierter wie auch dislozierter Acetabulumfrakturen angesehen. Als vorteilhaft werden die einfache Reproduzierbarkeit und die hohe Bildauflösung angesehen. Sowohl Gross et al. (2004) wie auch Hügli et al. (2004) berichten in ihren Fallberichten von guten Repositionsergebnissen bei der perkutanen Schraubenversorgung dislozierter Acetabulumfrakturen unter CT-Navigation mit dem Vorteil, dass noch intraoperativ sofort unter CT-Kontrolle eine Korrektur des Repositionsergebnisses erfolgen kann [57, 70]. Von Vorteil ist zusätzlich die im Vergleich zu anderen Verfahren sehr hohe Bildauflösung und damit detailreiche Wiedergabe der komplexen anatomischen Verhältnisse mittels Computertomographie [19, 168]. Die Durchleuchtungszeiten pro Schraube unter CT-Navigation betragen in der Literatur 12 – 35 Sekunden [19, 21, 205]. (siehe **Tab. 4**)

Tab. 4 Durchleuchtungszeiten in Abhängigkeit von der Navigationsart in der Acetabulumchirurgie

Autor	Navigation	Frakturart	Durchleuchtungszeit
Zura et al. 2000 [205]	CT	AC	35 Sek./Schraube
Crowl et al. 2002 [28]	Standard, 2D, CT	AC	Standard 73 Sek./Schraube, 2D 45 Sek./2-3 Schrauben, CT 45 Schichten/Schraube
Stöckle et al. 2001 [165]	2D	AC und BR	6 Sek./Schraube
Stöckle et al. 2002 [167]	2D, CT	AC und BR	2D 0,5 Min./Schraube, CT k.A.
Stöckle et al. 2003 [168]	2D, CT	AC und BR	2D 0,5 Min./Schraube, CT k.A.
Mouhsine et al. 2005 [119]	Standard	AC	62 (55-80) Sek./Eingriff
Briem et al. 2006 [18]	Standard, 2D, 3D, CT	Kadaver	Standard 0,77 Min., 2D 0,30 Min., 3D: 0,25 Min., CT 0,21 Min. jeweils pro Schraube
Hofmann et al. 2007 [68]	3D	AC und BR	6 Sek. (3 – 22 Sek.)
Luo et al. 2007 [101]	2D	AC und BR	20,2 Sek./Schraube
Briem et al. 2008 [21]	2D, 3D, CT	Kadaver, AC und BR	Experimentell: Standard. 0,8±0,2 Min., 2D 0,3±0,1 Min., CT 0,2±0,1 Min., 3D 0,2±0,1 Min. jeweils pro Schraube Klinisch: Navigation 0,9 ± 0,3 Min./Schraube, Standard. 1,8 ± 0,8 Min./Schraube
Gras et al. 2008 [51]	2D	AC	87 Sek./Schraube
Lin et al. 2008 [100]	2D	AC	38 (35-45) Sek.
Marintschev et al. 2008 [102]	2D	AC	129 ± 79 Sek./Schraube
Hong et al. 2010 [69]	2D	AC	24,6 (16-47) Sek./Schraube
Ochs et al. 2010 [128]	Standard, 2D, 3D	Kunststoffbecken, Kadaver	Standard: Kunststoffbecken 18,3 ± 7,3 Sek., Kadaver 12,8 ± 4,6 Sek. 2D: Kunststoffbecken 14,0 ± 6,3 Sek.; Kadaver 13,6 ± 4,3 Sek. 3D: Kunststoffbecken 71,8 ± 5,1 Sek., Kadaver 72,5 ± 4,6 Sek.
Gras et al. 2012 [54]	2D, 3D	Kunststoffbecken	2D 13 ± 1,3 Sek., 3D 64 ± 9 Sek.

Operationszeiten

Bezüglich der Operationszeiten unter den verschiedenen Navigationsverfahren zeigt sich im Literaturvergleich, dass die Operationszeiten unter CT-Navigation am längsten betragen. Sie liegen zwischen 90 Minuten und 120 Minuten [45, 77, 142, 205]. Auch unter 3D-Navigation wird zwar in einem Fallbericht von Atesok et al. (2008) unter 3D-Navigation von einer durchschnittlichen Operationszeit von 160 Minuten berichtet, doch dies bildet die Ausnahme [7]. Die verlängerte Operationszeit wird begründet durch die verlängerte Vorbereitungszeit des Navigationssystems und durch die fehlende Erfahrung der Operateure, was jedoch unter zunehmender Vertrautheit mit dem Gerät abnimmt. In Studien von Briem et al. (2008), Ochs et al. (2010) und Gras et al. (2012) werden für die periacetabuläre Verschraubung unter 3D-Navigation Operationszeiten

von 12 Minuten bis 50 Minuten beschrieben [21, 54, 128]. Allerdings handelt es sich bei diesen Studien um experimentelle Studien am Kunststoffbecken oder an Kadavern, worunter optimale Operationsbedingungen herrschen. Die kürzesten Operationszeiten werden jedoch in klinischen Studien unter 2D-Navigation erzielt. Diese reichen von 24 Minuten bis 63 Minuten [54, 69, 100]. In einer experimentellen Studie von Ochs et al. (2010) beträgt die Operationszeit unter 2D-Navigation sogar nur knapp 14 Minuten [128]. Die Angaben zur Operationszeit unter Standardfluoroskopie variieren von 30 Minuten bis hin zu 190 Minuten [119, 161]. In der Vergleichsstudie von Ochs et al. (2010) und von Briem et al. (2008) ergeben sich die kürzesten Operationszeiten unter Standardfluoroskopie im Vergleich zu den navigierten Verfahren [21, 128]. Die längeren Operationszeiten sind laut den Autoren möglicherweise bedingt durch den erhöhten Arbeitsaufwand, der bei den Navigationsverfahren im Rahmen der Vorbereitung und der Bilddatengewinnung anfällt. (siehe **Tab. 5**)

Tab. 5 Operationszeiten in Abhängigkeit von der Navigationsart in der Acetabulumchirurgie

Autor	Navigation	Frakturart	Operationszeit
Gay et al. 1992 [45]	CT	AC	1,5 – 2 Stunden/Eingriff
Starr et al. 1998 [161]	Standard	AC	190 (165-210) Min./Eingriff
Brown et al. 2000 [22]	CT	AC	Mit 3D 5 Std.15 Min (4-6 Std. 50 Min.) Ohne 3D 6 Std. 14 Min. (5 Std. 15 Min.-7 Std. 15 Min.)
Jacob et al. 2000 [77]	CT	AC	113 (90-150) Min./Eingriff
Zura et al. 2000 [205]	CT	AC	105 Min./Eingriff
Mouhsine et al. 2005 [119]	Standard	AC	30 (15-45) Min./Eingriff
Atesok et al. 2008 [7]	3D	AC	160 Min./Eingriff
Briem et al. 2008 [21]	2D, 3D, CT	Kadaver, AC und BR	Experimentell: Standard 15,4±4,0, 2D 31,5±4,9, CT 58,3±12,9, 3D 26,3±8,5 jeweils Min./Schraube Klinisch: 36,2±12,5 Min navigiert vs. 25,4±8,2 Min konventionell
Lin et al. 2008 [100]	2D	AC	40 (30-45) Min.
Hong et al. 2010 [69]	2D	AC	24,6 (16-47) Min
Ochs et al. 2010 [128]	Standard, 2D, 3D	Kunststoffbecken, Kadaver	Standard: Kunststoffbecken 10,8 ± 3,3 Min., Kadaver 11,3 ± 4,5 Min 2D: Kunststoffbecken 13,8 ± 3,6 Min.; Kadaver 17,2 ± 5,7 Min 3D: Kunststoffbecken 12,5 ± 2,2 Min., Kadaver 17,0 ± 5,2 Min
Rosenberger et al. 2010 [142]	CT	AC und BR	BR 83,4 (59-109) Min. AC 109,8 (79-131) Min.
Gras et al. 2012 [54]	2D, 3D	Kunststoffbecken	2D 63,42 ± 2,32 Min., 3D 50,11 ± 1,38 Min.
Oberst et al. 2012 [127]	Standard, 3D		Standard: 264 ± 100 Min., 3D: 306 ± 133 Min.

Grund für die unterschiedlichen Angaben der Durchleuchtungszeiten ist unter anderem die unterschiedliche Handhabung in der Dokumentation. In manchen Studien werden die präoperative Fluoroskopiezeit oder das Dosis-Flächenprodukt miterfasst, während in anderen Studien nur die Anzahl der intraoperativ angefertigten Bilder oder allein die intraoperative Durchleuchtungszeit berücksichtigt werden [11]. Betrachtet man nur die Anzahl der intraoperativ akquirierten Bilder, so werden unter Standardfluoroskopie die meisten Bilder und unter 3D-Navigation die wenigsten Bilder angefertigt, resultierend in einer geringeren Strahlenexposition für das chirurgische Personal unter Nutzung der 3D-Navigation [11, 158]. Zusätzlich von Vorteil bei der 3D-Navigation ist, dass anders als bei der Standard- oder 2D-Fluoroskopie, das OP-Personal zur Bildakquirierung den OP-Saal verlassen kann. Möchte man die Strahlenbelastung für den Patienten jedoch ermitteln, so ist das Dosis-Flächenprodukt ein relevanter Parameter. Bei der 3D-Navigation liegt das Dosis-Flächenprodukt mit 59 cGy/cm^2 pro Schraube weit über dem der Standardfluoroskopie ($10,9 \text{ cGy/cm}^2$ pro Schraube) oder 2D-Navigation ($24,6 \text{ cGy/cm}^2$ pro Schraube) [11]. Somit kann mit Hilfe der 3D-Navigation zwar eine geringere Strahlenbelastung für das OP-Personal erzielt werden, da dieses den Raum während der Bildakquirieren verlassen kann, jedoch bei gleichzeitig höherer Strahlenbelastung für den Patienten. Darüber hinaus führen unterschiedliche Rahmenbedingungen wie der Aufbau des Operationssaals oder die verwendeten Bildwandler ebenfalls zu unterschiedlichen Ergebnissen in der Durchleuchtungszeit, wodurch ein objektiver Vergleich erschwert wird [11]. Gründe für die Differenzen in Operations- und Durchleuchtungszeiten sind unter anderem auch die unterschiedlichen Implantationstechniken, die mit zusätzlichen Projektionen einhergehen können, wie es beispielsweise bei Gras et al. (2008) der Fall war [51].

3.1.3 Einfluss der Navigation auf die Präzision der Implantatplatzierung

Ein Vergleich der verschiedenen Verfahren bezüglich Präzision der Implantatplatzierung ist schwierig, da in den verschiedenen Studien keine einheitliche Definition einer Fehlplatzierung existiert. In den meisten Fällen wird erst von einer Fehlplatzierung gesprochen, wenn eine Revision der Schraube erfolgen musste. Andere Studien definieren hingegen bereits jede Perforation der Kortikalis als Fehllage.

Es hat sich gezeigt, dass bei der perkutanen Schraubenplatzierung mit Hilfe der bildwandlergestützten Navigationsverfahren bei bestimmten Frakturarten im Vergleich zu Verfahren unter Standardfluoroskopie eine erhöhte Präzision erzielt werden kann, die konsekutiv mit einer Reduktion der Komplikationsraten einhergeht [11, 25, 41, 68, 102, 157].

Präzision der Implantatplatzierung in der Beckenchirurgie

In der Literatur finden sich unterschiedliche Meinungen und Erfahrungen zu den verschiedenen Navigationsverfahren. In den meisten Studien wird jedoch aufgezeigt, dass mit Hilfe von Navigationsverfahren eine Erhöhung der Präzision bei der Schraubenplatzierung erzielt werden kann. So zeigen einige Studien auf, dass mit Hilfe der 3D-Navigation im Vergleich zur 2D-Navigation eine höhere Präzision erzielt werden kann. Darunter berichten beispielsweise Briem et al. (2006) bei der Versorgung von hinteren Beckenringfrakturen von einer bis zu 20 % höheren Rate an Schraubenfehllagen unter 2D-Fluoroskopie als unter 3D-Fluoroskopie, bei der keine Schraubenfehllagen festgestellt wurden [19]. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch Citak et al. (2006), Behrendt et al. (2011) und Xu et al. (2013) [11, 25, 199]. Bei allen betrug die Fehlplatzierungsrate der 2D-fluoroskopisch-gestützten SI-Schraubenplatzierung ca. 20 %, wohingegen unter 3D-Fluoroskopie die Fehlplatzierungsrate nur 0 % bis 7 % betrug [11, 25]. Es wurden ausschließlich bei der Platzierung der Schrauben in Position S2 Fehlplatzierungen beobachtet. Auch Li et al. (2015) und Zwingmann et al. (2010) beschreiben in ihren Vergleichsstudien zur perkutanen Schraubenplatzierung bei Beckenringfrakturen eine höhere Präzision unter 3D-Navigation als unter Standardfluoroskopie [98, 207].

Hingegen beschreiben Smith et al. (2006) in ihrer Vergleichsstudie präzisere Schraubenplatzierungen unter 2D-Navigation als unter 3D-Navigation oder Standardfluoroskopie. Zwar kam es bei den meisten Schrauben zu Kortikalisperforationen und es zeigte sich eine große Varianz der Schraubenposition, jedoch zeigten die unter 2D-Navigation platzierten Schrauben die geringsten Abweichungen [157]. Das Ergebnis dieser Studie ist allerdings aufgrund der geringen Anzahl an Schraubenplatzierungen pro Gruppe und einer osteopenen Knochenstruktur der Kadaver nur bedingt aussagekräftig. Im Gegensatz dazu stehen die Erfahrungen von

Briem et al. (2007) in deren Studie es nur zu einer geringen Verbesserung der Präzision bei der perkutanen iliosakralen Schraubenplatzierung unter 2D-Navigation im Vergleich zur Standardfluoroskopie gekommen ist [20]. Day et al. (2007) und Collinge et al. (2005) beobachteten hingegen keinen Unterschied in der Präzision bei der Implantatplatzierung unter Verwendung von 2D-Navigation und Standardfluoroskopie [26, 32]. Day et al. (2007) beschreiben in Ihrer Kadaverstudie sowohl unter 2D-Navigation wie auch unter Standardfluoroskopie Perforationen der Kortikalis durch 2 von 10 Schrauben [32]. Des Weiteren wird in einer Studie von Konrad et al. (2010) berichtet, dass es unter 3D-Navigation bei der Verschraubung des hinteren Beckenrings zu einer hohen Rate an Fehlplatzierungen kam [88]. Dies wurde zum einen durch die geringe Erfahrung der Operateure und zum anderen durch die ungewohnte dreidimensionale Darstellung der anatomischen Strukturen erklärt. Trotz allem stellt die 2D-Navigation gegenüber der Standardfluoroskopie eine Fortentwicklung dar, da bei mindestens gleichwertiger Präzision eine nicht unerhebliche Reduktion der Durchleuchtungszeiten erzielt werden konnte.

Betrachtet man Studien, die sich mit der CT-Navigation beschäftigten, so zeigt sich eine hohe Präzision bei der perkutanen Einbringung von Schrauben am hinteren Beckenring. Jacob et al. (1997) und Tonetti et al. (1998) beschreiben bereits früh eine hohe Präzision unter CT-Navigation und beschreiben sie als technisch einfache und sichere Methode [76, 183]. Auch in Vergleichsstudien mit verschiedenen Navigationstechniken schnitt die CT-Navigation in der Beckenchirurgie gut ab, wie sich beispielsweise in Studien von Stöckle et al. (2006) und Briem et al. (2008) zeigte, wo keine Fehlplatzierungen beobachtet wurden. (siehe **Tab. 6**)

Tab. 6 Implantatlage bzw. Fehlplatzierungsrate in Abhängigkeit von der Navigationsart in der Beckenchirurgie

Autor	Navigation	Frakturart	Korrekte Implantatplatzierung bzw. Fehlplatzierungsrate
Jacob et al. 1997 [76]	CT	AC	25/27 Schrauben korrekt
Tonetti et al. 1998 [183]	CT	Kadaver	3/3 korrekt
Nork et al. 2001 [124]	Standard	BR – SI-Verschraubung	25/25 korrekt
Hinsche et al. 2001 [65]	2D	Kunststoffbecken – SI-Verschraubung	Gruppe 1: S1 13/14, S2 9/14 korrekt Gruppe 2: S1 12/14, S2 6/14 korrekt Gruppe 3: S1 13/14, S2 9/14 korrekt Gruppe 4: S1 14/14, S2 13/14 korrekt Gruppe 5: S1 13/14, S2 10/14 korrekt
Stöckle et al. 2001 [165]	2D	AC und BR	51/60 korrekt
Grützner et al. 2002 [60]	2D	BR – SI-Verschraubung	14/14 korrekt

Ergebnisse

Stöckle et al. 2003 [168]	2D, CT	AC und BR	2D 35/36 korrekt CT 3/3
Arand et al. 2004 [5]	CT	BR – SI- Verschraubung	21/22 korrekt
Mosheiff et al. 2004 [118]	2D	AC und BR	45/45 korrekt
Schep et al. 2004 [150]	Standard, 2D	BR – SI- Verschraubung	Standard 48/48, 2D 47/48 korrekt
Collinge et al. 2005 [26]	Standard, 2D	Kadaver – SI- Verschraubung	Standard 28/29, 2D 28/29 korrekt
Briem et al. 2006 [19]	Standard, 2D, 3D, CT	Kadaver – SI- Verschraubung	Standard 20 %, 2D: 20 %, 3D, 0 %, CT 0% inkorrekt
Stöckle et al. 2006 [172]	2D, 3D, CT	AC und BR	2D 43/48, 3D 47/48, CT 48/48 korrekt
Citak et al. 2006 [25]	2D, 3D	Kunststoffbecken – SI-Verschraubung	2D: 80 %, 3D 100 % korrekt
Smith et al. 2006 [157]	Standard, 2D, 3D, EM	Kadaver – SI- Verschraubung	Standard 75 % perforiert, 2D 50 % perforiert 3D 50 % perforiert, EM 25 % perforiert
Briem et al. 2007 [20]	Standard, 2D	BR – SI- Verschraubung	Standard 4/23, 2D: 3/35 inkorrekt
Day et al. 2007 [32]	Standard, 2D	BR – SI- Verschraubung	20/20 (2D und Standard) korrekt mit 2 Kortikalisperforationen
Tosouinidis et al. 2007 [187]	Standard	BR – SI- Verschraubung	2/73 inkorrekt
Briem et al. 2008 [21]	2D, 3D, CT	Kadaver, AC und BR	Experimentell: Standard 4/20, 2D 4/20, CT 0/20, 3D 0/20 inkorrekt Klinisch: Standard 4/23, Navigation 3/35 inkorrekt Retrospektiv: Standard 7/47, 2D 3/92 inkorrekt
Sun et al. 2008 [174]	3D	BR	20/20 korrekt
Konrad et al. 2010 [88]	3D	BR – SI- Verschraubung	10/37 inkorrekt, davon 2 revisionspflichtig
Zwingmann et al. 2010 [207]	Standard, 3D	BR	Standard 42 %, 3D 81 % korrekt
Gras et al. 2010 [53]	2D	BR	6 % inkorrekt
Behrendt et al. 2011 [11]	Standard, 2D, 3D	Kadaver, Kunststoffbecken	Standard 28 %, 2D 21 %, 3D 7 % inkorrekt
Gao et al. 2011 [42]	2D	BR	96 % (von 44 Schrauben) korrekt
Xu et al. 2013 [199]	Standard, 2D, 3D	Kadaver – SI- Verschraubung	Standard 38,9 %, 2D 22,2 %, 3D 0 % inkorrekt
Takao et al. 2014 [175]	CT-3D	BR – SI- Verschraubung	12/12 korrekt
Li et al. 2015 [98]	Standard, 3D	BR	Standard 85,2 %, 3D 97,1 % korrekt

Präzision der Implantatplatzierung in der Acetabulumchirurgie

Abgesehen von der Reduktion der Strahlenexposition, spielt die Erhöhung der Präzision der Schraubenlage unter Verwendung verschiedener Navigationsverfahren auch in der Acetabulumchirurgie eine wichtige Rolle. Unter Zuhilfenahme der verschiedenen Navigationstechniken wird eine erhöhte Präzision der periacetabulären

Schraubenplatzierung festgestellt, größtenteils unter Verwendung der 3D-Navigation, wobei diese bisher in der Acetabulumchirurgie wenig verbreitet ist [100, 102, 118, 165].

In einigen Studien wird der perkutanen Schraubenplatzierung unter 3D-Navigation eine vergleichsweise höhere Präzision zugeschrieben als unter der 2D-Navigation [54, 128]. Ochs et al. (2010) berichten beispielsweise von einer wesentlich geringeren Perforationsrate unter 3D-Navigation (7%) gegenüber einer Perforationsrate von 20 % unter 2D-Navigation. Zusätzlich präsentieren sich unter 3D-Fluoroskopie eine geringere Abweichung zwischen der geplanten idealen Schraubenposition und der endgültigen Position. Die erhöhte Präzision macht sich hierbei vor allem bei der perkutanen Platzierung der retrograd platzierten hinteren Pfeilerschraube bemerkbar. Allerdings führt die 3D-Fluoroskopie zu signifikant höheren Durchleuchtungszeiten und konsekutiv höheren Strahlendosen im Vergleich zur Standardfluoroskopie [128]. Auch Briem et al. (2008) berichten von einer hohen Präzision bei der Einbringung supraacetabulärer Schrauben an Kadavern unter 3D-fluoroskopischer Navigation, jedoch verbunden mit einer hohen Lernkurve durch anfängliche Orientierungsschwierigkeiten und einer geringeren Praktikabilität gegenüber der 2D-fluoroskopischen Navigation [21]. Gras et al. (2012) berichten im direkten Vergleich von 2D- und 3D-Navigation von verkürzten Planungszeiten und einer erhöhten Präzision der Schraubenlage unter 3D-Navigation bei jedoch gleichzeitig höheren Durchleuchtungszeiten gegenüber der 2D-Navigation [54]. Ebenso berichten Zhang et al. (2011) bei der perkutanen periacetabulären Schraubenplatzierung von korrekten Schraubenplatzierungen in 96,4 % der Fälle unter Verwendung von 3D-Navigation [202]. Bezüglich der Versorgung dislozierter Acetabulumfrakturen berichten Oberst et al. (2012) in ihrer Arbeit von guten Ergebnissen bei einer Kombination aus ORIF mit 3D-Navigation gegenüber der perkutanen Schraubenplatzierung unter Standardfluoroskopie [127]. Dank dieser Kombination wurden ausgedehnte Zugänge seltener erforderlich, die Komplikationsraten reduziert und das Repositionsergebnis erwies sich als zufriedenstellend, allerdings unter verlängerten Operationszeiten. Mit einer durchschnittlichen postoperativen Stufenbildung von 0,3 mm erwies sich die Methodik sogar als akkurater als die Standardfluoroskopie bzw. im Vergleich zu den Literaturergebnissen, wo in 85,6 % der Fälle eine residuelle Dislokation von kleiner 2

mm bereits als zufriedenstellend angesehen wurde [48]. Die 2D-Navigation zeigt sich größtenteils der 3D-Navigation bezüglich der Präzision unterlegen, allerdings finden sich auch Studien, die zufriedenstellende Ergebnisse bei der periacetabulären Schraubenplatzierung unter 2D-Navigation beschreiben. So berichten beispielsweise Stöckle et al. (2002) von einer korrekten Platzierungsrate von 94 % [167]. Marintshev et al. (2008) geben ebenfalls bei der Versorgung von nicht-dislozierten vorderen und hinteren Pfeilerfrakturen mittels 2D-Navigation eine erhöhte Präzision bei der Schraubenplatzierung und eine konsekutiv geringere Revisionsrate an, wobei die offene Reposition und interne Fixierung weiterhin als Methode der Wahl betrachtet wird [102]. Auch die allgemein gute Verfügbarkeit und die intraoperativ flexible Einsatzmöglichkeit des Bildwandlers werden als großer Vorteil erachtet [102]. (siehe **Tab. 7**)

Tab. 7 Implantatlage bzw. Fehlplatzierungsrate in Abhängigkeit von der Navigationsart in der Acetabulumchirurgie

Autor	Navigation	Frakturart	Korrekte Implantatplatzierung bzw. Fehlplatzierungsrate
Gay et al. 1992 [45]	CT	AC	Alle Schrauben korrekt
Stöckle et al. 2001 [165]	2D	AC und BR	51/60 korrekt
Stöckle et al. 2002 [167]	2D, CT	AC und BR	2D 18/19 korrekt, CT k.A.
Stöckle et al. 2003 [168]	2D, CT	AC und BR	2D 35/36 korrekt CT 3/3 korrekt
Gross et al. 2004 [57]	CT	AC	2/2 korrekt
Stöckle et al. 2006 [172]	2D, 3D, CT	AC und BR	2D 43/48, 3D 47/48, CT 48/48 korrekt
Briem et al. 2008 [21]	2D, 3D, CT	Kadaver, AC und BR	Experimentell: Standard 4/20, 2D 4/20, CT 0/20, 3D 0/20 inkorrekt Klinisch: Standard 4/23, Navigation 3/35 inkorrekt Retrospektiv: Standard 7/47, 2D 3/92 inkorrekt
Gras et al. 2008 [51]	2D	AC	36/36 korrekt
Lin et al. 2008 [100]	2D	AC	Alle Schrauben korrekt platziert
Hong et al. 2010 [69]	2D	AC	83,3 % beim ersten Versuch korrekt
Ochs et al. 2010 [128]	Standard, 2D, 3D	Kunststoffbecken, Kadaver	Standard 14 %, 2D 20 %, 3D 7 % inkorrekt
Zhang et al. 2011 [202]	3D	AC	96,4 % von 28 Schrauben korrekt
Gras et al. 2012 [54]	2D, 3D	Kunststoffbecken	3D: 37 perfekt, 2 zufriedenstellend, 1 fehlplatziert 2D: 29 perfekt, 7 zufriedenstellend, 4 fehlplatziert

3.2 Ergebnisse der Umfrage

Im Rahmen der Umfrage wurden 574 deutsche Kliniken mit unfallchirurgischen und/oder orthopädischen Abteilungen angeschrieben. Davon wurden 150 Bögen vollständig ausgefüllt zurückgesandt und konnten in die Auswertung aufgenommen werden. Damit ergibt sich eine Rücklaufquote von 26 %.

Zur Gestaltung einer übersichtlicheren Auswertung wurden die Kliniken zu Beginn in verschiedene Kategorien unterteilt und die Antworten entsprechend sortiert. Zum einen erfolgte die Einteilung nach **Kliniktyp** in Universitätsklinikum, Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik (BG-Unfallklinik), Lehrkrankenhaus und sonstige Klinik. Zum anderen wurden die Kliniken gemäß des Konzepts des „Traumnetzwerkes“ der „Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie“ in überregionale, regionale und lokale **Traumzentren (TZ)** unterteilt. Kliniken, die noch nicht auditert bzw. zertifiziert wurden, wurden als „nicht auditert/zertifiziert“ kategorisiert. Die Beantwortung der jeweiligen Fragen wurde einmal nach Institutionsart und einmal nach Art des Traumazentrums ausgewertet um mögliche Zusammenhänge bezüglich des Stellenwerts der Navigation herausarbeiten zu können. Das Kollektiv der angeschriebenen Kliniken (n = 574) setzt sich aus 6 % (n = 36) Universitätskliniken, 2 % (n = 9) Berufsgenossenschaftliche Unfallkliniken und 61 % (347) Lehrkrankenhäuser zusammen. 32 % (n = 183) der Häuser gehörten keiner dieser Kategorien an und wurden als „Sonstige“ klassifiziert. Sortiert nach Art des Traumazentrums setzt sich das Kollektiv aus 16 % (n = 92) überregionalen Traumazentren, 33 % (n = 192) regionalen und 22 % (n = 126) lokalen Traumazentren zusammen. Bei 29 % (n = 164) der Kliniken war zum Zeitpunkt der Umfrage noch keine Auditierung bzw. Zertifizierung erfolgt.

3.2.1 Rückläufige Bögen

Unter den rückläufigen Bögen befanden sich 150 vollständig ausgefüllte Fragebögen. Es wurden zur einheitlichen Auswertung nur Kliniken in die Auswertung einbezogen, die sowohl Beckenring- wie auch Acetabulumfrakturen behandelten. Die Antwortverteilung der Fragebögen wurde nach zwei Aspekten untersucht:

1. Auswertung aufgeteilt nach der **Klinikart** Universitätsklinikum, BG-Klinikum oder Lehrkrankenhaus (119 Fragebögen)

2. Auswertung aufgeteilt nach der Art des **Traumazentrums** überregionales, regionales oder lokales Traumanzentrum (129 Fragebögen)

Für die Auswertung in Abhängigkeit von der Art des Klinikums wurden Kliniken, die keiner der Gruppen Universitätsklinikum, BG-Klinikum oder Lehrkrankenhaus angehörten, ausgeschlossen. In der Auswertung nach Art des Traumazentrums wurden Kliniken, die zum Zeitpunkt der Befragung weder auditert noch zertifiziert waren ebenfalls exkludiert. Nach Anwendung der Ausschlusskriterien blieben zur Auswertung nach Klinikart 119 Bögen und für die Auswertung nach Art des Traumazentrums 129 Bögen übrig. Das zur Auswertung verwendete Kollektiv ist **Abb. 18** zu entnehmen.

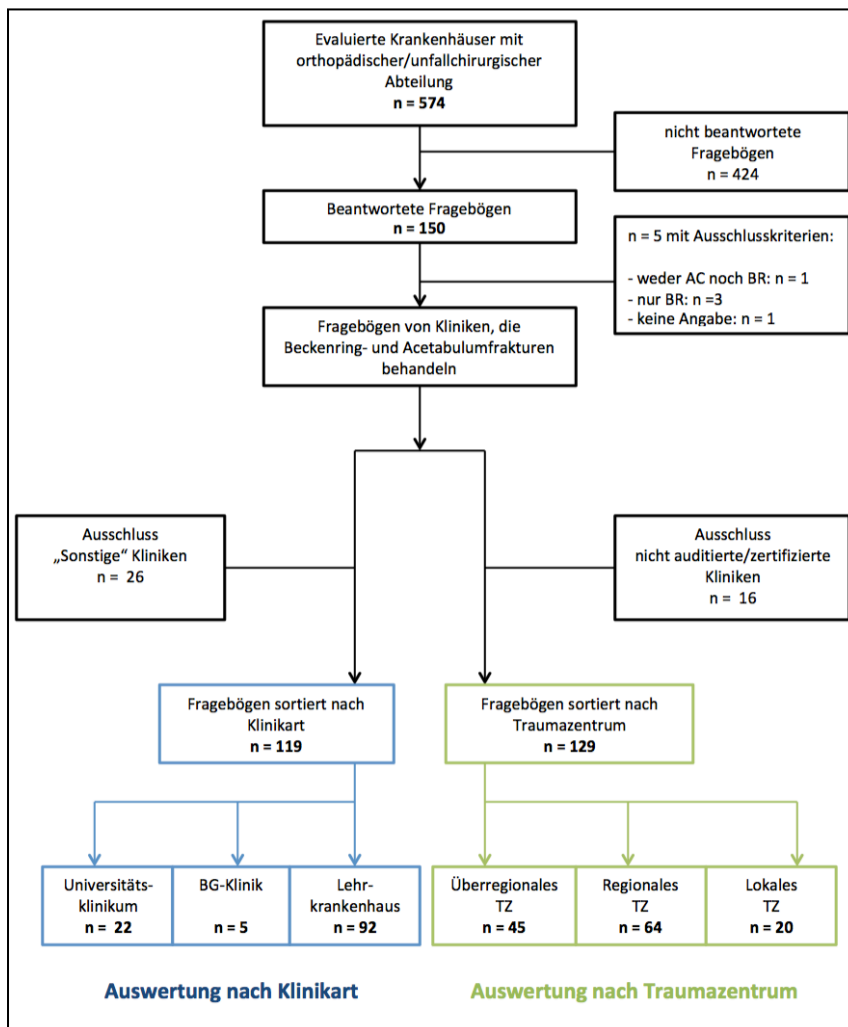


Abb. 18 Verwendetes Kollektiv zur Auswertung sortiert nach Klinikart und Traumazentrum

3.2.2 Versorgungsstruktur der Kliniken (Fragen 1 – 7)

Frage 1: Krankenhaustyp

Die Mehrheit der Fragebögen stammt mit 77 % (n = 92) von Lehrkrankenhäusern. 18 % (n = 22) der verwerteten Fragebögen stammen von Universitätskliniken und 4% (n = 5) von Berufsgenossenschaftliche Unfallkliniken (BG-Unfallkliniken). 26 Kliniken gehörten keiner der drei genannten Klinikgruppen an, sodass deren Fragebögen nicht in die Auswertung aufgenommen wurden.

Sortiert nach Art des Traumazentrums findet sich unter den rückläufigen Fragebögen folgende Verteilung: regionale Traumazentren sind mit 50 % (n = 64) mehrheitlich vertreten, überregionale Traumazentren sind mit circa einem Drittel (35 %, n = 45) vertreten und die lokalen Traumazentren bilden den kleinsten Anteil mit 15 % (n = 20.) 16 der teilnehmenden Kliniken waren zum Befragungszeitpunkt noch nicht zertifiziert bzw. auditiert und wurden daher aus der Wertung genommen.

Fragen 2 und 3: Werden an Ihrer Klinik Beckenringfrakturen behandelt? Werden an Ihrer Klinik Acetabulumfrakturen behandelt?

Es wurden nur Kliniken in die Auswertung aufgenommen, die sowohl Beckenring- wie auch Acetabulumfrakturen versorgten. Dabei gaben 4 Kliniken an keine Acetabulumfrakturen zu versorgen und eine Klinik machte dazu keine Angabe, insofern wurden diese aus der Wertung genommen. Somit wurden 22 Universitätskliniken, 5 BG-Kliniken und 92 Lehrkrankenhäuser bzw. 45 überregionale, 64 regionale und 20 lokale Traumazentren in die Auswertung aufgenommen, als Kliniken die sowohl Beckenring- wie auch Acetabulumfrakturen behandelten.

Frage 4: Wieviele Beckenringfrakturen werden an Ihrer Klinik operativ behandelt?

Der Großteil der Universitätskliniken (45 %, n = 10) behandelt jährlich 11 - 30 Beckenringfrakturen operativ. Am zweithäufigsten (27 %, n = 6) werden nach Angaben der Universitätskliniken 31-50 Patienten mit Beckenringfrakturen jährlich operiert. Bei den BG-Klinken gibt der eine Teil an (40 %, n = 2) 11 – 30 Beckenringfrakturen jährlich operativ zu behandeln, während weitere 40 % (n = 2) mehr als 51 Beckenringfrakturen im Jahr operativ versorgt. Eine weitere BG-Klinik (20 %, n = 1) behandelt durchschnittlich 31-50 Patienten mit Beckenringfrakturen im Jahr. In den

Lehrkrankenhäusern werden hingegen in knapp der Hälfte der Fälle (46 %, n = 42) weniger als 10 Patienten mit Beckenringfrakturen jährlich versorgt. (**Tab. 8**)

Tab. 8 Frage 4: Wieviele Beckenringfrakturen werden an Ihrer Klinik operativ behandelt?

	Universitätsklinikum n = 22	BG-Klinik n = 5	Lehrkrankenhaus n = 92	p-Wert
Anzahl Operationen BR				
< 10 Patienten/Jahr	0	0	42	p < 0,001
11-30 Patienten/Jahr	10	2	36	
31-50 Patienten/Jahr	6	1	10	
> 51 Patienten/Jahr	6	2	3	
Keine Angabe	0	0	1	

Betrachtet man die Verteilung der operativen Versorgung von Beckenringfrakturen nach Art des Traumazentrums so zeigt sich, dass knapp die Hälfte der überregionalen Traumazentren 11 – 30 Patienten pro Jahr operativ versorgen (49 %, n = 22). Bei den regionalen Traumazentren wurde am häufigsten angegeben, dass weniger als 10 Patienten mit einer Beckenringfraktur operativ versorgt werden (52 %, n = 33), gefolgt von 11 – 30 Patienten pro Jahr (38 %, n = 24). (**Tab. 9**)

Tab. 9 Frage 4: Wieviele Beckenringfrakturen werden an Ihrer Klinik operativ behandelt?

	überregionales Traumazentrum n= 45	regionales Traumazentrum n= 64	lokales Traumazentrum n= 20	p-Wert
Anzahl Operationen BR				
< 10 Patienten/Jahr	2	33	16	p < 0,001
11-30 Patienten/Jahr	22	24	3	
31-50 Patienten/Jahr	11	4	1	
> 51 Patienten/Jahr	10	1	0	
Keine Angabe	0	2	0	

Frage 5: *Wieviele Acetabulumfrakturen werden an Ihrer Klinik operativ behandelt?*

Eine Betrachtung der Antwortverteilung in Abhängigkeit von der Institutionsart zeigt, dass sowohl in Universitätskliniken (45 %, n = 10), als auch in BG-Unfallkliniken zum Teil 11 - 20 Acetabulumfrakturen und zum Teil mehr als 31 Patienten jährlich versorgt werden (je 40 % der BG-Kliniken, n = 2). Im Vergleich dazu werden im Großteil der Lehrkrankenhäuser (61 %, n = 56) jährlich weniger als 10 Acetabulumfrakturen operiert. (**Tab. 10**)

Tab. 10 Frage 5: Wieviele Acetabulumfrakturen werden an Ihrer Klinik operativ behandelt?

	Universitätsklinikum n = 22	BG-Klinik n = 5	Lehrkrankenhaus n = 92	p-Wert
Anzahl Operationen AC				
< 10 Patienten/Jahr	0	0	56	p < 0,001
11-20 Patienten/Jahr	10	2	33	
21-30 Patienten/Jahr	8	1	1	
> 31 Patienten/Jahr	4	2	1	
Keine Angabe	0	0	1	

In Abhängigkeit von der Art des Traumazentrums zeigt sich, dass über die Hälfte der überregionalen Traumazentren jährlich 11 – 20 Acetabulumfrakturen versorgt (53 %, n = 24), hingegen in den regionalen Traumazentren mehrheitlich (66 %, n = 42) weniger als 10 Acetabulumfrakturen jährlich operativ versorgt werden. (**Tab. 11**)

Tab. 11 Frage 5: Wieviele Acetabulumfrakturen werden an Ihrer Klinik operativ behandelt?

	überregionales Traumazentrum n= 45	regionales Traumazentrum n= 64	lokales Traumazentrum n= 20	p-Wert
Anzahl Operationen AC				
< 10 Patienten/Jahr	5	42	19	p < 0,001
11-20 Patienten/Jahr	24	21	1	
21-30 Patienten/Jahr	9	0	0	
> 31 Patienten/Jahr	7	0	0	
Keine Angabe	0	1	0	

Frage 6: *Wieviele Kollegen operieren an Ihrer Klinik Beckenring- bzw. Acetabulumfrakturen?*

An den Universitätskliniken werden am häufigsten (41 %, n = 9) 3 Kollegen für die operative Versorgung der Becken- und Acetabulumfrakturen eingesetzt. Bei den Berufsgenossenschaftlichen Unfallkliniken sind bei 40 % (n = 2) mehr als 5 Kollegen für die Versorgung von Becken- und Acetabulumfrakturen zuständig. (**Tab. 12**)

Tab. 12 Frage 6: Wieviele Kollegen operieren an Ihrer Klinik Beckenring- bzw. Acetabulumfrakturen?

	Universitätsklinikum n = 22	BG-Klinik n = 5	Lehrkrankenhaus n = 92	p-Wert
Anzahl Operateure				
1 Kollege	0	0	14	p < 0,001
2 Kollegen	2	0	34	
3 Kollegen	9	1	26	
4 Kollegen	6	1	12	
5 Kollegen	3	1	5	
> 5 Kollegen	2	2	1	

Betrachtet man die Verteilung sortiert nach Traumazentrum, so zeigt sich, dass die überregionalen Traumazentren am häufigsten 3 Kollegen für die operative Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen einsetzen (40 %, n = 18). Die regionalen Traumazentren setzen hingegen am häufigsten 2 Kollegen ein. (**Tab. 13**)

Tab. 13 Frage 6: Wieviele Kollegen operieren an Ihrer Klinik Beckenring- bzw. Acetabulumfrakturen?

	überregionales Traumazentrum n= 45	regionales Traumazentrum n= 64	lokales Traumazentrum n= 20	p-Wert
Anzahl Operateure				
1 Kollege	0	10	9	p < 0,001
2 Kollegen	7	25	8	
3 Kollegen	18	17	0	
4 Kollegen	11	6	3	
5 Kollegen	4	6	0	
> 5 Kollegen	5	0	0	

Frage 7: Welchen Ausbildungsstand haben diese Kollegen?

Bei dieser Frage waren Mehrfachnennungen möglich. Während an den Universitätskliniken am häufigsten Oberärzte für die Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen angegeben wurden, sind es in den Lehrkrankenhäusern überwiegend Chefärzte. In den BG-Kliniken wurden Oberärzte und Chefärzte gleich häufig genannt. (**Tab. 14**)

Tab. 14 Frage 7: Welchen Ausbildungsstand haben diese Kollegen?

	Universitätsklinikum	BG-Klinik	Lehrkrankenhaus	p-Wert
Ausbildungsstand*				
Chefarzt	17	5	88	p = 0,012
Oberarzt	22	5	75	
Facharzt	3	4	6	
Assistenzarzt	0	0	0	
* Mehrfachnennungen				

Sortiert nach Art des Traumazentrums zeigt sich, dass an überregionalen Traumazentren am häufigsten Oberärzte für die operative Versorgung von Becken- und Acetabulumfrakturen eingesetzt werden, wohingegen an den regionalen und lokalen Traumazentren am häufigsten Chefärzte die operative Versorgung durchführen. (**Tab. 15**)

Tab. 15 Frage 7: Welchen Ausbildungsstand haben diese Kollegen?

	überregionales Traumazentrum	regionales Traumazentrum	lokales Traumazentrum	p-Wert
Ausbildungsstand*				
Chefarzt	39	61	18	p = 0,595
Oberarzt	44	52	13	
Facharzt	8	7	0	
Assistenzarzt	0	0	0	
* Mehrfachnennungen				

3.2.3 Einsatz eines Navigationssystems (Fragen 8 – 18)

Frage 8: Steht Ihnen an Ihrer Klinik/Abteilung ein Navigationssystem zur Verfügung?

Die große Mehrheit der Universitätskliniken gab an ein Navigationsgerät zur Verfügung stehen zu haben (86 %, n = 19). Bei den BG-Unfallkliniken sind es mit 80 % (n = 4) ebenfalls die Mehrheit. Im Gegensatz dazu, gaben nur etwas mehr als die Hälfte der Lehrkrankenhäuser an ein Navigationssystem zu besitzen (52 %, n = 48). (**Tab. 16**)

Tab. 16 Frage 8: Steht Ihnen an Ihrer Klinik/Abteilung ein Navigationssystem zur Verfügung?

	Universitätsklinikum n = 22	BG-Klinik n = 5	Lehrkrankenhaus n = 92	p-Wert
Verfügbarkeit Navigation				
Ja	19	4	48	p = 0,008
Nein	3	1	44	

An 76 % (n = 34) der überregionalen Traumazentren steht den Operateuren ein Navigationssystem zur Verfügung. An den regionalen und lokalen Traumazentren ist dies hingegen nur in je 50 % der Zentren der Fall. (**Tab. 17**)

Tab. 17 Frage 8: Steht Ihnen an Ihrer Klinik/Abteilung ein Navigationssystem zur Verfügung?

	überregionales Traumazentrum n= 45	regionales Traumazentrum n= 64	lokales Traumazentrum n= 20	p-Wert
Verfügbarkeit Navigation				
Ja	34	32	10	p = 0,019
Nein	11	32	10	

Frage 9: Wenn ja, welches?

Die meisten Kliniken, darunter die Hälfte der Universitätskliniken benutzen Navigationssysteme des Herstellers „Brainlab®“ (50 %, n = 11). Die restlichen Universitätskliniken geben zu gleichen Teilen an Navigationssysteme der Firma „Medtronic®“ (9 %, n = 2) oder „Stryker®“ (9 %, n = 2) zu verwenden. **(Tab. 18)**

Tab. 18 Frage 9: Wenn ja, welches?

	Universitätsklinikum n = 22	BG-Klinik n = 5	Lehrkrankenhaus n = 92	p-Wert
Hersteller				
Brainlab	11	2	25	p = 0,13
Medtronic	2	1	5	
Stryker	2	0	2	
Brainlab und Stryker	1	1	0	
Andere	2	0	12	
Keine Angabe	4	1	48	

Die Auswertung der Frage sortiert nach der Art des Traumazentrums zeigt, dass an den überregionalen und regionalen Traumazentren zum größten Teil das Navigationssystem des Herstellers „Brainlab®“ eingesetzt wird. **(Tab. 19)**

Tab. 19 Frage 9: Wenn ja, welches?

	überregionales Traumazentrum n= 45	regionales Traumazentrum n= 64	lokales Traumazentrum n= 20	p-Wert
Hersteller				
Brainlab	20	16	3	p = 0,044
Medtronic	5	2	0	
Stryker	2	2	0	
Brainlab und Stryker	3	10	6	
Andere	2	0	0	
Keine Angabe	13	34	11	

Frage 10: Setzen Sie dieses Navigationssystem in der operativen Versorgung von Beckenringfrakturen ein?

Ein Großteil der Universitätskliniken (64 %, n = 14) gibt an, dass das zuvor angegebene Navigationssystem auch für die operative Versorgung von Beckenringfrakturen eingesetzt wird. Zwei BG-Klinken (40 %) nutzen ebenfalls das Navigationssystem bei der Versorgung von Beckenringfrakturen. Im Gegensatz dazu findet bei der Mehrheit der Lehrkrankenhäuser das oben erwähnte Navigationssystem

keine Anwendung bei der operativen Versorgung von Beckenringfrakturen (52 %, n = 48). **(Tab 20)**

Tab. 20 Frage 10: Setzen Sie dieses Navigationssystem in der operativen Versorgung von Beckenringfrakturen ein?

	Universitätsklinikum n = 22	BG-Klinik n = 5	Lehrkrankenhaus n = 92	p-Wert
Navigation BR				
Ja	14	2	12	p = 0,001
Nein	6	1	48	
Keine Angabe	2	2	32	

Betracht man die Antwortverteilung in Abhängigkeit des Traumazentrums, so nutzen etwas weniger als die Hälfte der überregionalen Traumazentren ein Navigationssystem bei der Versorgung der Beckenringfrakturen (42 %, n = 19). Über die Hälfte der regionalen Traumazentren (58 %, n = 37) hingegen verwendet für die operative Versorgung der Beckenringfrakturen kein Navigationssystem. Die lokalen Traumazentren verneinten diese Frage ebenfalls zum Großteil (30 %, n = 6), wobei die meisten lokalen Traumazentren dazu keine Angaben machten (60 %, n = 12). **(Tab. 21)**

Tab. 21 Frage 10: Setzen Sie dieses Navigationssystem in der operativen Versorgung von Beckenringfrakturen ein?

	überregionales Traumazentrum n= 45	regionales Traumazentrum n= 64	lokales Traumazentrum n= 20	p-Wert
Navigation BR				
Ja	19	6	2	p = 0,003
Nein	20	37	6	
Keine Angabe	6	21	12	

Frage 11: Setzen Sie dieses Navigationssystem in der operativen Versorgung von Acetabulumfrakturen ein?

Bei der operativen Versorgung von Acetabulumfrakturen geben mehr als die Hälfte der Universitätskliniken an das oben genannte Navigationssystem einzusetzen (50 %, n = 11). Zwei BG-Kliniken bejahten diese Frage ebenfalls, zwei BG-Kliniken enthielten sich bei dieser Frage. Bei den Lehrkrankenhäusern sind es weniger als 7 % (n = 6). **(Tab. 22)**

Tab. 22 Frage 11: Setzen Sie dieses Navigationssystem in der operativen Versorgung von Acetabulumfrakturen ein?

	Universitätsklinikum n = 22	BG-Klinik n = 5	Lehrkrankenhaus n = 92	p-Wert
Navigation AC				
Ja	11	2	6	p = 0,001
Nein	9	1	54	
Keine Angabe	2	2	32	

Betrachtet man die Antwortverteilung bezüglich der Art des Traumazentrums, so geben mit 33 % (n = 15) weniger als die Hälfte der überregionalen Traumazentren an, das oben genannte Navigationssystem für die Versorgung von Acetabulumfrakturen einzusetzen. In den regionalen Traumazentren kommt das Navigationssystem bei noch weniger Kliniken zum Einsatz (5 %, n = 3). Die lokalen Traumazentren gaben ausnahmslos alle an kein Navigationssystem bei der operativen Versorgung von Acetabulumfrakturen einzusetzen, wobei die meisten sich enthielten. (**Tab. 23**)

Tab. 23 Frage 11: Setzen Sie dieses Navigationssystem in der operativen Versorgung von Acetabulumfrakturen ein?

	überregionales Traumazentrum n= 45	regionales Traumazentrum n= 64	lokales Traumazentrum n= 20	p-Wert
Navigation AC				
Ja	15	3	0	p = 0,001
Nein	24	40	8	
Keine Angabe	6	21	12	

Frage 12: Wieviele Patienten mit Beckenringfrakturen versorgen Sie mit Navigation?

Am häufigsten wurde von den Universitätskliniken angekreuzt, dass jährlich 11-15 Patienten mit Beckenringfrakturen pro Jahr mit Hilfe eines Navigationssystems operativ versorgt werden (23 %, n = 5). Bei den BG-Kliniken wird von einer BG-Klinik eine navigierte Versorgung von weniger als 5 Patienten jährlich angeben, während die andere BG-Klinik zwischen 11 - 15 Patienten mit Beckenringfrakturen navigiert versorgt. 3 BG-Kliniken machten dazu keine Angabe. Bei den Lehrkrankenhäusern wurde am häufigsten 6 – 10 Patienten jährlich angeben (7 %, n = 6). Die Mehrzahl der Lehrkrankenhäuser machten zu dieser Frage keine Angaben (88 %, n = 81). (**Tab. 24**)

Tab. 24 Frage 12: Wieviele Patienten mit Beckenringfrakturen versorgen Sie mit Navigation?

	Universitätsklinikum n = 22	BG-Klinik n = 5	Lehrkrankenhaus n = 92	p-Wert
Anzahl Navi BR				
< 5 Patienten/Jahr	3	1	2	p = 0,507
6-10 Patienten/Jahr	2	0	6	
11-15 Patienten/Jahr	5	1	1	
16-20 Patienten/Jahr	1	0	0	
> 21 Patienten/Jahr	3	0	2	
Keine Angabe	8	3	81	

Betrachtet man die Antwortverteilung nach Art des Traumazentrums, so wurde von den überregionalen Traumazentren am häufigsten die Versorgung von 11 - 15 Patienten im Jahr angegeben (13 %, n = 6). Bei den regionalen Traumazentren gab es viele Enthaltungen. Die beteiligten regionalen Traumazentren gaben größtenteils an 6 – 10 Patienten mit Beckenringfrakturen mit Hilfe eines Navigationssystems zu operieren (5 %, n = 3), wobei sich die meisten enthielten. (**Tab. 25**)

Tab. 25 Frage 12: Wieviele Patienten mit Beckenringfrakturen versorgen Sie mit Navigation?

	überregionales Traumazentrum n= 45	regionales Traumazentrum n= 64	lokales Traumazentrum n= 20	p-Wert
Anzahl Navi BR				
< 5 Patienten/Jahr	5	1	0	p = 0,673
6-10 Patienten/Jahr	3	3	2	
11-15 Patienten/Jahr	6	0	0	
16-20 Patienten/Jahr	1	0	0	
> 21 Patienten/Jahr	4	1	0	
Keine Angabe	26	59	18	

Frage 13: *Wieviele Patienten mit Acetabulumfrakturen versorgen Sie mit Navigation?*

Je 18 % (n = 4) der Universitätskliniken gaben an jährlich weniger als 5 Patienten mit Acetabulumfrakturen bzw. 6 – 10 Patienten mit Acetabulumfrakturen navigiert zu versorgen. Eine der beiden BG-Kliniken gab an pro Jahr bei weniger als fünf Patienten eine navigierte Versorgung anzuwenden, während die andere BG-Klinik angibt 6 – 10 Patienten pro Jahr navigiert zu operieren. Nur wenige Lehrkrankenhäuser machten Angaben zu dieser Frage (Enthaltung 93 %, n = 86). Die meisten kreuzten jedoch 6 – 10 Acetabulumfrakturen im Jahr (4 %, n = 4) an. (**Tab. 26**)

Tab. 26 Frage 13: Wieviele Patienten mit Acetabulumfrakturen versorgen Sie mit Navigation?

	Universitätsklinikum n = 22	BG-Klinik n = 5	Lehrkrankenhaus n = 92	p-Wert
Anzahl Navi AC				
< 5 Patienten/Jahr	4	1	2	p = 0,850
6-10 Patienten/Jahr	4	0	4	
11-15 Patienten/Jahr	3	1	0	
16-20 Patienten/Jahr	0	0	0	
> 21 Patienten/Jahr	0	0	0	
Keine Angabe	11	3	86	

Betrachtet man die Antwortverteilung nach Art des Traumazentrums, so gaben die meisten überregionalen Traumazentren eine navigierte Versorgung von weniger als 5 Patienten pro Jahr an (13 %, n = 6). Einzelne regionale Traumazentren gaben an maximal 6 - 10 Acetabulumfrakturen im Jahr navigiert zu versorgen, jedoch machte der Großteil der regionalen Traumazentren keine Angabe. Bei den lokalen Traumazentren machte keiner eine Angabe zu dieser Frage. (**Tab. 27**)

Tab. 27 Frage 13: Wieviele Patienten mit Acetabulumfrakturen versorgen Sie mit Navigation?

	überregionales Traumazentrum n= 45	regionales Traumazentrum n= 64	lokales Traumazentrum n= 20	p-Wert
Anzahl Navi AC				
< 5 Patienten/Jahr	6	1	0	p = 0,751
6-10 Patienten/Jahr	5	2	0	
11-15 Patienten/Jahr	4	0	0	
16-20 Patienten/Jahr	0	0	0	
> 21 Patienten/Jahr	0	0	0	
Keine Angabe	30	61	20	

Frage 14: *Wieviele Operateure setzen die Navigation für die Versorgung von Beckenring- bzw. Acetabulumfrakturen ein?*

Die Universitätskliniken gaben am häufigsten 2 Operateure und 3 Operateure an, die an ihrer Klinik Navigationssysteme für die Versorgung von Beckenring- bzw. Acetabulumfrakturen einsetzen (je 27 %, n = 6). Bei den BG-Kliniken nannte eine Klinik 3 Kollegen und die andere 4 Kollegen, die Navigationssysteme einsetzen. Drei BG-Kliniken machten dazu keine Angaben. Die Lehrkrankenhäuser gaben zu gleichen Teilen 1 Kollege und 2 Kollegen an (5 %, n = 5). Die Mehrheit der Lehrkrankenhäuser enthielt sich bei dieser Frage (87 %, n = 80). (**Tab. 28**)

Tab. 28 Frage 14: Wieviele Operateure setzen die Navigation für die Versorgung von Beckenring- bzw. Acetabulumfrakturen ein?

	Universitätsklinikum n = 22	BG-Klinik n = 5	Lehrkrankenhaus n = 92	p-Wert
Operateure Navigation				
1 Kollege	1	0	5	p = 0,015
2 Kollegen	6	0	5	
3 Kollegen	6	1	2	
4 Kollegen	1	1	0	
5 Kollegen	0	0	0	
> 5 Kollegen	0	0	0	
Keine Angabe	8	3	80	

Betrachtet man sich die Antworten sortiert nach Art der Traumazentrums, so zeigt sich, dass bei den überregionalen Traumazentren zum Großteil 3 Kollegen Navigationssysteme zur operativen Versorgung von Beckenring- bzw. Acetabulumfrakturen eingesetzt werden (18 %, n = 8). Die regionalen Traumazentren gaben je zu gleichen Anteilen 1 Kollege bzw. 2 Kollegen an (5 %, n = 3), wobei die Mehrheit der regionalen Traumazentren keine Angabe dazu machte (91 %, n = 58). Auch bei den lokalen Traumazentren wurde 1 Kollege und 2 Kollegen zu gleichen Teilen genannt, wobei auch hier die meisten lokalen Traumazentren keine Angaben dazu machten (90 %, n = 18). (**Tab. 29**)

Tab. 29 Frage 14: Wieviele Operateure setzen die Navigation für die Versorgung von Beckenring- bzw. Acetabulumfrakturen ein?

	überregionales Traumazentrum n= 45	regionales Traumazentrum n= 64	lokales Traumazentrum n= 20	p-Wert
Operateure Navigation				
1 Kollege	2	3	1	p = 0,020
2 Kollegen	7	3	1	
3 Kollegen	8	0	0	
4 Kollegen	2	0	0	
5 Kollegen	0	0	0	
> 5 Kollegen	0	0	0	
Keine Angabe	26	58	18	

Frage 15: Welchen Ausbildungsstand haben diese Kollegen?

Hier präsentiert sich eine ähnliche Verteilung wie bei Frage 7. Mehrfachnennung waren auch bei dieser Frage möglich. Während an den Universitätskliniken überwiegend Oberärzte für die navigierte Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen eingesetzt werden sind in den Lehrkrankenhäusern vor allem die Chefärzte im Einsatz.

Von den BG-Kliniken wurden Chefärzte und Oberärzte gleich häufig genannt. (**Tab. 30**)

Tab. 30 Frage 15: Welchen Ausbildungsstand haben diese Kollegen?

	Universitätsklinikum	BG-Klinik	Lehrkrankenhaus	p-Wert
Ausbildungsstand*				
Chefarzt	8	2	11	p = 0,572
Oberarzt	14	2	9	
Facharzt	3	1	0	
Assistenzarzt	0	0	0	
* Mehrfachnennungen				

Sortiert nach Art des Traumazentrums, zeigt sich, dass an den überregionalen und lokalen Traumazentren überwiegend Oberärzte für die Navigation eingesetzt werden. An den regionalen Traumazentren sind es hingegen primär Chefärzte, die an der Durchführung der Navigation beteiligt sind. An den lokalen Traumazentren wurden Oberärzte häufiger als Chefärzte genannt. (**Tab. 31**)

Tab. 31 Frage 15: Welchen Ausbildungsstand haben diese Kollegen?

	überregionales Traumazentrum	regionales Traumazentrum	lokales Traumazentrum	p-Wert
Ausbildungsstand*				
Chefarzt	13	6	1	p = 0,714
Oberarzt	19	3	2	
Facharzt	4	0	0	
Assistenzarzt	0	0	0	
* Mehrfachnennungen				

Frage 16: Welche Bildgebung verwenden Sie für die navigierte Versorgung der Beckenringfraktur?

Bei allen Klinikarten wurde am häufigsten die 3D-Navigation als Bildgebung für die Navigation genannt. Darunter gaben die Universitätskliniken am häufigsten die 3D-Navigation an (32 %, n = 7) und am zweithäufigsten die Kombination aus 2D- und 3D-Navigation (14 %, n = 3). Die BG-Kliniken nannten nur die 3D-Navigation, wobei 3 Kliniken nicht an der Frage teilnahmen. Bei den Lehrkrankenhäusern waren es 8 % (n = 7), die 3D-Navigation angaben. Die CT-gestützte Navigation wurde insgesamt am seltensten genannt. (**Tab. 32**)

Tab. 32 Frage 16: Welche Bildgebung verwenden Sie für die navigierte Versorgung der Beckenringfraktur?

	Universitätsklinikum n = 22	BG-Klinik n = 5	Lehrkrankenhaus n = 92	p-Wert
Bildgebungsart BR				
2D	3	0	3	p = 0.673
3D	7	2	7	
CT	1	0	1	
2D und 3D	3	0	0	
3D und CT	0	0	1	
Keine Angabe	8	3	80	

Auch bei der Betrachtung der Antwortverteilung nach Art des Traumazentrums fällt auf, dass die 3D-Navigation als Navigationsart am häufigsten genannt wurde (24 % der überregionalen und 6 % der regionalen Traumazentren). Am zweithäufigsten wurde die 2D-Navigation genannt (9 % der überregionalen und 3 % der regionalen Traumazentren). (**Tab. 33**)

Tab. 33 Frage 16: Welche Bildgebung verwenden Sie für die navigierte Versorgung der Beckenringfraktur?

	überregionales Traumazentrum n= 45	regionales Traumazentrum n= 64	lokales Traumazentrum n= 20	p-Wert
Bildgebungsart BR				
2D	4	2	0	p = 0,082
3D	11	4	0	
CT	1	0	1	
2D und 3D	3	0	0	
3D und CT	0	0	1	
Keine Angabe	26	58	18	

Frage 17: Welche Bildgebung verwenden Sie für die navigierte Versorgung der Acetabulumfraktur?

Wie bei der Versorgung der Beckenringfrakturen, wird auch bei der navigierten Versorgung der Acetabulumfrakturen eine Tendenz hin zur 3D-Navigation deutlich. Die meisten Kliniken nutzen die 3D-Navigation. Darunter fallen 36 % der Universitätskliniken, alle BG-Kliniken und 5 % der Lehrkrankenhäuser. Die CT-gestützte Navigation findet hingegen bei keiner Klinik Anwendung bei der Versorgung von Acetabulumfrakturen. Die meisten Kliniken machten zu dieser Frage keine Angaben. (**Tab. 34**)

Tab. 34 Frage 17: Welche Bildgebung verwenden Sie für die navigierte Versorgung der Acetabulumfraktur?

	Universitätsklinikum n = 22	BG-Klinik n = 5	Lehrkrankenhaus n = 92	p-Wert
Bildgebungsart AC				
2D	0	0	0	p = 0,999
3D	8	2	5	
CT	0	0	0	
2D und 3D	3	0	1	
3D und CT	0	0	0	
Keine Angabe	11	3	86	

Die Betrachtung der Antwortverteilung nach Art der Traumazentrums zeigt ebenfalls eine klare Verteilung zugunsten der 3D-Navigation. Bei 24 % der überregionalen Traumazentren und 5 % der regionalen Traumazentren wird die 3D-Navigation verwendet. 4 überregionale Traumazentren verwenden sowohl die 2D-Navigation wie auch die 3D-Navigation (9 %). Die übrigen Kliniken machten dazu keine Angaben. (**Tab. 35**)

Tab. 35 Frage 17: Welche Bildgebung verwenden Sie für die navigierte Versorgung der Acetabulumfraktur?

	überregionales Traumazentrum n= 45	regionales Traumazentrum n= 64	lokales Traumazentrum n= 20	p-Wert
Bildgebungsart AC				
2D	0	0	0	p = 0,998
3D	11	3	0	
CT	0	0	0	
2D und 3D	4	0	0	
3D und CT	0	0	0	
Keine Angabe	30	61	20	

Frage 18: Welcher 3D-Bildwandler steht Ihnen zur Verfügung, wenn Sie die 3D-Fluoroskopie anwenden?

Den meisten Kliniken steht ein 3D-Bildwandler der Firma Siemens zur Verfügung. Darunter befinden sich 45 % der Universitätskliniken, 40 % der BG-Kliniken und 10 % der Lehrkrankenhäuser bzw. 33 % der überregionalen Traumazentren und 8 % der regionalen Traumazentren. Die meisten Kliniken machten jedoch keine Angabe zu dieser Frage, dabei größtenteils die Lehrkrankenhäuser mit 87 %. (**Tab. 36, Tab. 37**)

Tab. 36 Frage 18: Welcher 3D-Bildwandler steht Ihnen zur Verfügung, wenn Sie die 3D-Fluoroskopie anwenden?

	Universitätsklinikum n = 22	BG-Klinik n = 5	Lehrkrankenhaus n = 92	p-Wert
Bildwandler 3D				
Ziem	3	0	3	p = 0,996
Siemens	10	2	9	
O-Arm	0	0	0	
Andere	0	0	0	
Keine Angabe	9	3	80	

Tab. 37 Frage 18: Welcher 3D-Bildwandler steht Ihnen zur Verfügung, wenn Sie die 3D-Fluoroskopie anwenden?

	überregionales Traumazentrum n= 45	regionales Traumazentrum n= 64	lokales Traumazentrum n= 20	p-Wert
Bildwandler 3D				
Ziem	4	1	1	p = 0,742
Siemens	15	5	0	
O-Arm	0	0	0	
Andere	0	0	0	
Keine Angabe	26	58	19	

3.2.4 Durchführung der Schraubenplatzierung (Fragen 19 – 23)

Frage 19: Welche Schraubenkorridore nutzen Sie für die Stabilisierung von Beckenringverletzungen?

Von den meisten Universitätskliniken werden zur Stabilisierung der Beckenringverletzungen die Schraubenkorridore S1 und S2 in Kombination genutzt (45 %, n =10). Auch drei BG-Kliniken geben an die Schraubenkorridore S1 und S2 zu nutzen, zwei BG-Kliniken machten dazu keine Angabe. Bei den Lehrkrankenhäusern hingegen bevorzugt die eine Hälfte (n = 6) die Nutzung des Schraubenkorridors S1, während die andere Hälfte (n = 6) die Kombination von S1 und S2 wählt. Es gab viele Enthaltungen, mehrheitlich von den Lehrkrankenhäusern. (**Tab. 38**)

Betrachtet man die Antwortverteilung nach Art des Traumazentrums, so zeigt sich auch überwiegend an den überregionalen Traumazentren der kombinierte Gebrauch der Korridore S1 und S2 (29 %, n = 13), während die regionalen Traumazentren bevorzugt allein den Schraubenkorridor S1 wählen (6 %, n = 4). Die lokalen Traumazentren gaben alle die Nutzung beider Korridore S1 und S2 an. (**Tab. 39**)

Frage 20: *Setzen Sie die Navigation bei der Versorgung von Acetabulumfrakturen ein für die perkutane Schraubenplatzierung, Platzierung kritischer gelenknaher Schrauben beim offenen Vorgehen oder bei beidem?*

Knapp 30 % der Universitätskliniken nannten sowohl die perkutane wie auch die offene gelenknahe Schraubenplatzierung als Indikation für den Einsatz der Navigation bei der Versorgung von Acetabulumfrakturen (n = 6). Zwei BG-Klinken betrachten ebenfalls sowohl die perkutane Schraubenplatzierung wie auch die gelenknahe Platzierung von Schrauben als Indikation für die Navigation. Die anderen drei BG-Kliniken machten dazu keine Angabe. Die Lehrkrankenhäuser erachteten am häufigsten die perkutane Schraubenplatzierung als Indikation für die navigierte Verschraubung (4 %, n = 4). Die meisten Lehrkrankenhäuser machten zu dieser Frage jedoch keine Angabe. (**Tab. 38**)

Betrachtet man die Antwortverteilung sortiert nach der Art des Traumazentrums, so zeigt sich, dass die überregionalen Traumazentren am häufigsten die Navigation für die perkutane und offene gelenknahe Schraubeneinbringung verwenden (18 %, n = 8). Die regionalen Traumazentren gaben am häufigsten die perkutane Verschraubung an (3 %, n = 3). Keines der lokalen Traumazentren machte eine Angabe zu dieser Frage. Insgesamt enthielten sich die meisten Kliniken bei dieser Frage (86 %). (**Tab. 39**)

Frage 21: *Welche Schraubenkorridore nutzen Sie für die Stabilisierung von Acetabulumfrakturen (siehe Abbildung)?*

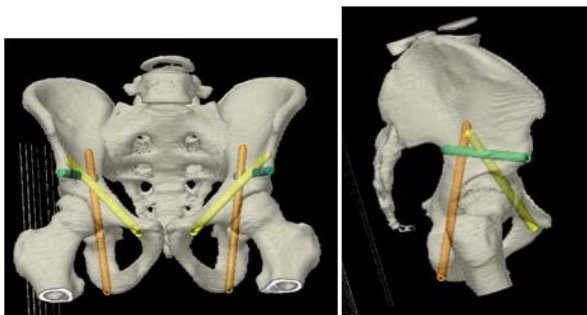


Abb. 19: supraacetabuläre Iliumschraube (*grün*), vordere Pfeilerschraube (*gelb*), hintere Pfeilerschraube (*orange*).

Die Mehrheit aller Kliniken verwenden alle drei Schraubenkorridore (vordere, hintere und supraacetabuläre Pfeilerschraube) zur Stabilisierung von Acetabulumfrakturen. Darunter fallen 27 % (n = 6) der Universitätskliniken, zwei BG-Kliniken und 3 % der Lehrkrankenhäuser bzw. 20 % der überregionalen Traumazentren und 3 % der regionalen Traumazentren. Am seltensten wurde die Kombination aus vorderer und

hinterer Pfeilerschraube angekreuzt. (**Tab. 38, Tab. 39**)

Frage 22: *Wie positionieren Sie die vordere Pfeilerschraube dabei?*

Die Antworten dieser Frage verteilen sich recht gleichmäßig innerhalb der verschiedenen Institutionstypen. Die Universitätskliniken wählten am häufigsten die Kombination aus antegrader und retrograder Platzierung (18 %, n = 4). Bei den BG-Kliniken gaben eine Klinik die antegrade Positionierung, die andere BG-Klinik die retrograde Positionierung an. Die Lehrkrankenhäuser entschieden auch am häufigsten für die Kombination aus antegrader und retrograder Platzierung (3 %, n = 3). 86 % der Kliniken beantworteten diese Frage nicht. (**Tab. 38**)

Betrachtet man die Antwortverteilung sortiert nach Art des Traumazentrums, so wurde bei den überregionalen Traumazentren die Kombination aus ante- und retrograder Schraubenplatzierung am häufigsten angegeben (11 %, n = 5). Die regionalen Traumazentren wählten ebenfalls am häufigsten die kombinierte ante- und retrograde Platzierung. Die lokalen Traumazentren machten dazu keine Angabe. Insgesamt enthielten sich 88 % der Traumazentren bei dieser Frage. (**Tab. 39**)

Frage 23: *Wie positionieren Sie die hintere Pfeilerschraube dabei?*

Die Universitätskliniken bzw. die überregionalen Traumazentren wählten überwiegend die antegrade Positionierung der hinteren Pfeilerschraube (27 %, n = 6 bzw. 16 %, n = 7). Die BG-Kliniken bzw. regionalen Traumazentren wählten je zu gleichen Teilen die antegrade und die retrograde Platzierung aus (20 %, n = 1 bzw. 2 %, n = 1). Bei den Lehrkrankenhäusern wurde die antegrade Positionierung der hinteren Pfeilerschraube am häufigsten gewählt, allerdings nahmen die meisten Kliniken an dieser Frage nicht teil. (**Tab. 38, Tab. 39**)

Tab. 38 Durchführung der Schraubenplatzierung (Fragen 19 – 23) sortiert nach Klinikart

Fragen	Universitäts klinikum n = 22	BG-Klinik n = 5	Lehrkrankenhäuser n = 92	p-Werte
19 Schraubenkorridore BR				
S1	4	3	6	p = 0,256
S2	0	0	0	
S1 und S2	10	0	6	
Keine Angabe	8	2	80	

Ergebnisse

20 Anwendung Navi AC				
Perkutan	5	0	4	p = 0,607
Gelenknah	0	0	0	
Beides	6	2	2	
Keine Angabe	11	3	86	
21 Schraubenkorridore AC				
Vorderer Pfeiler (VP)	0	0	0	p = 0,991
Hinterer Pfeiler (HP)	0	0	0	
Supraacetabulär (SA)	1	0	1	
VP und SA	3	0	2	
VP, SA und HP	6	2	3	
VP und HP	1	0	0	
Keine Angabe	11	3	86	
22 Position VP-Schraube				
Antegrad	3	1	1	p = 0,716
Retrograd	2	1	2	
Beides	4	0	3	
Keine Angabe	13	3	86	
23 Position HP-Schraube				
Antegrad	6	1	2	p = 0,746
Retrograd	1	1	1	
Beides	2	0	1	
Keine Angabe	13	3	88	

Tab. 39 Durchführung der Schraubenplatzierung (Fragen 19 – 23) sortiert nach Art des Traumazentrums

Fragen	überregionales Traumazentrum	regionales Traumazentrum	lokales Traumazentrum	p-Werte
	45	m 64	20	
19 Schraubenkorridore BR				
S1	6	4	0	p = 0,451
S2	0	0	0	
S1 und S2	13	2	2	
Keine Angabe	26	58	18	
20 Anwendung Navi AC				
Perkutan	7	2	0	p = 0,982
Gelenknah	0	0	0	
Beides	8	1	0	
Keine Angabe	30	61	20	
21 Schraubenkorridore AC				
Vorderer Pfeiler (VP)	0	0	0	p = 0,999
Hinterer Pfeiler (HP)	0	0	0	
Supraacetabulär (SA)	1	0	0	
VP und SA	4	1	0	
VP, SA und HP	9	2	0	
VP und HP	1	0	0	
Keine Angabe	30	61	20	

22 Position VP-Schraube				
Antegrad	4	0	0	p = 0,849
Retrograd	4	1	0	
Beides	5	2	0	
Keine Angabe	32	61	20	
23 Position HP-Schraube				
Antegrad	7	1	0	p = 0,842
Retrograd	2	1	0	
Beides	3	0	0	
Keine Angabe	33	62	20	

3.2.5 Schwierigkeiten und Limitationen der Navigation (Fragen 24 – 25)

Frage 24: *Mussten Sie das navigierte Verfahren schon einmal aufgrund technischer Schwierigkeiten (Systemabsturz usw.) abbrechen?*

Der Großteil der Kliniken musste schon einmal aufgrund technischer Schwierigkeiten das navigierte Verfahren abbrechen. Unter den Universitätskliniken sind es 55 % (n = 12), unter den BG-Kliniken sind es 40 % (n = 2) und bei den Lehrkrankenhäusern sind es 7 % (n = 8). 76 % der Kliniken machten keine Angabe zu dieser Frage. (**Tab. 40**)

Die Verteilung der Antworten nach Art des Traumazentrums zeigt, dass 36 % (n = 16) der überregionalen Traumazentren, 6 % (n = 4) der regionalen Traumazentren und 5 % (n = 1) der lokalen Traumazentren aufgrund technischer Probleme bereits einmal die Navigation abbrechen mussten. 78 % der Traumazentren machten keine Angabe zu dieser Frage. (**Tab. 41**)

Frage 25: *Mussten Sie das navigierte Verfahren schon einmal aufgrund unzureichender Abbildungsqualität abbrechen?*

Die Mehrheit der Kliniken kreuzte an, dass aufgrund einer unzureichenden Bildqualität das navigierte Verfahren bereits einmal vorzeitig abgebrochen werden musste. Dies gaben 36 % (n = 8) der Universitätskliniken, 40 % der BG-Kliniken (n = 2) und 7 % der Lehrkrankenhäuser (n = 8). 76 % der Kliniken machten keine Angaben. (**Tab. 40**) Unter den Traumazentren sind es 29 % der überregionalen Traumazentren (n = 13), die bereits einen Abbruch der Navigation aufgrund unzureichender Bildqualität erlebt hatten. 5 % der regionalen (n = 3) und 5 % der lokalen Traumazentren (n = 1) gaben dies an. 79 % der Kliniken machten dazu keine Angabe. (**Tab. 41**)

Tab. 40 Schwierigkeiten und Limitationen der Navigation (Fragen 24 – 25) sortiert nach Klinikart

Fragen	Universitätsklinikum n = 22	BG-Klinik n = 5	Lehrkrankenhäuser n = 92	p-Werte
24 technische Schwierigk.				
Ja	12	2	8	p = 0,242
Nein	2	0	5	
Keine Angabe	8	3	79	
25 unzurei. Abbildungsquali.				
Ja	8	2	8	p = 0,55
Nein	5	0	5	
Keine Angabe	9	3	79	

Tab. 41 Schwierigkeiten und Limitationen der Navigation (Fragen 24 – 25) sortiert nach Art des Traumazentrums

Fragen	überregionales Traumazentrum 45	regionales Traumazentrum 64	lokales Traumazentrum 20	p-Werte
24 technische Schwierigk.				
Ja	16	4	1	p = 0,561
Nein	4	2	1	
Keine Angabe	25	58	18	
25 unzurei. Abbildungsquali.				
Ja	13	3	1	p = 0,664
Nein	6	3	1	
Keine Angabe	26	58	18	

3.2.6 Durchführung der Schraubenlagekontrolle (Fragen 26 – 29)

Frage 26: Führen Sie bei jeder navigierten Versorgung einer Beckenringverletzung einen intraoperativen 3D-Scan zur Kontrolle der Frakturposition und Lagekontrolle der eingebrachten Schrauben durch?

Die Mehrheit der Universitätskliniken gab an keinen intraoperativen 3D-Scan zur Kontrolle durchzuführen (36 %, n = 8). Bei den Lehrkrankenhäusern wurde zu gleichen Teilen „Ja“ und „Nein“ angekreuzt (je 7 %, n = 6), die meisten Lehrkrankenhäuser machten jedoch keine Angabe zu dieser Frage (87 %, n = 80). Zwei BG-Kliniken gaben an die Frakturposition und Lage der Schrauben mit Hilfe eines 3D-Scans zu kontrollieren, während die anderen 3 BG-Kliniken keine Angabe dazu machten. (**Tab. 42**)

Die Häufigkeitsverteilung nach Art des Traumazentrums zeigt, dass die überregionalen Traumazentren mit geringfügiger Mehrheit angaben keinen intraoperativen 3D-Scan zur

Lagekontrolle anzuwenden (22 %, n = 10). Bei den regionalen Traumazentren gaben mit 6 % eine geringe Mehrheit an einen intraoperativen 3D-Scan durchzuführen, jedoch enthielten sich 91 % der regionalen Traumazentren. (**Tab. 43**)

***Frage 27:** Führen Sie bei jeder navigierten Versorgung einer Acetabulumfraktur einen intraoperativen 3D-Scan zur Kontrolle der Frakturposition und Lagekontrolle der eingebrachten Schrauben durch?*

Die Häufigkeitsverteilung bezüglich Nutzung des intraoperativen 3D-Scans bei der operativen Versorgung von Acetabulumfrakturen offenbart eine etwas eindeutigere Tendenz als bei dessen Nutzung bei Beckenringfrakturen. Die meisten Kliniken bejahten die Durchführung einer intraoperativen 3D-Scans zur Kontrolle der Frakturposition und Lagekontrolle der eingebrachten Schrauben. Darunter fielen 27 % der Universitätskliniken (n = 6), 40 % der BG-Klinken (n = 2) und 5 % der Lehrkrankenhäuser (n = 5). 84 % der Kliniken machten keine Angabe zu dieser Frage. (**Tab. 42**)

Bei der Betrachtung der Häufigkeitsverteilung bezüglich der Art des Traumazentrums zeichnet sich ebenfalls eine Tendenz ab. 20 % der überregionalen und 5 % der regionalen Traumazentren machen bei der operativen Versorgung von Acetabulumfrakturen von dem intraoperativen 3D-Scan Gebrauch. Insgesamt machten 86 % der Traumazentren keine Angabe zu dieser Frage. (**Tab. 43**)

***Frage 28:** Führen Sie bei jeder navigierten Versorgung einer Beckenringverletzung eine postoperative CT-Untersuchung zur Kontrolle der Frakturposition und Lagekontrolle der eingebrachten Schrauben durch?*

Diese Frage wurde von 36 % der Universitätskliniken (n = 8) und 12 % der Lehrkrankenhäuser (n = 11) mit „Ja“ beantwortet. Zwei BG-Kliniken beteiligten sich an der Frage und beantworteten zum einen mit „Ja“ und zum anderen mit „Nein“. 77 % der Kliniken machten keine Angabe dazu. (**Tab. 42**)

Betrachtet man die Antwortverteilung nach Art des Traumazentrums, so sieht man auch hier eine Tendenz hin zur postoperativen CT-Untersuchung. Es gaben 27 % (n = 12) der überregionalen Traumazentren, 8 % (n = 5) der regionalen Traumazentren und zwei lokale Traumazentren an eine postoperative CT-Kontrolle durchzuführen. 80 % der Traumazentren machten dazu keine Angabe. (**Tab. 43**)

Frage 29: Führen Sie bei jeder navigierten Versorgung einer Acetabulumfraktur eine postoperative CT-Untersuchung zur Kontrolle der Frakturreposition und Lagekontrolle der eingebrachten Schrauben durch?

Wie bereits bei Frage 28 erkennt man auch hier eine Tendenz hin zur postoperativen CT-Untersuchung. 36 % der Universitätskliniken (n = 8), 20 % der BG-Kliniken und 4 % der Lehrkrankenhäuser führen eine postoperative CT-Kontrolle zur Kontrolle der Frakturreposition und zur Lagekontrolle durch. 83 % der Kliniken machten dazu keine Angabe. (**Tab. 42**).

Betrachtet man die Verteilung sortiert nach Art des Traumazentrums, so gaben 22 % der überregionalen Traumazentren (n = 10) und 3 % der regionalen Traumazentren (n = 2) an, dass sie eine postoperative CT-Kontrolle anwenden. Die lokalen Traumazentren machten dazu keine Angabe. Insgesamt enthielten sich 85 % der Traumazentren bei dieser Frage. (**Tab. 43**)

Tab. 42 Durchführung der intra- und postoperativen Lagekontrolle (Fragen 26 – 29) sortiert nach Klinikart

Fragen	Universitätsklinik um n = 22	BG-Klinik n = 5	Lehrkrankenhäuser n = 92	p-Werte
26 3D-Scan zur Kontrolle BR				
Ja	6	2	6	p = 0,319
Nein	8	0	6	
Keine Angabe	8	3	80	
27 3D-Scan zur Kontrolle AC				
Ja	6	2	5	p = 0,284
Nein	5	0	1	
Keine Angabe	11	3	86	
28 CT postop. zur Kontrolle BR				
Ja	8	1	11	p = 0,165
Nein	5	1	1	
Keine Angabe	9	3	80	
29 CT postop. zur Kontrolle AC				
Ja	8	1	4	p = 0,713
Nein	3	1	3	
Keine Angabe	11	3	85	

Tab. 43 Durchführung der intra- und postoperativen Lagekontrolle (Fragen 26 – 29) sortiert nach Art des Traumazentrums

Fragen	überregionales Traumazentrum 45	regionales Traumazentrum 64	lokales Traumazentrum 20	p-Werte
26 3D-Scan zur Kontrolle BR				
Ja	9	4	0	p = 0,261
Nein	10	2	2	
Keine Angabe	26	58	18	
27 3D-Scan zur Kontrolle AC				
Ja	9	3	0	p = 0,407
Nein	6	0	0	
Keine Angabe	30	61	20	
28 CT postop. zur Kontrolle BR				
Ja	12	5	2	p = 0,488
Nein	6	1	0	
Keine Angabe	27	58	18	
29 CT postop. zur Kontrolle AC				
Ja	10	2	0	p = 0,991
Nein	6	1	0	
Keine Angabe	29	61	20	

3.2.7 Bewertung der Navigation (Fragen 30 – 32)

Frage 30: *Sehen Sie Vorteile in der Navigation bei der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen?*

Die Frage ob Vorteile in der Navigation bei der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen gesehen werden, beantworteten die meisten Kliniken mit „Ja“. Darunter befanden sich 68 % der Universitätskliniken (n = 15), 60 % der BG-Kliniken und 33 % der Lehrkrankenhäuser. 48 % der Kliniken machten dazu keine Angabe. **(Tab. 44)**

Die Antwortverteilung nach Art des Traumazentrums zeigt, dass 51 % (n = 23) der überregionalen, 23 % (n = 15) regionalen und 25 % (n = 5) der lokalen Traumazentren Vorteile in der Navigation bei der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen sehen. 48 % der Traumazentren machten dazu keine Angabe. **(Tab. 45)**

Ergebnisse

Tab. 44 Frage 30: Sehen Sie Vorteile in der Navigation bei der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen?

	Universitätsklinikum n = 22	BG-Klinik n = 5	Lehrkrankenhaus n = 92	p-Wert
Vorteile der Navigation				
Ja	15	3	30	p = 0,436
Nein	3	0	11	
Keine Angabe	4	2	51	

Tab. 45 Frage 30: Sehen Sie Vorteile in der Navigation bei der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen?

	überregionales Traumazentrum n= 45	regionales Traumazentrum n= 64	lokales Traumazentrum n= 20	p-Wert
Vorteile der Navigation				
Ja	28	15	5	p = 0,238
Nein	7	10	2	
Keine Angabe	10	39	13	

Frage 31: Wenn ja, welche?

Bei der Angabe welche Vorteile gesehen werden, waren Mehrfachnennungen möglich. Am häufigsten wurde unter allen Klinikarten als Vorteil der Navigation eine „höhere Präzision der Schraubenpositionierung generell“ angekreuzt. Am zweithäufigsten wurde die „Reduktion der Strahlenbelastung für den Operateur/Team“ als Vorteil erachtet. (**Tab. 46**) Eine ähnliche Verteilung präsentiert sich bei der Häufigkeitsverteilung der Antworten sortiert nach Art des Traumazentrums. Am häufigsten wurde eine „höhere Präzision der Schraubenpositionierung generell“ angekreuzt. (**Tab. 47**)

Tab. 46 Frage 31: Wenn ja, welche?

	Universitätsklinikum n = 22	BG-Klinik n = 5	Lehrkrankenhaus n = 92	p-Wert
Wenn ja, welche?*				
höhere Präzision generell	14	3	28	p = 0,997
höhere Präzision anat. Besond.	8	2	14	
Dosisreduktion für Pat.	6	1	16	
Dosisreduktion für Operateur	9	2	20	
Schulung 3D-Vermögen Oper.	5	2	12	

* Mehrfachnennung

Tab. 47 Frage 31: Wenn ja, welche?

	überregionales Traumazentrum n= 45	regionales Traumazentrum n= 64	lokales Traumazentrum n= 20	p-Wert
Wenn ja, welche?*				
höhere Präzision generell	26	14	5	p = 0,953
höhere Präzision anat. Besond.	14	9	3	
Dosisreduktion für Pat.	11	11	3	
Dosisreduktion für Operateur	17	11	4	
Schulung 3D-Vermögen Oper.	9	6	4	
* Mehrfachnennung				

Frage 32: *Glauben Sie, dass die Navigation in den nächsten 5-10 Jahren zu den Standardverfahren in der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen gehören wird?*

Bei der Antwortverteilung nach Klinikart fällt auf, dass die Mehrheit der Universitätskliniken sich vorstellen können, dass sich die Navigation in den nächsten 5 – 10 Jahren als Standardverfahren in der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen etablieren könnte (64 %, n = 14). Auch die Mehrheit der BG-Kliniken ist dieser Meinung (60 %, n = 3). Hingegen können sich dies nur 24 % der Lehrkrankenhäuser vorstellen (n = 22), während sich die Mehrheit der Lehrkrankenhäuser sich dies nicht vorstellen kann. 37 % der Kliniken machten keine Angabe dazu. (**Tab. 48**)

Auffallend ist bei Betrachtung der Antwortverteilung nach Art des Traumazentrums, dass die Mehrheit der überregionalen Traumazentren (51 %, n = 23) sich die Navigation als Standardverfahren in 5 – 10 Jahren vorstellen kann, während es bei den regionalen Traumazentren lediglich 23 % (n = 15) sind. Bei den lokalen Traumazentren können sich nur 20 % (n = 4) dies vorstellen. 36 % machten keine Angabe dazu. (**Tab. 49**)

Tab. 48 Frage 32: Glauben Sie, dass die Navigation in den nächsten 5-10 Jahren zu den Standardverfahren in der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen gehören wird?

	Universitätsklinikum n = 22	BG-Klinik n = 5	Lehrkrankenhaus n = 92	p-Wert
Navi als Standardverfahren?				
Ja	14	3	22	p = 0,006
Nein	4	0	32	
Keine Angabe	4	2	38	

Ergebnisse

Tab. 49 Frage 32: Glauben Sie, dass die Navigation in den nächsten 5-10 Jahren zu den Standardverfahren in der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen gehören wird?

	überregionales Traumazentrum n= 45	regionales Traumazentrum n= 64	lokales Traumazentrum n= 20	p-Wert
Navi als Standardverfahren?				
Ja	23	15	4	p = 0,067
Nein	13	25	3	
Keine Angabe	9	24	13	

4 Diskussion

4.1 Diskussion der Umfrageergebnisse in Zusammenschau mit den Ergebnissen der Literaturrecherche

Versorgungsstruktur an den deutschen Kliniken

In die Umfrage wurden nur Kliniken in die Auswertung mit eingeschlossen, die angaben, sowohl Beckenring- wie auch Acetabulumfrakturen zu behandeln. Bei den Kliniken, die dies nicht angaben handelte es sich um ein Lehrkrankenhaus und um Kliniken der Kategorie sonstige bzw. lokale Traumazentren sowie um Kliniken, die zum Zeitpunkt der Umfrage nicht auditiert oder zertifiziert waren. Wie erwartet übernehmen die Universitätskliniken und BG-Kliniken bzw. die überregionalen und regionalen Traumazentren den Großteil der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen. Darunter geben alle Universitätskliniken und BG-Kliniken bzw. alle überregionalen Traumazentren an 11- 30 Patienten oder mehr (bis zu > 51) pro Jahr zu versorgen, während Lehrkrankenhäuser bzw. regionale und lokale Traumazentren größtenteils weniger als 10 Beckenringfrakturen jährlich operativ versorgen. Auch im Hinblick auf die jährliche Versorgung der Acetabulumfrakturen dominieren die Universitäts- und BG-Kliniken bzw. überregionale Traumazentren mit 11 – 20 Patienten pro Jahr, während Lehrkrankenhäuser bzw. regionale und lokale Traumazentren größtenteils weniger als 10 Acetabulumfrakturen jährlich operativ versorgen. Die Unterschiede in der Anzahl an operativ versorgten Beckenring- und Acetabulumfrakturen sind sowohl sortiert nach Klinikart wie auch nach Art des Traumazentrums signifikant ($p < 0,001$). Dieses Ergebnis spiegelt die Versorgungsstruktur innerhalb des Traumanetzwerks wieder und zeigt, dass hauptsächlich Universitätskliniken und BG-Klinken und z.T. auch die Lehrkrankenhäuser bzw. die überregionalen und regionalen Traumazentren an der definitiven Versorgung der Schwerletzten mit Beckenring- und Acetabulumfrakturen beteiligt sind, passend zum Konzept des Traumanetzwerks [16]. Damit eine fachgerechte und adäquate Versorgung der meist komplizierten Frakturen erfolgen kann, sind sowohl Expertise und Erfahrung der Operateure sowie eine entsprechende

personelle Ausstattung notwendig. Die Expertise findet sich vor allem an spezialisierten Zentren, wie sie an den meisten Universitätskliniken und BG-Kliniken bzw. überregionalen Traumazentren vorzufinden sind. Am häufigsten sind laut Umfrage an Universitätskliniken und BG-Kliniken bzw. überregionalen Traumazentren mindestens 3 oder mehr Kollegen an der operativen Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen beteiligt. An den Lehrkrankenhäusern bzw. regionalen Traumazentren sind größtenteils 2-3 Kollegen im Einsatz. Auch hier erweisen sich die Unterschiede als signifikant, passend zu der Annahme, dass größere Zentren im Rahmen ihrer personellen Ausstattung mehr Personal für die entsprechenden Operationen einsetzen können. Unter den dafür zuständigen Kollegen befinden sich ausschließlich Chefärzte, Oberärzte und Fachärzte. Hervorzuheben ist, dass an den universitären Einrichtungen und BG-Kliniken bzw. an den überregionalen Traumazentren hauptsächlich Oberärzte an der operativen Versorgung beteiligt sind, während an den Lehrkrankenhäusern bzw. regionalen und lokalen Traumazentren überwiegend Chefärzte die operativen Eingriffe am Becken und Acetabulum durchführen. Mutmaßlich liegt dies an der personellen Ausstattung und an der Subspezialisierung der einzelnen Fach- und Oberärzte an Kliniken der Maximalversorgung, während an kleineren Kliniken nur wenige Kollegen die spezielle Expertise oder Erfahrung aufweisen. Auch die Beantwortung der Frage, ob der Klinik oder der Abteilung ein Navigationssystem zur Verfügung steht, hängt wie erwartet von der Institutionsart bzw. von der Art des Traumazentrums ab. Der Großteil der Universitäts- und BG-Kliniken bzw. der überregionalen Traumazentren gibt an ein Navigationssystem zu besitzen, während es bei den Lehrkrankenhäusern bzw. regionalen und lokalen Traumazentren nur ungefähr 50 % sind. Darunter wurde von den meisten Universitätskliniken bzw. überregionalen Traumazentren das Navigationssystem der Firma „Brainlab®“ als häufigster Vertreter genannt. Am zweithäufigsten wurden Geräte der Firma „Medtronic®“ und „Stryker®“ angekreuzt. Der Grund dafür liegt möglicherweise an der Tatsache, dass sich die navigationsgestützten Operationsverfahren bisher zum größten Teil in der Wirbelsäulen Chirurgie bei der Pedikelschraubung etabliert haben, wofür größtenteils das Navigationssystem der Firma „Brainlab®“ eingesetzt wird und folglich vielen Kliniken zur Verfügung steht.

4.1.1 Einsatz eines Navigationssystems an den deutschen Kliniken

Die Beantwortung der Frage ob das vorhandene Navigationssystem bei der operativen Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen eingesetzt wird, spiegelt ebenfalls die strukturellen Unterschiede der verschiedenen Institutionsarten bzw. der verschiedenen Traumazentren wider. Allgemein finden Navigationssysteme bei der Versorgung von Beckenringfrakturen häufiger Anwendung als bei der Versorgung von Acetabulumfrakturen. Die Unterschiede in der Behandlung von navigiert versorgten Acetabulum- und Beckenringfrakturen sind zwischen den verschiedenen Klinikarten und der Art des Traumazentrums signifikant. So ergibt die Umfrage, dass über die Hälfte der Universitätskliniken und BG-Kliniken ein Navigationssystem bei der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen anwenden, während nur 13 % bzw. 7 % der Lehrkrankenhäuser angeben Beckenringfrakturen bzw. Acetabulumfrakturen navigiert zu versorgen ($p = 0,001$). Auch in Abhängigkeit von der Art des Traumazentrums zeigt sich ein signifikanter Unterschied in der Anwendungshäufigkeit der Navigation bei der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen. Es geben mehr als 40 % der überregionalen Traumazentren an Beckenringfrakturen navigiert zu versorgen, während weniger als 10 % der regionalen und lokalen Traumazentren die Navigationssysteme bei der Versorgung von Beckenringfrakturen anwenden ($p = 0,003$). Bei der Versorgung von Acetabulumfrakturen wird wieder die geringe Verbreitung der Navigation deutlich. Zwar nutzen die überregionalen Traumazentren am häufigsten von allen Traumazentrumsarten die Navigation bei der Versorgung von Acetabulumfrakturen, doch sind es hier nur etwas mehr als 30 % der überregionalen Traumazentren, 5 % der regionalen Traumazentren und keines der lokalen Traumazentren. Die Anzahl an navigiert versorgten Beckenringfrakturen liegt an den Universitätskliniken und BG-Kliniken bzw. überregionalen Traumazentren im Schnitt bei 11 – 15 Patienten pro Jahr und bei den Lehrkrankenhäusern bzw. regionalen und lokalen Traumazentren bei 6 – 10 Patienten pro Jahr. Es werden an den Universitätskliniken bzw. überregionalen Traumazentren hingegen größtenteils weniger als 5 oder maximal 6 – 10 Patienten mit Acetabulumfrakturen mit Hilfe eines Navigationssystems operativ versorgt während es an den BG-Klinken weniger als 5 oder maximal 11 – 15 Patienten jährlich sind. Lehrkrankenhäuser gaben größtenteils 6 – 10 Patienten im Jahr an. Die Verteilung

zeigte sich zwar unter den verschiedenen Klinik- und Traumazentrumsarten statistisch nicht signifikant, spiegelt trotz allem die Tatsache wider, dass es sich bei der navigierten Versorgung von Acetabulumfrakturen bisher um ein wenig angewandtes Verfahren handelt, welches primär an großen Zentren Einsatz findet. Grund für den vergleichsweise geringeren Einsatz der Navigation in der Acetabulumchirurgie ist vermutlich zum einen die geringere Inzidenz der Acetabulumfrakturen (3 pro 100.000/Jahr) gegenüber Beckenringfrakturen (19 – 37 pro 100.000/Jahr). Zum anderen handelt es sich bei der operativen Versorgung von Acetabulumfrakturen um eine anspruchsvolle Operation, die meist spezialisierten Chirurgen vorbehalten ist und aufgrund der engen Schraubenkorridore insbesondere bei komplexen Frakturen offen versorgt wird [94, 139].

Bezüglich der Anzahl der eingesetzten Kollegen an den Universitätskliniken bzw. überregionalen Traumazentren werden zu gleichen Teilen am häufigsten 2 und 3 Kollegen für die navigierte Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen angegeben. An den Lehrkrankenhäusern bzw. regionalen und lokalen Traumazentren sind dafür größtenteils 1 bis 2 Kollegen im Einsatz. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um Chef- und Oberärzte. Konkordant zu den Angaben bezüglich des Ausbildungsstands der Kollegen, die an der operativen Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen beteiligt sind, zeigt sich auch hier die Verteilung, dass an Universitätskliniken bzw. an überregionalen Traumazentren primär Oberärzte involviert sind, während an Lehrkrankenhäusern bzw. regionalen Traumazentren vor allem Chefärzte am Einsatz von Navigationssystemen beteiligt sind.

Die Beantwortung der Frage, welche Bildgebung für die navigierte Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen verwendet wird, zeigt ebenfalls eine Tendenz. Sowohl bei der Versorgung von Beckenringfrakturen wie auch bei der Versorgung von Acetabulumfrakturen findet zum größten Teil die 3D-Navigation als Navigationssystem Anwendung, jedoch ohne statistische Signifikanz. Unabhängig von der Institutionsart oder der Art des Traumazentrums bevorzugen jeweils mehr als 50 % der Kliniken die 3D-Navigation gegenüber anderen Navigationsarten. Nur die lokalen Traumazentren machen davon keinen Gebrauch. Darunter wurde bei der Frage welcher Hersteller des Bildwandlers für die 3D-Navigation genutzt wird am häufigsten der Hersteller „Siemens®“ und am zweithäufigsten „Ziem®“ angekreuzt. An einigen

Universitätskliniken und Lehrkrankenhäusern bzw. überregionalen und regionalen Traumazentren wird hingegen zur Versorgung von Beckenringfrakturen alleinig die 2D-Navigation genutzt oder die Kombination aus 2D-Navigation und 3D-Navigation. Nur in wenigen Häusern wird die CT-Navigation oder eine Kombination aus CT- und 3D-Navigation für die Versorgung von Beckenringfrakturen genutzt. Ein Ähnliches Ergebnis zeigt sich beim Einsatz eines Navigationssystems in der Versorgung von Acetabulumfrakturen. Auch hier gaben in der Umfrage mit wenigen Ausnahmen die meisten Häuser an, die 3D-Navigation bevorzugt einzusetzen. Interessanterweise findet die 2D-Navigation unter den an der Umfrage teilnehmenden Kliniken wenig Anwendung, obwohl in der Literatur unter 2D-Navigation ebenfalls eine erhöhte Präzision gegenüber der Standardfluoroskopie bzw. anderen Navigationsarten verzeichnet wurde, bei sogar zum Teil geringeren Durchleuchtungszeiten als unter 3D-Navigation und insgesamt besserer Verfügbarkeit und Praktikabilität [53, 59, 199]. Zusätzlich erfordert die 3D-Navigation eine hohe Lernkurve und ein gutes räumliches Vorstellungsvermögen um ähnliche Ergebnisse wie unter 2D-Navigation oder Standardfluoroskopie zu erzielen, während die 2D-Navigation in ihrer Handhabung und Praktikabilität als besonders vorteilhaft erachtet wird [11, 19, 75, 89, 168]. Ein weiterer interessanter Aspekt ist die Tatsache, dass die CT-gestützte Navigation laut Umfrage nur von zwei Kliniken (Universitätsklinik und Lehrkrankenhaus bzw. überregionales und lokales Traumazentrum) zur Versorgung von Beckenringfrakturen Anwendung findet. Für die perkutane Schraubenplatzierung bei Acetabulumfrakturen findet die CT-gestützte Navigation sogar an keiner Klinik Anwendung. Dies spiegelt die Entwicklung wider, dass die CT-gestützte Navigation mit ihrer verhältnismäßig hohen Strahlenexposition und der wenig praktikablen perioperativen Handhabung sowie den langen Operationszeiten inzwischen zugunsten der Fluoroskopie-gestützten Navigationsverfahren an Bedeutung verloren hat, trotz ihrer Vorteile bezüglich höherer Bildqualität und direkter intraoperativer Repositionskontrolle. Vor allem in der Acetabulumchirurgie wurde die CT-Navigation durch die Fluoroskopie-basierten Navigationsverfahren abgelöst. Dies mag zum einen an dem zeitaufwendigen und fehlanfälligen Matchingverfahren liegen. Zum anderen kann es bei der CT-Navigation bei dislozierten Frakturen im Rahmen einer intraoperativen Umlagerung zu Frakturverschiebungen kommen und zu einem ungültigen Datensatz, sodass die

fehlende Möglichkeit einer intraoperativen Aktualisierung des Bilddatensatzes ein großer Nachteil dieses Navigationsverfahrens darstellt [18, 21, 87, 168]. Dies hat zur Folge, dass die angezeigte virtuelle Instrumentenposition möglicherweise nicht der realen Position entspricht [5, 71, 93]. Nach Umlagerung des Patienten muss daher eine erneute CT-Aufnahme zur Aktualisierung des Datensatzes erfolgen, wodurch der Patient einer erneuten Strahlenexposition ausgesetzt wird. Um die Genauigkeit des Matchingvorgangs zu erhöhen, können zuvor implantierte Registrierungsmarker oder ein Fixateur externe als Landmarken genutzt werden. Des Weiteren muss ein CT-Gerät im Operationssaal zur Verfügung stehen, sonst ergibt sich ein logistischer Mehraufwand und eine Verlängerung der Operationszeiten. Wird die Operation innerhalb der CT-Gantry durchgeführt, lässt sich ein steriles Arbeiten schwierig umsetzen [28]. Es hat sich gezeigt, dass die CT-Suite für ein steriles Arbeiten nicht optimal geeignet ist, resultierend in erhöhten Infektionsraten [28, 45]. Als Gay et al. (1992) erstmals die perkutane Schraubenfixierung unter CT-Navigation bei Acetabulumfrakturen beschrieben, wurde sie als einfach durchführbar und reproduzierbar erachtet, jedoch nur bei nicht oder nur wenig dislozierten Frakturen von maximal 10 mm, da geschlossene Repositionsmanöver innerhalb der CT-Suite schwer umsetzbar sind [45]. Auch benötigt laut Gay et al. (1992) eine Schraubenplatzierung durchschnittlich 45 Minuten bei einer gleichzeitig hohen Strahlenbelastung für Patient und OP-Personal. Die Akquirierung von aktuellen Daten im OP-Saal nach einem Repositionsmanöver ist unter Verwendung von Standardfluoroskopie oder virtueller Fluoroskopie erheblich einfacher. Hier erweist sich die 3D-Navigation als besonders vorteilhaft, da eine Aktualisierung des Datensatzes in hoher Bildqualität ohne großen Aufwand intraoperativ möglich ist [19]. Als Norris et al. (1999) zur intraoperativen Kontrolle des Repositionsergebnisses und der Schraubenlage die Fluoroskopie als äquivalente Methode zur CT-gestützten Kontrolle ansah, begann der vermehrte Einsatz der Fluoroskopie-gestützten Navigationsverfahren in der Acetabulumchirurgie [125].

Der unterschiedliche Einsatz der verschiedenen Navigationsarten in den Kliniken korreliert mit den kontrovers diskutierten Ergebnissen der Literatur und zeigt ähnlich wie in der Literatur eine Tendenz hin zur 3D-Navigation, insbesondere an Universitätskliniken und BG-Kliniken bzw. überregionalen Traumazentren.

4.1.2 Durchführung der Schraubenplatzierung an deutschen Kliniken

Insgesamt beteiligten sich nur wenige Kliniken an den Fragen zur Schraubenplatzierung in der Becken- und Acetabulumchirurgie, sodass die Antwortverteilung nur bedingt aussagekräftig ist. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Klinikarten und Arten der Traumazentren erwiesen sich als statistisch nicht signifikant. Bei der Antwortverteilung bezüglich verwendeter Schraubenkorridore bei der Stabilisierung von Beckenringverletzungen lässt sich allerdings eine Tendenz erkennen. Die meisten Kliniken nutzen eine Kombination aus den Schraubenkorridoren S1 und S2. Darunter befinden sich größtenteils die Universitätskliniken (45 %) bzw. die überregionalen Traumazentren (29 %). Die BG-Kliniken (60 %) bzw. regionalen Traumazentren (6 %) wählten hingegen häufiger allein den Schraubenkorridor S1. Die Lehrkrankenhäuser kreuzten zu gleichen Teilen den S1-Korridor sowie die Kombination aus S1 und S2 an. Keine der Kliniken wählte alleinig den Schraubenkorridor S2. Die Verteilung deckt sich jedoch mit den unterschiedlichen Aussagen der Literatur. Während in einigen Studien wie beispielsweise Studien von Van den Bosch et al. (2002) oder Citak et al. (2006) von erhöhten neurologischen Komplikationsraten bei der iliosakralen Schraubenplatzierung in S2 berichten, beschreiben beispielsweise Tosouinidis et al. (2007) und Grossterlinden et al. (2011) hingegen erhöhte Fehlplatzierungsraten in S1 mit entsprechenden Komplikationen wie Verletzungen der Sakralnerven [25, 59, 187, 190]. Zu beachten ist, dass in allen Fällen die Schraubenplatzierung unter 2D-Navigation erfolgte mit Ausnahme von der Studie von Van den Bosch (2002), die unter Standardfluoroskopie durchgeführt wurde. Einen direkten Vergleich der Schraubenplatzierungen in S1 und S2 zwischen 2D-Navigation und 3D-Navigation machten Behrendt et al. (2011) in ihrer Arbeit mit dem Ergebnis, dass mithilfe der 3D-Navigation mit 7 % eine wesentlich geringere Fehlplatzierungsrate verzeichnet wurde als unter 2D-Navigation (21 %) oder Standardfluoroskopie (28 %) [11]. Insgesamt wurden in dieser Arbeit erhöhte Raten an Fehlplatzierungen bei den kombinierten Schrauben in S1 und S2 beobachtet, mutmaßlich aufgrund sich kreuzender Trajektorien der Schrauben. Zusammenfassend wird von Behrendt et al. (2011) in Zusammenschau mit den Ergebnissen von van Zwiene et al. (2004) empfohlen S1- und S2-Schrauben in Kombination zu verwenden, da eine rotationsstabile Osteosynthese nur mittels zweier paralleler Schrauben in S1 und

S2 erzielt werden kann [191]. Diese Aussage deckt sich mit den Erfahrungen anderer Studien und dem Großteil der Angaben in der Umfrage.

Die Fragen zur Durchführung der Schraubenplatzierung bei Acetabulumfrakturen weisen ebenfalls eine Tendenz auf. Bei der Frage welche Schraubenkorridore verwendet werden, geben bei insgesamt geringer Beteiligung an der Frage die meisten Kliniken eine Kombination aus vorderer, hinterer und supraacetabulärer Schraubenpositionierung an oder eine Kombination aus vorderer und supraacetabulärer Schraube. Bei der Art der Positionierung der vorderen Pfeilerschraube ist kein eindeutiger Trend zu erkennen, da die eine Hälfte der Kliniken den antegraden Zugang bevorzugt, während die andere Hälfte den retrograden Zugang wählt bzw. beide Zugangsarten nutzt. Bei der Positionierung der hinteren Pfeilerschraube zeigt sich hingegen eine Tendenz hin zur antegraden Positionierung, insbesondere unter den Universitätskliniken (27 %) bzw. überregionalen Traumazentren (16 %). In der Literatur werden bei der perkutanen periacetabulären Verschraubung beide Positionierungsarten diskutiert, wie beispielsweise in einer Arbeit von Giannoudis et al. (2007) in der sowohl die antegrade Positionierung von supraacetabulär wie auch die retrograde Platzierung vom Tuberculum pubicum aus [49]. Auch Hong et al. (2010) beschreiben in Ihrer Arbeit zur perkutanen Schraubenplatzierung am Acetabulum unter 2D-Navigation beide Platzierungsarten mit der Empfehlung bei der retrograden Positionierung der hinteren Pfeilerschraube das ipsilaterale Hüft- und Kniegelenk in Flexion und Außenrotation zu halten um den N. ischiadicus zu entspannen [69].

Die Frage ob die Navigation für das offene oder perkutane Vorgehen in der Acetabulumchirurgie Anwendung findet, ergab keine eindeutige Antwortverteilung. Fast zu gleichen Teilen wurden die perkutane Schraubenplatzierung sowie zusammen die perkutane und die gelenknahe Schraubenplatzierung bei offenen Vorgehen genannt. Dabei nannten 23 % der Universitätskliniken die perkutane Schraubenplatzierung und mit 27 % etwas mehr sowohl die perkutane als auch die gelenknahe Schraubenplatzierung als Indikation für die Anwendung der Navigation. Die übrigen Kliniken machten kaum Angaben dazu, darunter nannten die meisten Lehrkrankenhäuser die perkutane Schraubenplatzierung als Indikation. Unter den Traumazentren gaben 16 % der überregionalen Traumazentren die perkutane

Schraubenplatzierung und 18 % beides (perkutan und gelenknah) an. Die übrigen Traumazentren machten nur vereinzelt Angaben dazu.

4.1.3 Schwierigkeiten und Limitationen der Navigation

Bei der Frage ob das navigierte Verfahren aufgrund technischer Schwierigkeiten oder unzureichender Bildqualität bereits abgebrochen werden musste, wird deutlich, dass es sich bei der navigierten perkutanen Schraubenplatzierung um ein fehleranfälliges Verfahren handelt. Mit Ausnahme weniger Kliniken, wurden die meisten Häuser bereits mit dieser Problematik konfrontiert. Über die Hälfte der Kliniken musste bereits die navigierte Schraubenplatzierung aufgrund technischer Probleme oder unzureichender Bildqualität vorzeitig beenden (55 % der Universitätskliniken bzw. 36 % der überregionalen Traumazentren, die übrigen Kliniken bzw. Traumazentren beteiligen sich kaum). Schwierigkeiten bei perkutanen Schraubenplatzierungen unter Navigation werden auch in der Literatur behandelt. So beschreiben Stöckle et al. (2001) bei der 2D-Fluoroskopie gestützten SI-Schraubenplatzierung eine eingeschränkte Bildqualität aufgrund von Artefaktbildung durch die bereits eingebrachten Schrauben [165]. Ein großer Nachteil der 2D-Navigation ist die zum Teil unzureichende Bildqualität und die uniplanare Einschränkung, die sich insbesondere bei der Darstellung komplexer anatomischer Strukturen bemerkbar macht [19, 20, 28, 54, 83, 165]. Vornehmlich bei anatomischen Varianten, Überlagerung durch Darmgase oder adipösen Patienten ergeben sich bei den perkutanen Fluoroskopie-gestützten Verfahren Limitationen bei der exakten Visualisierung des Operationsgebiets und Identifizierung von anatomischen Landmarken [32, 146]. Day et al. (2007) betonen darüber hinaus, dass die Fluoroskopie-gestützten Navigationsverfahren die gleichen Einschränkungen aufweisen wie die Standardfluoroskopie und daher bei entsprechenden Gegebenheiten wie anatomische Varianten oder Adipositas eine ergänzende CT-Aufnahme empfehlenswert ist [32]. Hier zeigt die CT-Navigation mit der hohen Bildauflösung einen klaren Vorteil. Die unterschiedliche Bildauflösung der verschiedenen Navigationsverfahren kommt dadurch zustande, dass sich die Aufnahmen der 2D-Navigation aus Summationsbildern zusammensetzen, während die der 3D-Navigation aus Schnittbildern angefertigt werden, woraus eine bessere Bildauflösung resultiert und die knöchernen Korridore besser zur Darstellung kommen [20, 54]. Unter 2D-Navigation kann somit das Fehlen der Transversalebene sowie die vergleichsweise eingeschränkte Bildqualität ursächlich

für die geringere Präzision der Schraubenplatzierung sein [19, 20, 28, 143, 165, 167, 185]. Briem et al. (2007) hingegen konnten sich während der 2D-Navigation zu einer besseren Bildqualität verhelfen, indem der Kalibrierungsaufsatz entfernt wurde, der bei der Akquirierung der Inlet-Aufnahme in Rückenlage als störend empfunden wurde [20]. König et al. (2011) sehen zusätzlich den durch die Größe des Bildverstärkers eingeschränkten Bildausschnitt und die von der BV-Position abhängigen restriktiven Lagerungsmöglichkeiten als limitierend an [87]. Unabhängig von der Art der Navigation wird die Notwendigkeit zusätzlicher intraoperativer Kontrollen deutlich, damit extraossäre Schraubenlagen frühzeitig entdeckt werden, anstatt auf die Sicherheit der Technik zu vertrauen. Konrad et al. (2010) beschreiben als weiteres Problem, dass aufgrund des perkutanen Vorgehens während der 3D-Navigation nur eine unzureichende Tiefe des Navigationspointers erreicht werden kann, wodurch es zu fehlerhaften Darstellungen der Instrumentenposition kommt und damit zu möglichen Fehlplatzierungen der Implantate [88]. Stöckle et al. (2007) bieten als Lösungsvorschlag hierfür eine Erhöhung der Rasterpunkte an der ossären Oberfläche durch zusätzliche Stichinzisionen an [170]. Auch wird empfohlen zur Kontrolle der Instrumenten- und Implantatlage den Bildwandler immer im OP-Setup zu belassen, unabhängig von der Art der Navigation, damit jederzeit BV-Kontrollen erfolgen können [168]. Eine nicht zu vernachlässigende Limitation der 3D-Navigation bezüglich der Bildqualität ist die Artefaktbildung durch einliegende metallische Implantate. Besonders bei Implantaten des hinteren Beckenrings kommt es zur Ausbildung von Metallartefakten und konsekutiv zur Einschränkung der Bildqualität, jedoch laut König et al. (2005) ohne wesentliche Einschränkung der Beurteilbarkeit der ossären Strukturen [84]. Die 3D-Navigation eignet sich laut den Autoren hinreichend für die Beurteilung von ossären Strukturen, jedoch nicht für die Darstellung von Weichteilen [84]. Die Autoren fanden darüber hinaus, dass die Bildqualität nicht vom Body Mass Index (BMI) des Patienten abhängig ist. Briem et al. (2006) berichten hingegen von Limitierungen in der Bildqualität aufgrund von Artefaktbildung durch die installierten Verankerungspins der Referenzbasis [19]. Da bei der 3D-Navigation nur ein eingeschränkter Bildausschnitt zur Verfügung steht, ist eine präoperative Prüfung der korrekten Erfassung der Zielregion durch den C-Arm obligat [19]. Die Frage ob das navigierte Verfahren bereits aufgrund einer unzureichenden Abbildungsqualität abgebrochen werden musste

beantworteten auch die meisten Kliniken mit „Ja“. Darunter befanden sich 36 % der Universitätskliniken bzw. 29 % der überregionalen Traumazentren. Die übrigen Kliniken machten nur vereinzelt Angaben dazu. Bezüglich der Bildqualität und der damit verbundenen Präzision der Schraubenplatzierung bietet die CT-gestützte Navigationstechnik den größten Vorteil. Die Bilddaten der CT-Navigation bestehen aus großen Datenvolumina woraus eine hohe Bildqualität resultiert, welche die der 2D- und 3D-Fluoroskopie übertrifft. Insbesondere bei adipösen Patienten, bei anatomischen Varianten oder in der Tumorchirurgie zeigt sich die detaillierte Darstellung anatomischer Strukturen von Vorteil [14, 18, 84, 168, 197]. Vor allen Dingen bei der Beurteilung eines Frakturspalts in Gelenknähe hat sich die Computertomographie gegenüber einfacher Fluoroskopie als geeigneter erwiesen [14]. Bei dysmorphen Becken erweist sich die CT ebenfalls als hilfreich [32]. Allerdings wird bei der CT-Navigation die Problematik eines Umbiegens des Führungsdrahtes und die damit verbundene Gefahr einer Fehlplatzierung betont [5, 37, 76, 168, 183]. Neben der intraoperativen Bildqualität spielt auch die Erfahrung des Operateurs eine große Rolle. Die Orientierung anhand der einzelnen Projektionen bei der 2D-Navigation ist oft schwierig und benötigt neben ausreichender Übung zusätzlich fundierte anatomische Kenntnisse [28, 143, 147, 155]. Doch auch bei der 3D-Navigation ist eine gewisse Erfahrung notwendig und eine Lernkurve ist erkennbar [21, 88]. Nicht zu vernachlässigen sind anfängliche Orientierungsschwierigkeiten und erhöhte Fehlplatzierungsraten, da die dreidimensionale Darstellung des Beckens und die Führung der virtuell dargestellten Instrumente zunächst ungewohnt sind [19, 206]. Um sich bei der 3D-Navigation bei der dreidimensionalen Darstellung des Beckenskeletts und der dadurch unterschiedlichen Darstellung der Inlet- und Outlet-Aufnahme zurechtzufinden, sind ein gutes räumliches Vorstellungsvermögen, fundierte anatomische Kenntnisse und eine gewisse Erfahrung in der navigierten Verschraubung Voraussetzung um Fehlplatzierungen zu vermeiden [88, 206]. Doch auch bei der perkutanen Schraubenplatzierung unter Standardfluoroskopie ist die Erfolgsquote stark von der Erfahrung des Operateurs abhängig [187]. Es hat sich in einer Studie von Konrad et al. (2010) herausgestellt, dass die Unerfahrenheit eines Operateurs bei der perkutanen Schraubenplatzierung durch den Einsatz der Navigation jedoch nicht kompensieren lässt. Ein Mangel an Erfahrung führt zu einem zu höheren

Fehlplatzierungsraten und zum anderen werden fehlerhafte Darstellungen der virtuellen Instrumentenposition intraoperativ durch wenig erfahrene Chirurgen seltener erkannt [88]. Zur Vermeidung von Fehllagen durch eine fehlerhafte Navigation aufgrund fehlerhafter Datensätze ist eine prä- und intraoperative Prüfung der dreidimensionalen Daten auf Plausibilität unerlässlich. Eine weitere technische Schwierigkeit ist die Tatsache, dass es zu einer Diskrepanz zwischen der virtuellen Position des Führungsdrahtes auf dem Navigationsbildschirm und der tatsächlichen Position kommen kann, resultierend in einer möglichen Schraubenfehlplatzierung [53, 150]. Grund dafür können unbemerkte intraoperative Veränderungen des Dynamic Reference Frames (DRF) oder Verschiebungen der Frakturposition sein [53, 98, 150]. Trotz der beschriebenen Erhöhung der Präzision bei der Schraubenplatzierung, werden auch bei den perkutanen Verfahren unter Navigation Fehlplatzierungen beobachtet. Bekannte Risikofaktoren für Fehlplatzierungen der iliosakralen Schrauben sind unter anderem die Schraubenplatzierung an Position S2, die bilaterale Schraubenplatzierung sowie Fehlbildungen des Sakrums und eine initial unzureichende Reposition der Fraktur [53, 65, 116, 146, 147, 190]. Dabei werden Fehlplatzierungs- und Komplikationsraten von 0 – 15 % bei der Platzierung im Sakralwirbelkörper S1 beobachtet sowie hohe Fehlplatzierungsraten bei Schraubenplatzierungen im Sakralwirbelkörper S2 und in etwas geringerem Ausmaß auch bei der bilateralen Schraubenplatzierung [19, 20, 25, 43, 53, 60, 151, 157, 169, 190]. Eine weitere Ursache für eine ungenaue perkutane Schraubenfehlplatzierung ist die Gefahr eines Umbiegens des Führungsdrahtes oder des Bohrkopfes aufgrund einer zu hohen Flexibilität des Drahtes [5, 11, 65]. Laut Hinsche et al. (2001) kommt es bei der iliosakralen Verschraubung bei Führungsdrähten der Stärke 2,8 mm während des Bohrvorgangs zu einem Abbiegen des Drahtes und konsekutiv zu einer inakkuraten Schraubenplatzierung, während sich Drähte der Stärke 5 mm stabiler und damit für eine akkuratere Schraubenplatzierung geeignet sind [65]. Die erhöhte Perforationsrate aufgrund fehlgeführter Bohrtrajektorien verdeutlicht die Notwendigkeit intraoperativer Fluoroskopiekontrollen bzw. CT-Kontrollen sowie einer postoperativen CT-Untersuchung zur Lagekontrolle der Schrauben [149, 165, 190]. Gemäß der durchgeführten Umfrage führen allerdings nur ungefähr die Hälfte der Kliniken während der operativen Versorgung von Beckenringfrakturen eine intraoperative 3D-Kontrolle durch (27 % der Universitätskliniken, 40 % der BG-

Kliniken, 7 % der Lehrkrankenhäuser bzw. 20 % der überregionalen Traumazentren, 6 % der regionalen Traumazentren). Fluoroskopische Kontrollen wurden allerdings in der Fragestellung nicht berücksichtigt. Auch bei der Versorgung von Acetabulumfrakturen findet die intraoperative 3D-Kontrolle in weniger als der Hälfte der Kliniken Anwendung mit einer relativ gleichmäßigen Verteilung auf die Institutionsarten bzw. Traumazentren (27 % der Universitätskliniken, 40 % der BG-Kliniken, bzw. 20 % der überregionalen Traumazentren, 5 % der regionalen Traumazentren). Der zurückhaltende Einsatz des intraoperativen 3D-Scans an deutschen Kliniken ist verwunderlich, da es sich vor allem in der Acetabulumchirurgie als praktikabel erwiesen hat, die Fraktur temporär zum Beispiel mittels Kirschner-Drähten zu fixieren und nach erfolgtem 3D-Scan die weitere definitive Versorgung zu planen, da auf diese Weise nach erfolgter Implantatplatzierung direkt eine intraartikuläre Schraubenlage und intraartikulär gelegene Knochenfragmente erkannt und korrigiert werden kann [87]. Auch Konrad et al. (2010) betonen die Notwendigkeit einer intraoperativen 3D-Kontrolle um eine Fehllage der Schraube rechtzeitig zu erkennen und warnen vor einem zu großen Vertrauen in die Technik der 3D-Navigation [88]. Allerdings ist die perioperative 3D-Kontrolle mit einem nicht unerheblichen zeitlichen Mehraufwand verbunden. Zusätzlich wird die Notwendigkeit einer postoperativen CT-Kontrolle in der Literatur mehrfach betont [149, 165, 190]. Aufgrund der hohen Bildauflösung, ist die Computertomographie eine geeignete Bildgebung zur postoperativen Kontrolle des Repositionsergebnisses und zur Ermittlung einer extraartikulären Schraubenlage. Sie ist sowohl bei Verfahren unter Standardfluoroskopie wie auch bei navigierten Verfahren von enormer Wichtigkeit [53, 190]. Diese Ansicht vertreten auch die meisten Kliniken in der Umfrage, da in über der Hälfte der Kliniken, die zu dieser Frage eine Angabe machten sowohl in der Becken- wie auch in der Acetabulumchirurgie eine postoperative Kontrolle mittels der Computertomographie zum Einsatz kommt.

4.1.4 Bewertung der Navigation

Laut Umfrage sehen 40 % der Kliniken bei der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen Vorteile in der Navigation. Darunter sind mit 68 % der Universitätskliniken, 60 % der BG-Kliniken bzw. 62 % der überregionalen Traumazentren die großen Kliniken am häufigsten vertreten und damit ein großer Anteil

der an der Traumaversorgung beteiligten Zentren, der die Navigation in der Becken- und Acetabulumchirurgie als vorteilhaft erachtet. Nur rund 33 % der Lehrkrankenhäuser bzw. 23 % der regionalen Traumazentren und 25 % der lokalen Traumazentren sehen Vorteile in der Navigation. Bei der Möglichkeit die einzelnen Vorteile zu benennen, wurden verschiedene Vorteile der Navigation angekreuzt. Am häufigsten wurde unabhängig vom Krankenhaustyp oder der Art des Traumazentrums der Punkt *„höhere Präzision der Schraubenpositionierung generell“* genannt. Diese Ansicht deckt sich mit den Ansichten und den Ergebnissen der Literatur, dass bei bestimmten Frakturarten und entsprechender Expertise des Operateurs eine erhöhte Präzision bei der perkutanen Schraubenplatzierung mit Hilfe der Navigation erreicht werden kann. Ebenfalls konkordant zu den Ergebnissen der Literatur wird als zweithäufigstes die *„Reduktion der Strahlenbelastung für den Operateur bzw. das Team“* als weiterer Vorteil der Navigation angesehen. Eine perkutane Schraubenplatzierung unter 3D-Navigation bedeutet eine geringere Strahlenbelastung für das OP-Personal, da der Operationsaal während der intraoperativen Bildakquirierung verlassen werden kann, doch führt es gleichzeitig zu einer höheren Strahlenexposition für den Patienten. Die Antwort *„Reduktion der Strahlendosis für den Patienten“* wurde nur von wenigen Kliniken gewählt, trotz der bekannten Reduktion der Strahlenexposition für den Patienten unter 2D-Navigation im Vergleich zur Standardfluoroskopie aufgrund weniger benötigter intraoperativer BV-Projektionen. Die Reduktion der Strahlenexposition für Patient und Operateur ist ein wichtiger und erstrebenswerter Aspekt und sollte im Rahmen der perioperativen Durchleuchtung beachtet werden. Betrachtet man die jährliche Exposition an Strahlung in anderen Berufsgruppen wie beispielsweise die der Piloten, so kann die jährliche Strahlenexposition von circa 3-6 mSv jährlich zu einem erhöhten Risiko für die Entwicklung von malignen Melanomen oder myeloischen Erkrankungen führen [61].

Ein weiterer interessanter Punkt, ist die Tatsache, dass von vielen Kliniken *eine höhere Präzision bei anatomischen Besonderheiten wie beispielsweise bei anatomischen Varianten des Sakrums* als Vorteil der Navigation erachtet wird. Routt et al. (1996) betonten passend dazu in ihrer Studie die Notwendigkeit von CT-Aufnahmen bei der Identifikation von dysmorphen Becken [146]. In dieser Studie wiesen unter 80 Patienten mit Beckenringfrakturen 28 % dysplastische Beckenanatomien auf, die beim Großteil

mit Hilfe der „outlet“ und lateralen Sakrum-Projektion identifiziert werden konnten. Bei 6 % der Patienten hingegen reichten die BV-basierten Projektionen zum Nachweis einer Sakrumdysplasie alleine nicht aus und eine ergänzte CT-Aufnahme musste durchgeführt werden. Auch Day et al. (2007) warnen vor allein BV-gestützten Schraubenplatzierungen bei Sakrumdysplasien und unterstreichen die Erfordernis präoperativer bzw. intraoperativer axialer und coronarer CT-Aufnahmen des Beckens um eine sichere perkutane Schraubenplatzierung zu gewährleisten [32]. Eines der seltener angekreuzten Vorteile der Navigation war die *Schulung des 3D-Vermögens des Operateurs*. Die Kliniken bekamen die Möglichkeit in Form von freien Feldern weitere Vorteile zu benennen. Dabei nannte eine Klinik als Vorteil der Navigation die *„Verbesserung der chirurgischen Ausbildung“* und eine *„Optimierung bei der Wahl der Schraubenlängen“*. Eine weitere Klinik erkannte in der Navigation ein *„Training bei der navigierten Verschraubung“*. Auch in der Literatur wird die Navigation bei der präoperativen Planung für unerfahrene Kollegen als hilfreich erachtet [24]. Mit Hilfe bestimmter Software können chirurgische Eingriffe bei Beckenring- und Acetabulumfrakturen virtuell präoperativ Schritt für Schritt geplant und durchlaufen werden mit dem Potential eine akkuratere Durchführung der eigentlichen Schraubenplatzierung zu erzielen [24, 50]. Gofton et al. (2007) beispielsweise beobachteten in ihrer randomisierten Studie zur Untersuchung der Auswirkungen eines präoperativen Trainings zur Implantation einer Hüft-TEP mit Hilfe eines Navigationssystems, einen Zugewinn bei der Präzision der Implantatplatzierung in der Gruppe, die mit Hilfe des Navigationssystems vorbereitet wurde [50]. Auch Cimerman et al. (2007) sahen die präoperative navigierte OP-Planung sowohl klinisch wie auch pädagogisch als wertvoll an, da in ihrer Studie am Modell eine starke Übereinstimmung zwischen den präoperativ geplanten Operationsschritten und der endgültigen Operation verzeichnet wurde [24].

Die Beantwortung der letzten Frage des Fragebogens bekräftigt, dass es sich beim Einsatz von Navigationssystem in der Becken- und Acetabulumchirurgie, trotz der in der Literatur beschriebenen Vorteile und des über die Jahre zunehmenden Einsatzes, weiterhin um ein noch nicht vollständig etabliertes Verfahren in der Becken- und Acetabulumchirurgie handelt. Weniger als ein Drittel aller Kliniken kann sich laut Umfrage vorstellen, dass die Navigation in den nächsten 5 – 10 Jahren zu den

Standardverfahren in der Becken- und Acetabulumchirurgie gehören wird. Erwartungsgemäß sind es größtenteils die Universitätskliniken (64 %) und BG-Klinken (60 %) bzw. überregionale (51 %) Traumazentren, die der Ansicht sind, dass sich die navigierte Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen in Zukunft als Standardverfahren etablieren könnte. Hingegen kreuzte die Mehrheit der an dieser Frage beteiligten Lehrkrankenhäuser und regionalen Traumazentren die Frage mit „Nein“ an. Der Unterschied zeigte sich unter den verschiedenen Klinikarten signifikant ($p = 0,006$). Neben den bereits besprochenen Limitationen sind möglicherweise die hohen Anschaffungskosten ein weiterer Grund für den zurückhaltenden Einsatz von Navigationsgeräten, insbesondere beim Einsatz der 3D-Navigation. Für die Anschaffung eines Navigationsgeräts und der notwendigen Hard- und Software sowie für die Wartung muss mit Kosten von bis zu 220.000 \$ gerechnet werden [6]. Zusätzlich ist die Anschaffung von passenden Bildwandlern und speziell für die Navigation geeignete OP-Räume und röntgendurchlässige Operationstische erforderlich. Darüber hinaus müssen OP-Räume bei der Anwendung von Navigationssystemen eine bestimmte Größe aufweisen, damit die Kommunikation zwischen Navigationssystem und Instrumenten über Infrarotstrahlung gewährleistet wird [8]. Auch werden besondere Geräteausstattungen benötigt (z.B. eine Bohrerführungshülse) mit meist fehlender Kompatibilität für andere Geräte [98]. Nicht zu vernachlässigen ist die notwendige Expertise, die von den Operateuren benötigt wird um sichere Schraubenplatzierungen durchführen zu können, die mit längeren Trainingszeiten verbunden ist, als bei den herkömmlichen Verfahren und anfangs mit erhöhten Fehlplatzierungsraten und Operationszeiten einhergeht [206]. Überdies sind die navigierten Verfahren im Vergleich zu Standardverfahren mit einer erhöhten Vorbereitungs- und Planungszeit verbunden, wodurch eine unkomplizierte Integration der Navigation in den standardisierten Arbeitsablauf erschwert wird. Zusätzlich müssen die Referenzmarker am Patienten fixiert werden [8]. Auch dauert der operative Eingriff unter Navigation insgesamt länger, da der Operateur meist weniger mit dem navigierten Verfahren vertraut ist als mit dem Standardverfahren unter Fluoroskopie und daher für die Handhabung der Instrumente sowie für die Orientierung mehr Zeit benötigt.

Die bisherige Studienlage und die Ergebnisse der Umfrage zeigen, dass die navigierten Verfahren das Potential besitzen als minimalinvasives Verfahren die Präzision der

Schraubenplatzierung zu erhöhen mit konsekutiver Reduktion der Komplikationsraten bei gleichzeitiger Verminderung der Strahlenexposition, allerdings verbunden mit einigen Limitationen. Zur weiteren Beurteilung des Nutzens der Navigation bezüglich des Outcomes sind weitere kontrollierte prospektive randomisierte Studien mit einem Langzeit-Follow-Up notwendig.

4.2 Diskussion der Methodik der Umfrage

Das Ziel der Umfrage war es, den aktuellen Stellenwert der Navigation in der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen an deutschen Kliniken zu ermitteln und mit dem aktuellen Stand der Literatur zu vergleichen. Dafür erfolgte eine Online-Befragung aller unfallchirurgischen und orthopädischen Abteilungen in Deutschland mit dem Titel „Umfrage Navigation in der Beckenring- und Acetabulumchirurgie“. Um die aktuelle Versorgungsstruktur deutlicher und übersichtlicher herauszuarbeiten, erfolgte die Auswertung zum einen sortiert nach Institutionsart (Universitätsklinikum, BG-Klinik, Lehrkrankenhaus) und zum anderen sortiert nach Art des Traumazentrums (überregionales, regionales, lokales Traumazentrum) um Unterschiede innerhalb dieser Gruppen herauszuarbeiten. In der Umfrage wurden alle unfallchirurgischen oder orthopädischen Abteilung per Email oder telefonisch befragt. Von den insgesamt 574 angeschriebenen Kliniken meldeten sich 150 Kliniken zurück, resultierend in einer Rücklaufquote von 26 %. Für die Gesamtheit aller deutschen Kliniken ergibt sich aufgrund der geringen Rücklaufquote zunächst eine eingeschränkte Repräsentativität. Das Problem einer geringen Rücklaufquote ist bei Online-Befragungen bekannt, wie beispielsweise in der Arbeit von Maurer et al. (2009) bei der Untersuchung kleinerer Grundgesamtheiten mit einer geringen Rücklaufquote und dadurch eingeschränkter Repräsentativität thematisiert wird [109]. Die Ausschöpfungsquote ist dabei von verschiedenen Faktoren abhängig, wie unter anderem das Fehlen eines Interviewers bei postalischen oder Online-Befragungen sowie die Länge und Gestaltung des Fragebogens. In der Umfrage dieser Arbeit können verschiedene Faktoren als ursächlich für die mäßige Beteiligung angesehen werden. Zum einen handelt es sich um eine Online-Befragung ohne Interviewer, wodurch laut Maurer et al. (2009) aufgrund des fehlenden persönlichen Kontakts seltener auf die Umfrage reagiert wird [109]. Möglicherweise spielt auch die Tatsache eine Rolle, dass

die Versorgung der teils komplexen Frakturen in der Becken- und Acetabulumchirurgie spezialisierten Zentren vorbehalten ist, wodurch sich vor allem nur Kliniken der Maximalversorgung bzw. universitäre Einrichtungen und ihre Lehrkrankenhäuser in der Umfrage angesprochen fühlten. Es wurden jedoch alle Kliniken Deutschlands mit einer unfallchirurgischen und/oder orthopädischen Abteilung angeschrieben, unabhängig davon welches Leistungsspektrum an der jeweiligen Klinik angeboten wird. Ein Großteil der adressierten Abteilungen, wie beispielsweise Häuser der Grundversorgung führen jedoch keine akute Traumaversorgung des Beckens und/oder des Acetabulums durch, wodurch sich diese Kliniken mutmaßlich nicht von der Umfrage angesprochen fühlten. Auch führte dies möglicherweise dazu, dass einige bereits zu Beginn des Fragebogens aufhörten zu lesen und dadurch die letzten allgemeinen Fragen zur Navigation nur von wenigen Kliniken beantwortet wurden. Das Kollektiv der Kliniken, die sich zurückmeldeten, bestand erwartungsgemäß zum größten Teil (ca. 75 %) aus Universitätskliniken (14,7 %) und deren Lehrkrankenhäusern (62,7 %) bzw. aus überregionalen (30,0 %) und regionalen Traumazentren (43,3 %). BG-Klinken bildeten mit 3,3 % nur einen kleinen Anteil. Leider beteiligten sich von 9 unfallchirurgisch orientierten BG-Kliniken nur 5 an der Umfrage. Dies stellt eine Limitation dar, da dadurch wichtige Standorte überregionaler und regionaler Traumazentren nicht repräsentiert wurden, wodurch die Aussagekraft der Umfrage eingeschränkt ist. Wenn man die Tatsache berücksichtigt, dass gemäß des Konzepts des Traumanetzwerks der Großteil der Traumaversorgung in Deutschland von überregionalen und regionalen Traumazentren übernommen wird, welche durch Universitätskliniken, BG-Kliniken und Lehrkrankenhäuser gebildet werden, kann das Kollektiv der Umfrage wiederum als repräsentativ für die Versorgungsstruktur der Beckenring- und Acetabulumverletzungen in Deutschland angesehen werden.

5 Zusammenfassung

Die navigierten Operationsverfahren spielen in der Medizin eine zunehmende Rolle. In der Becken- und Acetabulumchirurgie besitzen sie das Potential bei der perkutanen Schraubenplatzierung im Vergleich zum Verfahren unter Standardfluoroskopie eine präzisere Schraubenplatzierung bei gleichzeitiger Einsparung der Strahlendosis zu ermöglichen. Zusätzlich liefern sie eine bessere Darstellung des Operationsgebiets und eine einfachere intraoperative Verfügbarkeit, wodurch die Orientierung für den Operateur und letztlich die Implantatplatzierung erleichtert werden, allerdings nur unter Berücksichtigung diverser Limitationen und entsprechender Expertise des Operateurs. Ziel der Arbeit war es anhand einer deutschlandweit durchgeführten Umfrage aller unfallchirurgischen und orthopädischen Abteilungen kombiniert mit einer strukturierten Literaturrecherche den aktuellen Stellenwert der Navigation (2D-, 3D-, CT-Navigation) in der Becken- und Acetabulumchirurgie zu erarbeiten. Neben einer strukturierten Literaturanalyse wurden 574 deutsche Kliniken kontaktiert, worunter sich 150 Kliniken mit gültigen Fragebögen zurückmeldeten. Der Fragebogen wurde dahingehend konzipiert, dass sich die Kliniken den drei Institutionsarten Universitätsklinik, Lehrkrankenhaus oder BG-Klinik bzw. den drei Arten des Traumazentrums gemäß des Traumanetzwerks der DGU (überregional, regional und lokal) zuordnen ließen um anschließend Aussagen über die Versorgungsstruktur treffen zu können.

Die Umfrage ergab, dass 86 % der Universitätskliniken, 80 % der BG-Klinken und 52 % der Lehrkrankenhäuser bzw. 76 % der überregionalen Traumazentren und 50 % der regionalen und lokalen Traumazentren an ihrer Klinik ein Navigationssystem zur Verfügung stehen haben. Bei der operativen Versorgung von Beckenfrakturen (bzw. Acetabulumfrakturen) gaben davon 64 % (bzw. 50 %) der Universitätskliniken, 40 % (bzw. 40 %) der BG-Kliniken und 52 % (bzw. 7 %) der Lehrkrankenhäuser sowie 42 % (bzw. 33 %) der überregionalen Traumazentren und 58 % (bzw. 5 %) der regionalen Traumazentren an das Navigationssystem anzuwenden. Bei den Lehrkrankenhäusern bzw. lokalen Traumazentren waren dies deutlich weniger. Darunter gaben Universitätskliniken bzw. überregionale Traumazentren am häufigsten an jährlich 11 – 15 Patienten mit Beckenringfrakturen navigiert zu versorgen, während Lehrkrankenhäuser bzw. regionale Traumazentren am häufigsten 6 – 10 Patienten pro

Jahrangaben. Die Zahl der jährlich navigiert versorgten Acetabulumfrakturen lag etwas tiefer. Eine eindeutig präferierte Navigationsart an deutschen Kliniken stellte sich nicht heraus, jedoch kommt die 3D-Navigation etwas häufiger als die 2D-Navigation zum Einsatz, während die CT-Navigation nur in Einzelfällen Anwendung findet. Dies deckt sich mit der in der Studienlage erkennbaren Verdrängung der CT-basierten Navigation zugunsten der 3D-Navigation. Unter den verschiedenen Navigationsarten besitzt die 3D-Navigation einen besonderen Stellenwert, da sie die Vorteile der verschiedenen Navigationsarten kombiniert. Sie vereint die Praktikabilität und intraoperativ einfache Verfügbarkeit der 2D-Navigation mit der hohen Bildqualität und konsekutiv erhöhten Präzision bei der Schraubenplatzierung der CT-Navigation.

Die häufigsten Vorteile der Navigation wurden von den Kliniken in der erhöhten Präzision bei der Implantateinbringung und der Strahlenreduktion gesehen. Limitationen bildeten technische Schwierigkeiten und eine unzureichende Bildqualität, die bereits bei knapp der Hälfte der Kliniken zum vorzeitigen Abbruch der Navigation geführt haben. Ob sich die Navigation in der Becken- und Acetabulumchirurgie in Zukunft als Standardverfahren etablieren wird, konnten sich 64 % der Universitätskliniken, 60 % der BG-Kliniken und hingegen nur 24 % der Lehrkrankenhäuser ($p = 0,006$) bzw. 51 % der überregionalen Traumazentren und lediglich 23 % der regionalen und 20 % der lokalen Traumazentren vorstellen ($p = 0,067$).

Zusammenfassend ergab die Analyse der aktuellen Studienlage zusammen mit den Ergebnissen der Umfrage, dass Navigationssysteme in der Beckenring- und Acetabulumchirurgie zunehmend an Bedeutung gewinnen, jedoch noch nicht flächendeckend als Standardverfahren an deutschen Kliniken eingesetzt werden. Trotz der genannten Vorteile limitieren ein struktureller und personeller Mehraufwand, technische Schwierigkeiten sowie erhöhte Anschaffungs- und Wartungskosten den Einsatz der Navigationsverfahren, sodass die Navigation bisher vor allem großen Zentren (überregionale Traumazentren bzw. BG- und Universitätskliniken) vorbehalten ist. Zur weiteren Beurteilung und Etablierung der Navigationssysteme als Standardverfahren an deutschen Kliniken sind weitere kontrollierte randomisierte Studien in prospektivem Design erforderlich.

6 Literaturverzeichnis

1. Alonso JE, Davila R, Bradley E (1994) Extended iliofemoral versus triradiate approaches in management of associated acetabular fractures. *Clin Orthop Relat Res*:81-87
2. Amanatullah DF, Burrus MT, Sathappan SS, Levine B, Di Cesare PE (2011) Applying computer-assisted navigation techniques to total hip and knee arthroplasty. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)* 40:419-426
3. Amiot LP, Lang K, Putzier M, Zippel H, Labelle H (2000) Comparative results between conventional and computer-assisted pedicle screw installation in the thoracic, lumbar, and sacral spine. *Spine (Phila Pa 1976)* 25:606-614
4. Amiot LP, Poulin F (2004) Computed tomography-based navigation for hip, knee, and spine surgery. *Clin Orthop Relat Res*:77-86
5. Arand M, Kinzl L, Gebhard F (2004) Computer-guidance in percutaneous screw stabilization of the iliosacral joint. *Clin Orthop Relat Res*:201-207
6. Atesok K, Finkelstein J, Khoury A, Peyser A, Weil Y, Liebergall M, Mosheiff R (2007) The use of intraoperative three-dimensional imaging (ISO-C-3D) in fixation of intraarticular fractures. *Injury* 38:1163-1169
7. Atesok K, Finkelstein J, Khoury A, Liebergall M, Mosheiff R (2008) CT (ISO-C-3D) image based computer assisted navigation in trauma surgery: A preliminary report. *Injury Extra* 39:39-43
8. Atesok K, Schemitsch EH (2010) Computer-assisted trauma surgery. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 18:247-258
9. Attias N, Lindsey RW, Starr AJ, Borer D, Bridges K, Hipp JA (2005) The use of a virtual three-dimensional model to evaluate the intraosseous space available for percutaneous screw fixation of acetabular fractures. *J Bone Joint Surg Br* 87:1520-1523
10. Aumüller G, Aust, G., Doll, A. (2006) *Anatomie Duale Reihe*, 1 edn. Thieme
11. Behrendt D, Mutze M, Steinke H, Koestler M, Josten C, Bohme J (2011) Evaluation of 2D and 3D navigation for iliosacral screw fixation. *International journal of computer assisted radiology and surgery*
12. Benninghoff A, Drenckhahn D (2002) *Anatomie. Makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie*, Bd. 1 16 edn. Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH
13. Blake-Toker AM, Hawkins L, Nadalo L, Howard D, Arazoza A, Koonsman M, Dunn E (2001) CT guided percutaneous fixation of sacroiliac fractures in trauma patients. *J Trauma* 51:1117-1121
14. Borrelli J, Jr., Goldfarb C, Catalano L, Evanoff BA (2002) Assessment of articular fragment displacement in acetabular fractures: a comparison of computerized tomography and plain radiographs. *J Orthop Trauma* 16:449-456; discussion 456-447
15. Borrelli J, Jr., Ricci WM, Steger-May K, Totty WG, Goldfarb C (2005) Postoperative radiographic assessment of acetabular fractures: a comparison of plain radiographs and CT scans. *J Orthop Trauma* 19:299-304
16. Bouillon B, Flohé S, Kuhne CA, Lendemans S, Ruchholtz S, Siebert H (2012) *Weißbuch Schwerverletztenversorgung*, 2. Auflage.
17. Breuer R (2003) *Beckenringfrakturen - interne Stabilisation*. *OP-JOURNAL - Wissenschaftliche, klinische und technische Informationen* 19:132
18. Briem D, Linhart W, Lehmann W, Begemann PG, Adam G, Schumacher U, Cullinane DM, Rueger JM, Windolf J (2006) Computer-assisted screw insertion into the first sacral vertebra using a three-dimensional image intensifier: results of a controlled experimental investigation. *Eur Spine J* 15:757-763

19. Briem D, Rueger JM, Begemann PG, Halata Z, Bock T, Linhart W, Windolf J (2006) Computerassistierte Verschraubung des hinteren Beckenrings
Systematischer Vergleich verschiedener Navigationsverfahren am Kadaverpräparat. *Unfallchirurg* 109:640-646
20. Briem D, Windolf J, Rueger JM (2007) Perkutane, 2D- fluoroskopisch navigierte Sakrumverschraubung
in Rückenlage Technik, Möglichkeiten und Grenzen. *Unfallchirurg* 110:393-401
21. Briem D, Grossterlinden L, Lehmann W, Linhart W, Windolf J, Rueger JM (2008) Navigierte Operationsverfahren bei Beckenring- und Azetabulumfrakturen. *Trauma Berufskrankheit*
22. Brown GA, Willis MC, Firoozbakhsh K, Barmada A, Tessman CL, Montgomery A (2000) Computed tomography image-guided surgery in complex acetabular fractures. *Clin Orthop Relat Res*:219-226
23. Champion HR, Sacco WJ, Copes WS (1992) Improvement in outcome from trauma center care. *Arch Surg* 127:333-338; discussion 338
24. Cimerman M, Kristan A (2007) Preoperative planning in pelvic and acetabular surgery: the value of advanced computerised planning modules. *Injury* 38:442-449
25. Citak M, Hufner T, Geerling J, Kfuri M, Jr., Gansslen A, Look V, Kendoff D, Krettek C (2006) Navigated percutaneous pelvic sacroiliac screw fixation: experimental comparison of accuracy between fluoroscopy and Iso-C3D navigation. *Comput Aided Surg* 11:209-213
26. Collinge C, Coons D, Tornetta P, Aschenbrenner J (2005) Standard multiplanar fluoroscopy versus a fluoroscopically based navigation system for the percutaneous insertion of iliosacral screws: a cadaver model. *J Orthop Trauma* 19:254-258
27. Coste C, Asloum Y, Marcheix PS, Dijoux P, Charissoux JL, Mabit C (2013) Percutaneous iliosacral screw fixation in unstable pelvic ring lesions: the interest of O-ARM CT-guided navigation. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR* 99:S273-278
28. Crowl AC, Kahler DM (2002) Closed reduction and percutaneous fixation of anterior column acetabular fractures. *Comput Aided Surg* 7:169-178
29. Culemann U, Reilmann H (1997) [Injuries of the pelvic ring]. *Unfallchirurg* 100:487-496
30. Culemann U, Tosounidis G, Reilmann H, Pohlemann T (2003) [Pelvic fracture. Diagnostics and current treatment options]. *Chirurg* 74:687-698; quiz 699-700
31. Culemann U, Tosounidis G, Reilmann H, Pohlemann T (2004) [Injury to the pelvic ring. Diagnosis and current possibilities for treatment]. *Unfallchirurg* 107:1169-1181; quiz 1182-1163
32. Day AC, Stott PM, Boden RA (2007) The accuracy of computer-assisted percutaneous iliosacral screw placement. *Clin Orthop Relat Res* 463:179-186
33. de Ridder VA, de Lange S, Kingma L, Hogervorst M (1994) Results of 75 consecutive patients with an acetabular fracture. *Clin Orthop Relat Res*:53-57
34. Denis F, Davis S, Comfort T (1988) Sacral fractures: an important problem. Retrospective analysis of 236 cases. *Clin Orthop Relat Res* 227:67-81
35. Eberl R, Muller EJ, Kaminski A, Muhr G (2003) [The postoperative control CT after a fracture of the acetabulum. A useful quality control measure or an unnecessary exposure to radiation?]. *Unfallchirurg* 106:741-745
36. Ebraheim NA, Rusin JJ, Coombs RJ, Jackson WT, Holiday B (1987) Percutaneous computed-tomography-stabilization of pelvic fractures: preliminary report. *J Orthop Trauma* 1:197-204
37. Ebraheim NA, Coombs R, Jackson WT, Rusin JJ (1994) Percutaneous computed tomography-guided stabilization of posterior pelvic fractures. *Clin Orthop Relat Res*:222-228

38. Edwards TB, Gartsman GM, O'Connor DP, Sarin VK (2008) Safety and utility of computer-aided shoulder arthroplasty. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons [et al]* 17:503-508
39. Gandhi R, Marchie A, Farrokhyar F, Mahomed N (2009) Computer navigation in total hip replacement: a meta-analysis. *Int Orthop* 33:593-597
40. Ganz R, Krushell RJ, Jakob RP, Kuffer J (1991) The antishock pelvic clamp. *Clin Orthop Relat Res*:71-78
41. Gao B, Xiang Z, Fang Y, Kong QQ, Huang FG, Cen SQ, Zhong G, Ma J, Wang L (2012) [Percutaneous screw fixation for pelvic fractures with fluoroscopy-based navigation]. *Zhongguo Gu Shang* 25:70-73
42. Gao H, Luo CF, Hu CF, Zhang CQ, Zeng BF (2011) Minimally invasive fluoronavigation screw fixation for the treatment of pelvic ring injuries. *Surgical innovation* 18:279-284
43. Gardner MJ, Farrell ED, Nork SE, Segina DN, Routt ML, Jr. (2009) Percutaneous placement of iliosacral screws without electrodiagnostic monitoring. *J Trauma* 66:1411-1415
44. Gautier E, Bachler R, Heini PF, Nolte LP (2001) Accuracy of computer-guided screw fixation of the sacroiliac joint. *Clin Orthop Relat Res*:310-317
45. Gay SB, Siström C, Wang GJ, Kahler DA, Boman T, McHugh N, Goitz HT (1992) Percutaneous screw fixation of acetabular fractures with CT guidance: preliminary results of a new technique. *AJR Am J Roentgenol* 158:819-822
46. Gebhard F, Kinzl L, Arand M (2000) Computerassistierte Chirurgie. *Der Unfallchirurg* 103:612-617
47. Gebhard F, Kraus M, Schneider E, Arand M, Kinzl L, Hebecker A, Baetz L (2003) Strahlendosis im OP – ein Vergleich computerassistierter Verfahren. *Unfallchirurg* 106:492-497
48. Giannoudis PV, Grotz MR, Papakostidis C, Dinopoulos H (2005) Operative treatment of displaced fractures of the acetabulum. A meta-analysis. *J Bone Joint Surg Br* 87:2-9
49. Giannoudis PV, Tzioupis CC, Pape HC, Roberts CS (2007) Percutaneous fixation of the pelvic ring: an update. *J Bone Joint Surg Br* 89:145-154
50. Gofton W, Dubrowski A, Tabloie F, Backstein D (2007) The effect of computer navigation on trainee learning of surgical skills. *J Bone Joint Surg Am* 89:2819-2827
51. Gras F, Marintschev I, Mendler F, Wilharm A, Muckley T, Hofmann GO (2008) [2D-fluoroscopic navigated screw osteosynthesis of acetabular fractures: A preliminary report]. *Z Orthop Unfall* 146:231-239
52. Gras F, Marintschev I, Klos K, Fujak A, Muckley T, Hofmann GO (2010) Navigated percutaneous screw fixation of a periprosthetic acetabular fracture. *J Arthroplasty* 25:1169 e1161-1164
53. Gras F, Marintschev I, Wilharm A, Klos K, Muckley T, Hofmann GO (2010) 2D-fluoroscopic navigated percutaneous screw fixation of pelvic ring injuries--a case series. *BMC Musculoskelet Disord* 11:153
54. Gras F, Marintschev I, Klos K, Muckley T, Hofmann GO, Kahler DM (2012) Screw Placement for Acetabular Fractures; Which Navigation Modality (2-dimensional vs. 3-dimensional) Should Be Used? An Experimental Study. *J Orthop Trauma*
55. Griffin DR, Starr AJ, Reinert CM, Jones AL, Whitlock S (2003) Vertically unstable pelvic fractures fixed with percutaneous iliosacral screws: does posterior injury pattern predict fixation failure? *J Orthop Trauma* 17:399-405
56. Grifka J, Kuster M (2011) *Orthopädie und Unfallchirurgie*, 1 edn. Springer Berlin Heidelberg
57. Gross T, Jacob AL, Messmer P, Regazzoni P, Steinbrich W, Huegli RW (2004) Transverse acetabular fracture: hybrid minimal access and percutaneous CT-navigated fixation. *AJR Am J Roentgenol* 183:1000-1002

58. Grossterlinden L, Nuechtern J, Begemann PG, Fuhrhop I, Petersen JP, Ruecker A, Rupprecht M, Lehmann W, Schumacher U, Rueger JM, D (2011) Computer-assisted surgery and intraoperative three-dimensional imaging for screw placement in different pelvic regions. *J Trauma* 71:926-932
59. Grossterlinden L, Rueger J, Catala-Lehnen P, Rupprecht M, Lehmann W, Rucker A, D (2011) Factors influencing the accuracy of iliosacral screw placement in trauma patients. *Int Orthop* 35:1391-1396
60. Grutzner PA, Rose E, Vock B, Holz F, Nolte LP, Wentzensen A (2002) Computer-assistierte perkutane Verschraubung des hinteren Beckenrings. *Unfallchirurg* 105:254-260
61. Gundestrup M, Storm HH (1999) Radiation-induced acute myeloid leukaemia and other cancers in commercial jet cockpit crew: a population-based cohort study. *Lancet* 354:2029-2031
62. Guthrie HC, Owens RW, Bircher MD (2010) Fractures of the pelvis. *J Bone Joint Surg Br* 92:1481-1488
63. Hebecker A (2004) C-Arm-Based Navigation. *Navigation and Robotics in Total Joint and Spine Surgery*. Springer Berlin Heidelberg, pp 17-23
64. Hilgert RE, Finn J, Egbers H-J (2005) Technik der perkutanen SI-Verschraubung mit Unterstützung durch konventionellen C-Bogen. *Unfallchirurg* 108:954-960
65. Hinsche AF, Giannoudis PV, Smith RM (2001) Fluoroscopy-Based Multiplanar Image Guidance for Insertion of Sacroiliac Screws. *Clin Orthop Relat Res* 395:135-144
66. Hinsche AF, Giannoudis PV, Smith RM (2002) Fluoroscopy-based multiplanar image guidance for insertion of sacroiliac screws. *Clin Orthop Relat Res*:135-144
67. Hoffmann R, Stockle U, Nittinger M, Sudkamp NP, Haas NP (2000) [Operative treatment of complex acetabular fractures through the modified extensile iliofemoral approach]. *Unfallchirurg* 103:12-21
68. Hofmann GO, Marintschev I, Muckley T, Mendler F (2007) Beckenring- und Azetabulumverletzungen
Stellenwert der Navigation. *Trauma Berufskrankheit* 9:168-171
69. Hong G, Cong-Feng L, Cheng-Fang H, Chang-Qing Z, Bing-Fang Z (2010) Percutaneous screw fixation of acetabular fractures with 2D fluoroscopy-based computerized navigation. *Arch Orthop Trauma Surg* 130:1177-1183
70. Huegeli RW, Staedele H, Messmer P, Regazzoni P, Steinbrich W, Gross T (2004) Displaced Anterior Column Acetabular Fracture: Closed Reduction and Percutaneous CT-Navigated Fixation. *Acta Radiol* 45:618-621
71. Hufner T, Citak M, Tarte S, Gansslen A, Pohlemann T, Geerling J, Krettek C (2003) [Navigated reposition of transverse acetabulum fractures. A precision analysis]. *Unfallchirurg* 106:968-974
72. Hufner T, Geerling J, Kfuri M, Jr., Gansslen A, Citak M, Kirchhoff T, Sott AH, Krettek C (2003) Computer assisted pelvic surgery: registration based on a modified external fixator. *Comput Aided Surg* 8:192-197
73. Hufner T, Gebhard F, Grutzner PA, Messmer P, Stockle U, Krettek C (2004) Which navigation when? *Injury* 35 Suppl 1:S-A30-34
74. Hufner T, Geerling J, Gansslen A, Kendoff D, Citak C, Grutzner P, Krettek C (2004) [Computer-assisted surgery for pelvic injuries]. *Chirurg* 75:961-966
75. Hufner T, Kendoff D, Citak M, Geerling J, Krettek C (2006) [Precision in orthopaedic computer navigation]. *Orthopade* 35:1043-1055
76. Jacob AL, Messmer P, Stock KW, Suhm N, Baumann B, Regazzoni P, Steinbrich W (1997) Posterior pelvic ring fractures: closed reduction and percutaneous CT-guided sacroiliac screw fixation. *Cardiovasc Intervent Radiol* 20:285-294
77. Jacob AL, Suhm N, Kaim A, Regazzoni P, Steinbrich W, Messmer P (2000) Coronal acetabular fractures: the anterior approach in computed tomography-navigated minimally invasive percutaneous fixation. *Cardiovasc Intervent Radiol* 23:327-331

78. Jenny JY (2006) Geschichte und Entwicklung der computerassistierten Chirurgie in der Orthopädie. *Der Orthopäde* 35:1038-1042
79. Jimenez ML, Vrahas MS (1997) Surgical approaches to the acetabulum. *Orthop Clin North Am* 28:419-434
80. John T, Ertel W (2005) [Pelvic injuries in the polytraumatized patient]. *Orthopade* 34:917-930
81. Judet H, Merloz P (2007) [Computer-assisted total hip and knee arthroplasty]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 93:865-869
82. Judet R, Judet J, Letournel E (1964) [Fractures of the Acetabulum]. *Acta Orthop Belg* 30:285-293
83. Kendoff D, Gardner MJ, Citak M, Kfuri M, Jr., Thumes B, Krettek C, Hufner T (2008) Value of 3D fluoroscopic imaging of acetabular fractures comparison to 2D fluoroscopy and CT imaging. *Arch Orthop Trauma Surg* 128:599-605
84. König B, Erdmenger U, Schroder RJ, Wienas G, Schaefer J, Pech M, Stockle U (2005) Evaluation der Bildqualität des Iso-C3D-Bildwandlers im Vergleich mit dem CT Diagnostik und Therapie im Beckenbereich. *Unfallchirurg* 108:378–386
85. König B, Schaser K, Schaffler A, Stockle U, Haas N (2006) Perkutane Reposition und Stabilisierung einer dislozierten Acetabulumfraktur Ein Fallbericht. *Unfallchirurg* 109:328–331
86. König B, Schäffler A, Stöckle U (2009) Periazetabuläre Navigation. *Trauma Berufskrankh* 11:136-139
87. König B (2011) Navigation in der Becken- und Acetabulumchirurgie. Klinische Erfahrungen, Indikationen und Grenzen. *OP-Journal* 27:144
88. Konrad G, Zwingmann J, Kotter E, Sudkamp N, Oberst M (2010) [Variability of the screw position after 3D-navigated sacroiliac screw fixation. Influence of the surgeon's experience with the navigation technique]. *Unfallchirurg* 113:29-35
89. Kraus M, von dem Berge S, Scholl H, Krischak G, Gebhard F (2013) Integration of fluoroscopy-based guidance in orthopaedic trauma surgery - a prospective cohort study. *Injury* 44:1486-1492
90. Kraus MD, Krischak G, Keppler P, Gebhard FT, Schuetz UH (2010) Can computer-assisted surgery reduce the effective dose for spinal fusion and sacroiliac screw insertion? *Clin Orthop Relat Res* 468:2419-2429
91. Kreder HJ, Rozen N, Borkhoff CM, Laflamme YG, McKee MD, Schemitsch EH, Stephen DJ (2006) Determinants of functional outcome after simple and complex acetabular fractures involving the posterior wall. *J Bone Joint Surg Br* 88:776-782
92. Krettek C, Geerling J, Bastian L, Citak M, Rucker F, Kendoff D, Hufner T (2004) Computer aided tumor resection in the pelvis. *Injury* 35 Suppl 1:S-A79-83
93. Krettek C, Geerling J, Gansslen A, Kendoff D, Citak C, Hufner T (2005) Einsatz der Navigation bei Beckenoperationen. *Trauma Berufskrankheit* 7:139-144
94. Laird A, Keating JF (2005) Acetabular fractures: a 16-year prospective epidemiological study. *J Bone Joint Surg Br* 87:969-973
95. Letournel E (1980) Acetabulum fractures: classification and management. *Clin Orthop Relat Res*:81-106
96. Letournel E (1993) The treatment of acetabular fractures through the ilioinguinal approach. *Clin Orthop Relat Res*:62-76
97. Letournel E (1994) Fractures of the acetabulum. A study of a series of 75 cases. 1961. *Clin Orthop Relat Res*:5-9
98. Li B, He J, Zhu Z, Zhou D, Hao Z, Wang Y, Li Q (2015) Comparison of 3D C-arm fluoroscopy and 3D image-guided navigation for minimally invasive pelvic surgery. *International journal of computer assisted radiology and surgery*:1-8
99. Lin F, Lim D, Wixson RL, Milos S, Hendrix RW, Makhosous M (2011) Limitations of imageless computer-assisted navigation for total hip arthroplasty. *J Arthroplasty* 26:596-605

100. Lin YC, Chen CH, Huang HT, Chen JC, Huang PJ, Hung SH, Liu PC, Lee TY, Chen LH, Chang JK (2008) Percutaneous antegrade screwing for anterior column fracture of acetabulum with fluoroscopic-based computerized navigation. *Arch Orthop Trauma Surg* 128:223-226
101. Luo CF, Zhou KH, Gao H, Hu CF, Chen J, Zeng BF (2007) [Minimally invasive surgery of pelvic-acetabular fractures with fluoro-navigation]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi* 87:3030-3034
102. Marintschev I, Gras F, Muckley T, Hofmann GO (2008) Stellenwert der Navigation in der Beckenchirurgie. *Trauma Berufskrankheit* 10:131-135
103. Matta JM, Anderson LM, Epstein HC, Hendricks P (1986) Fractures of the acetabulum. A retrospective analysis. *Clin Orthop Relat Res*:230-240
104. Matta JM, Mehne DK, Roffi R (1986) Fractures of the acetabulum. Early results of a prospective study. *Clin Orthop Relat Res*:241-250
105. Matta JM, Merritt PO (1988) Displaced acetabular fractures. *Clin Orthop Relat Res*:83-97
106. Matta JM, Saucedo T (1989) Internal fixation of pelvic ring fractures. *Clin Orthop Relat Res*:83-97
107. Matta JM (1994) Operative treatment of acetabular fractures through the ilioinguinal approach. A 10-year perspective. *Clin Orthop Relat Res*:10-19
108. Matta JM (1996) Fractures of the acetabulum: accuracy of reduction and clinical results in patients managed operatively within three weeks after the injury. *J Bone Joint Surg Am* 78:1632-1645
109. Maurer M, Jandura O (2009) Masse statt Klasse? Einige kritische Anmerkungen zu Repräsentativität und Validität von Online-Befragungen. In: Jakob N, Schoen H, Zerback T (eds) *Sozialforschung im Internet*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, pp 61-73
110. Mayo KA (1994) Open reduction and internal fixation of fractures of the acetabulum. Results in 163 fractures. *Clin Orthop Relat Res*:31-37
111. Mears DC, Velyvis JH, Chang CP (2003) Displaced acetabular fractures managed operatively: indicators of outcome. *Clin Orthop Relat Res*:173-186
112. Mehlman CT, DiPasquale TG (1997) Radiation exposure to the orthopaedic surgical team during fluoroscopy: "how far away is far enough?". *J Orthop Trauma* 11:392-398
113. Mezger U, Jendrewski C, Bartels M (2013) Navigation in surgery. *Langenbeck's archives of surgery / Deutsche Gesellschaft für Chirurgie* 398:501-514
114. Moed BR, Ahmad BK, Craig JG, Jacobson GP, Anders MJ (1998) Intraoperative monitoring with stimulus-evoked electromyography during placement of iliosacral screws. An initial clinical study. *J Bone Joint Surg Am* 80:537-546
115. Moed BR, Carr SE, Gruson KI, Watson JT, Craig JG (2003) Computed tomographic assessment of fractures of the posterior wall of the acetabulum after operative treatment. *J Bone Joint Surg Am* 85-A:512-522
116. Moed BR, Geer BL (2006) S2 iliosacral screw fixation for disruptions of the posterior pelvic ring: a report of 49 cases. *J Orthop Trauma* 20:378-383
117. Moore KL, Dalley AF, Agur AMR (2010) *Clinically oriented anatomy*: [includes online access to the fully searchable text, review questions, case studies, images, and more!], 6. edn. Wolters Kluwer, Philadelphia, Pa. u.a.
118. Mosheiff R, Houry A, Weil Y, Liebergall M (2004) First generation computerized fluoroscopic navigation in percutaneous pelvic surgery. *J Orthop Trauma* 18:106-111
119. Mouhsine E, Garofalo R, Borens O, Wettstein M, Blanc CH, Fischer JF, Moretti B, Leyvraz PF (2005) Percutaneous retrograde screwing for stabilisation of acetabular fractures. *Injury* 36:1330-1336
120. Müller-Mai C, Ekkernkamp A. (2010) *Frakturen - Klassifikation und Behandlungsoptionen* Springer Berlin Heidelberg

121. Mullins RJ, Mann NC (1999) Population-based research assessing the effectiveness of trauma systems. *J Trauma* 47:S59-66
122. Neugebauer R (2003) Sakrumfrakturen. *OP-Journal* 19:140
123. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P (2009) Orthopädie und Unfallchirurgie, 6 edn
124. Nork SE, Jones CB, Harding SP, Mirza SK, Routt ML, Jr. (2001) Percutaneous stabilization of U-shaped sacral fractures using iliosacral screws: technique and early results. *J Orthop Trauma* 15:238-246
125. Norris BL, Hahn DH, Bosse MJ, Kellam JF, Sims SH (1999) Intraoperative fluoroscopy to evaluate fracture reduction and hardware placement during acetabular surgery. *J Orthop Trauma* 13:414-417
126. Oberst M, Bertsch C, Wurstlin S, Holz U (2003) [CT analysis of leg alignment after conventional vs. navigated knee prosthesis implantation. Initial results of a controlled, prospective and randomized study]. *Unfallchirurg* 106:941-948
127. Oberst M, Hauschild O, Konstantinidis L, Suedkamp NP, Schmal H (2012) Effects of three-dimensional navigation on intraoperative management and early postoperative outcome after open reduction and internal fixation of displaced acetabular fractures. *The journal of trauma and acute care surgery*
128. Ochs BG, Gonser C, Shiozawa T, Badke A, Weise K, Rolauffs B, Stuby FM (2010) Computer-assisted periacetabular screw placement: Comparison of different fluoroscopy-based navigation procedures with conventional technique. *Injury* 41:1297-1305
129. Ochs BG, Marintschev I, Hoyer H, Rolauffs B, Culemann U, Pohlemann T, Stuby FM (2010) Changes in the treatment of acetabular fractures over 15 years: Analysis of 1266 cases treated by the German Pelvic Multicentre Study Group (DAO/DGU). *Injury* 41:839-851
130. Ochs BG, Bahrs C, Stöckle U, Zwart PMd (2011) Navigation in der Knieendoprothetik. *OP-JOURNAL* 27:152-158
131. Ohnsorge JA, Schkommodau E, Wirtz DC, Wildberger JE, Prescher A, Siebert CH (2003) [Accuracy of fluoroscopically navigated drilling procedures at the hip]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 141:112-119
132. Parker PJ, Copeland C (1997) Percutaneous fluoroscopic screw fixation of acetabular fractures. *Injury* 28:597-600
133. Parratte S, Argenson JN (2007) Validation and usefulness of a computer-assisted cup-positioning system in total hip arthroplasty. A prospective, randomized, controlled study. *J Bone Joint Surg Am* 89:494-499
134. Peng KT, Huang KC, Chen MC, Li YY, Hsu RW (2006) Percutaneous placement of iliosacral screws for unstable pelvic ring injuries: comparison between one and two C-arm fluoroscopic techniques. *J Trauma* 60:602-608
135. Peng KT, Li YY, Hsu WH, Wu MH, Yang JT, Hsu CH, Huang TJ (2013) Intraoperative computed tomography with integrated navigation in percutaneous iliosacral screwing. *Injury* 44:203-208
136. Pohlemann T, Gansslen A, Kiessling B, Bosch U, Haas N, Tscherne H (1992) [Determining indications and osteosynthesis techniques for the pelvic girdle]. *Unfallchirurg* 95:197-209
137. Pohlemann T, Tscherne H, Baumgartel F, Egbers HJ, Euler E, Maurer F, Fell M, Mayr E, Quirini WW, Schlickewei W, Weinberg A (1996) [Pelvic fractures: epidemiology, therapy and long-term outcome. Overview of the multicenter study of the Pelvis Study Group]. *Unfallchirurg* 99:160-167
138. Pressmar J (2003) Versorgung von hämodynamisch stabilen, mechanisch instabilen Verletzungen einschließlich Sakroiliakgelenk. *OP-JOURNAL - Wissenschaftliche, klinische und technische Informationen* 19:118
139. Ragnarsson B, Jacobsson B (1992) Epidemiology of pelvic fractures in a Swedish county. *Acta orthopaedica Scandinavica* 63:297-300

140. Reinert CM, Bosse MJ, Poka A, Schacherer T, Brumback RJ, Burgess AR (1988) A modified extensile exposure for the treatment of complex or malunited acetabular fractures. *J Bone Joint Surg Am* 70:329-337
141. Rock C, Linsenmaier U, Brandl R, Kotsianos D, Wirth S, Kaltschmidt R, Euler E, Mutschler W, Pfeifer KJ (2001) Vorstellung eines neuen mobilen C-Bogen-/CT-Kombinationsgerät (ISO-C-3D); Erste Ergebnisse der 3D-Schnittbildgebung. *Unfallchirurg* 104:827-833
142. Rosenberger RE, Dolati B, Larndorfer R, Blauth M, Krappinger D, Bale RJ (2010) Accuracy of minimally invasive navigated acetabular and iliosacral fracture stabilization using a targeting and noninvasive registration device. *Arch Orthop Trauma Surg* 130:223-230
143. Routt ML, Jr., Kregor PJ, Simonian PT, Mayo KA (1995) Early results of percutaneous iliosacral screws placed with the patient in the supine position. *J Orthop Trauma* 9:207-214
144. Routt ML, Jr., Simonian PT, Grujic L (1995) The retrograde medullary superior pubic ramus screw for the treatment of anterior pelvic ring disruptions: a new technique. *J Orthop Trauma* 9:35-44
145. Routt ML, Jr., Simonian PT (1996) Closed reduction and percutaneous skeletal fixation of sacral fractures. *Clin Orthop Relat Res*:121-128
146. Routt ML, Jr., Simonian PT, Agnew SG, Mann FA (1996) Radiographic recognition of the sacral alar slope for optimal placement of iliosacral screws: a cadaveric and clinical study. *J Orthop Trauma* 10:171-177
147. Routt ML, Jr., Simonian PT, Mills WJ (1997) Iliosacral screw fixation: early complications of the percutaneous technique. *J Orthop Trauma* 11:584-589
148. Ruan Z, Luo CF, Zeng BF, Zhang CQ (2012) Percutaneous screw fixation for the acetabular fracture with quadrilateral plate involved by three-dimensional fluoroscopy navigation: surgical technique. *Injury* 43:517-521
149. Sagi HC, Lindvall EM (2005) Inadvertent intraforaminal iliosacral screw placement despite apparent appropriate positioning on intraoperative fluoroscopy. *J Orthop Trauma* 19:130-133
150. Schep NW, Haverlag R, van Vugt AB (2004) Computer-assisted versus conventional surgery for insertion of 96 cannulated iliosacral screws in patients with postpartum pelvic pain. *J Trauma* 57:1299-1302
151. Schep NW, van Vugt AB (2006) [Navigation surgery and fracture treatment]. *Ned Tijdschr Geneeskd* 150:2301-2306
152. Schnake KJ, König B, Berth U, Schroeder RJ, Kandziora F, Stockle U, Raschke M, Haas NP (2004) [Accuracy of CT-based navigation of pedicle screws in the thoracic spine compared with conventional technique]. *Unfallchirurg* 107:104-112
153. Schweitzer D, Zylberberg A, Cordova M, Gonzalez J (2008) Closed reduction and iliosacral percutaneous fixation of unstable pelvic ring fractures. *Injury* 39:869-874
154. Shackford SR, Mackersie RC, Hoyt DB, Baxt WG, Eastman AB, Hammill FN, Knotts FB, Virgilio RW (1987) Impact of a trauma system on outcome of severely injured patients. *Arch Surg* 122:523-527
155. Shuler TE, Boone DC, Gruen GS, Peitzman AB (1995) Percutaneous iliosacral screw fixation: early treatment for unstable posterior pelvic ring disruptions. *J Trauma* 38:453-458
156. Slomczykowski MA, Hofstetter R, Sati M, Krettek C, Nolte LP (2001) Novel computer-assisted fluoroscopy system for intraoperative guidance: feasibility study for distal locking of femoral nails. *J Orthop Trauma* 15:122-131
157. Smith HE, Yuan PS, Sasso R, Papadopolous S, Vaccaro AR (2006) An evaluation of image-guided technologies in the placement of percutaneous iliosacral screws. *Spine (Phila Pa 1976)* 31:234-238

158. Smith HE, Welsch MD, Sasso RC, Vaccaro AR (2008) Comparison of radiation exposure in lumbar pedicle screw placement with fluoroscopy vs computer-assisted image guidance with intraoperative three-dimensional imaging. *The journal of spinal cord medicine* 31:532-537
159. Sobotta J, Paulsen F (2010) *Allgemeine Anatomie und Bewegungsapparat. Atlas der Anatomie des Menschen.* p 406 S.
160. Spahn DR, Cerny V, Coats TJ, Duranteau J, Fernandez-Mondejar E, Gordini G, Stahel PF, Hunt BJ, Komadina R, Neugebauer E, Ozier Y, Riddez L, Schultz A, Vincent JL, Rossaint R, Task Force for Advanced Bleeding Care in T (2007) Management of bleeding following major trauma: a European guideline. *Critical care* 11:R17
161. Starr AJ, Reinert CM, Jones AL (1998) Percutaneous fixation of the columns of the acetabulum: a new technique. *J Orthop Trauma* 12:51-58
162. Starr AJ, Jones AL, Reinert CM, Borer DS (2001) Preliminary results and complications following limited open reduction and percutaneous screw fixation of displaced fractures of the acetabulum. *Injury* 32 Suppl 1:SA45-50
163. Starr AJ, Walter JC, Harris RW, Reinert CM, Jones AL (2002) Percutaneous screw fixation of fractures of the iliac wing and fracture-dislocations of the sacro-iliac joint (OTA Types 61-B2.2 and 61-B2.3, or Young-Burgess "lateral compression type II" pelvic fractures). *J Orthop Trauma* 16:116-123
164. Starr AJ, Nakatani T, Reinert CM, Cederberg K (2008) Superior pubic ramus fractures fixed with percutaneous screws: what predicts fixation failure? *J Orthop Trauma* 22:81-87
165. Stockle U, König B, Hofstetter R, Nolte LP, Haas NP (2001) [Navigation assisted by image conversion. An experimental study on pelvic screw fixation]. *Unfallchirurg* 104:215-220
166. Stockle U, Hoffmann R, Sudkamp NP, Reindl R, Haas NP (2002) Treatment of complex acetabular fractures through a modified extended iliofemoral approach. *J Orthop Trauma* 16:220-230
167. Stockle U, König B, Dahne M, Raschke M, Haas NP (2002) [Computer assisted pelvic and acetabular surgery. Clinical experiences and indications]. *Unfallchirurg* 105:886-892
168. Stockle U, König B, Schaser K, Melcher I, Haas NP (2003) [CT and fluoroscopy based navigation in pelvic surgery]. *Unfallchirurg* 106:914-920
169. Stockle U, Krettek C, Pohlemann T, Messmer P (2004) Clinical applications--pelvis. *Injury* 35 Suppl 1:S-A46-56
170. Stockle U, Schaser K, König B (2007) Image guidance in pelvic and acetabular surgery--expectations, success and limitations. *Injury* 38:450-462
171. Stöckle U (2001) Schräg dorsaler Beckenfixateur: ein neues Konzept zur Beckenstabilisierung ; klinische und biomechanische Grundlagen, Entwicklung, biomechanische Testung
172. Stöckle U, Schäffler A, König B, Haas NP (2006) Integrierte Navigation. *Der Unfallchirurg* 109:925-931
173. Suhm N, Jacob AL, Nolte LP, Regazzoni P, Messmer P (2000) Surgical navigation based on fluoroscopy--clinical application for computer-assisted distal locking of intramedullary implants. *Comput Aided Surg* 5:391-400
174. Sun YQ, Citak M, Kendoff D, Gansslen A, Krettek C, Hufner T (2008) [Navigated percutaneous placement of iliosacral screws using intra-operative three-dimensional imaging]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi* 88:3226-3229
175. Takao M, Nishii T, Sakai T, Yoshikawa H, Sugano N (2014) Iliosacral screw insertion using CT-3D-fluoroscopy matching navigation. *Injury* 45:988-994
176. Templeman D, Goulet J, Duwelius PJ, Olson S, Davidson M (1996) Internal fixation of displaced fractures of the sacrum. *Clin Orthop Relat Res*:180-185

177. Templeman D, Schmidt A, Freese J, Weisman I (1996) Proximity of iliosacral screws to neurovascular structures after internal fixation. *Clin Orthop Relat Res*:194-198
178. Tile M (1984) *Fractures of the Pelvis and Acetabulum*. Williams & Wilkins
179. Tile M (1988) Pelvic ring fractures: should they be fixed? *J Bone Joint Surg Br* 70:1-12
180. Tile M (1996) Acute Pelvic Fractures: I. Causation and Classification. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 4:143-151
181. Tile M, Helfet D, Kellam J (2003) *Fractures of the Pelvis and Acetabulum*. Lippincott Williams & Wilkins
182. Tjardes T, Shafizadeh S, Rixen D, Paffrath T, Bouillon B, Steinhausen ES, Baethis H (2010) Image-guided spine surgery: state of the art and future directions. *Eur Spine J* 19:25-45
183. Tonetti J, Carrat L, Lavallee S, Pittet L, Merloz P, Chirossel JP (1998) Percutaneous iliosacral screw placement using image guided techniques. *Clin Orthop Relat Res*:103-110
184. Tonetti J, Cloppet O, Clerc M, Pittet L, Troccaz J, Merloz P, Chirossel J (2000) [Implantation of iliosacral screws. Simulation of optimal placement by 3-dimensional X-ray computed tomography]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 86:360-369
185. Tonetti J, Carrat L, Blendea S, Merloz P, Troccaz J, Lavallee S, Chirossel JP (2001) Clinical results of percutaneous pelvic surgery. Computer assisted surgery using ultrasound compared to standard fluoroscopy. *Comput Aided Surg* 6:204-211
186. Tonetti J, van Overschelde J, Sadok B, Vouaillat H, Eid A (2013) Percutaneous ilio-sacral screw insertion. fluoroscopic techniques. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR* 99:965-972
187. Tosounidis G, Culemann U, Wirbel R, Holstein JH, Pohlemann T (2007) Die perkutane transiliosakrale Zugschraubenosteosynthese des hinteren Beckenrings
Erhöhte Sicherheit durch Standardisierung von Visualisierung und Technik. *Unfallchirurg* 110:669-674
188. Tosounidis G, Culemann U, Pohlemann T (2009) Aktuelle Therapiekonzepte bei Beckenringverletzungen *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date* 4:107-120
189. Tscherne H, Pohlemann T. (1998) *Tscherne Unfallchirurgie Becken und Acetabulum* Springer
190. van den Bosch EW, van Zwienen CM, van Vugt AB (2002) Fluoroscopic positioning of sacroiliac screws in 88 patients. *J Trauma* 53:44-48
191. van Zwienen CM, van den Bosch EW, Snijders CJ, Kleinrensink GJ, van Vugt AB (2004) Biomechanical comparison of sacroiliac screw techniques for unstable pelvic ring fractures. *J Orthop Trauma* 18:589-595
192. Weber TG, Mast JW (1994) The extended ilioinguinal approach for specific both column fractures. *Clin Orthop Relat Res*:106-111
193. Weigel B, Nerlich, M. (2011) *Praxisbuch Unfallchirurgie*. Springer Berlin Heidelberg
194. Wendl K, von Recum J, Wentzensen A, Grützner PA (2003) Iso-C3D-gestützte navigierte Implantation von Pedikelschrauben an BWS und LWS. *Der Unfallchirurg* 106:907-913
195. Wich M, Tober V, Vahrmeyer S, Ekkernkamp A (2003) Operative interne Stabilisierung von Beckenringfrakturen in Abhängigkeit von der Klassifikation. *Trauma Berufskrankh* 5:71-78
196. Widmann G, Schullian P, Fasser M, Niederwanger C, Bale R (2013) CT-guided stereotactic targeting accuracy of osteoid osteoma. *Int J Med Robot* 9:274-279
197. Wieners G, Pech M, Beck A, König B, Erdmenger U, Stockle U, Wust P, Felix R, Schroder RJ (2005) [Comparison of radiation dose and image quality of Siremobil-IsoC(3D) with a 16-slice spiral CT for diagnosis and intervention in the human pelvic bone]. *Rof* 177:258-264
198. Wright R, Barrett K, Christie MJ, Johnson KD (1994) Acetabular fractures: long-term follow-up of open reduction and internal fixation. *J Orthop Trauma* 8:397-403

199. Xu P, Wang H, Liu ZY, Mu WD, Xu SH, Wang LB, Chen C, Cavanaugh JM (2013) An evaluation of three-dimensional image-guided technologies in percutaneous pelvic and acetabular lag screw placement. *The Journal of surgical research* 185:338-346
200. Zeichen J, Pohlemann T, Gansslen A, Lobenhoffer P, Tscherne H (1995) [Results of follow-up of surgical treatment of complicated acetabulum fractures with extended approaches]. *Unfallchirurg* 98:361-368
201. Zeng Z, Luo C, Hu C (2009) [Minimal invasive fixation for pelvic fracture with fluoroscopy-based navigation]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi* 23:1302-1305
202. Zhang W, Luo C, Hu C, Zeng B (2011) [Minimal invasive fixation for acetabular fracture with three dimensional fluoro-images based on navigation]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi* 25:517-520
203. Ziran BH, Wasan AD, Marks DM, Olson SA, Chapman MW (2007) Fluoroscopic imaging guides of the posterior pelvis pertaining to iliosacral screw placement. *J Trauma* 62:347-356; discussion 356
204. Zulick LC, Dietz PA, Brooks K (1991) Trauma experience of a rural hospital. *Arch Surg* 126:1427-1430
205. Zura RD, Kahler DM (2000) A transverse acetabular nonunion treated with computer-assisted percutaneous internal fixation. A case report. *J Bone Joint Surg Am* 82:219-224
206. Zwingmann J, Konrad G, Kotter E, Sudkamp NP, Oberst M (2009) Computer-navigated iliosacral screw insertion reduces malposition rate and radiation exposure. *Clin Orthop Relat Res* 467:1833-1838
207. Zwingmann J, Konrad G, Mehlhorn AT, Sudkamp NP, Oberst M (2010) Percutaneous iliosacral screw insertion: malpositioning and revision rate of screws with regards to application technique (navigated vs. Conventional). *J Trauma* 69:1501-1506
208. Zwingmann J, Sudkamp NP, Konig B, Culemann U, Pohlemann T, Aghayev E, Schmal H (2013) Intra- and postoperative complications of navigated and conventional techniques in percutaneous iliosacral screw fixation after pelvic fractures: Results from the German Pelvic Trauma Registry. *Injury* 44:1765-1772

7 Erklärung zum Eigenteil

Die Arbeit wurde in der berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen unter der Betreuung von Herrn Prof. Dr. G. Ochs durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte durch Herrn Prof. Dr. Ochs, leitender Arzt der Sektion Endoprothetik, Herrn PD Dr. Fabian M. Stuby, leitender Oberarzt der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie und leitender Arzt der Sektion Traumatologie sowie Herrn PD Dr. A. Badke, Chefarzt der Abteilung für Querschnittgelähmte, Technische Orthopädie und Wirbelsäulenchirurgie.

Die Datenerhebung und -verarbeitung wurden nach Einarbeitung durch Herrn Prof. Dr. Ochs von mir eigenständig durchgeführt.

Die statistische Auswertung erfolgte nach Beratung durch Herrn Dr. W. Schreiber vom Zentrum für Methoden, Diagnostik und Evaluation der Universität Koblenz-Landau durch mich.

Ich versichere, das Manuskript selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Ort, Datum

Unterschrift

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Registrierungsvorgang am Becken (Quelle: Hüfner et al. 2004 [73]).....	9
Abb. 2 a. CT-gestützte perkutane Schraubenosteosynthese einer vorderen Pfeilerfraktur. b. Intraoperative Monitoransicht und OP-Setup (Quelle: Stöckle et al. 2002 [167]).....	9
Abb. 3 Postoperative Röntgen- und CT-Kontrolle nach perkutaner Verschraubung einer vorderen Pfeilerfraktur: links ap-Röntgenaufnahme, rechts CT-Aufnahme mit endgültiger Implantatlage und Planungstrajektorie (rote Linie) (Quelle: Stöckle et al. 2002 [167]).....	9
Abb. 4 2D-bildwandlergestützte Navigation: b Der xSpot™ wird in den Strahlengang gehalten. c 2 Projektionen (ala und oblique) mit Instrumentendarstellung (Quelle: König et al. 2011 [87]).....	11
Abb. 5 Nach durchgeführtem Iso-C-3D-Scan erfolgt das Einlesen der Daten in das Navigationssystem (Quelle: Hüfner et. al 2004 [74])	12
Abb. 6 Knöchernes Becken. (Quelle: Clinically Oriented Anatomy, 6th ed, Lippincott Williams & Wilkins, 2010 [117])	14
Abb. 7 Ligamente des Beckens. (Quelle: Clinically Oriented Anatomy, 6th ed, Lippincott Williams & Wilkins, 2010 [117])	15
Abb. 8 Einstelltechnik der Inlet- und Outletaufnahme (Quelle: Grifka, Orthopädie und Unfallchirurgie, 2011 [56])	18
Abb. 9 Oben: Ala-Aufnahme: a Einstellung, b hinterer Pfeiler (1), vorderer Pfannenrand (2). Unten: Obturator-Aufnahme: a Einstellung, b vorderer Pfeiler (1), hinterer Pfannenrand (2) (Quelle: Grifka, Orthopädie und Unfallchirurgie, 2011 [56])	19
Abb. 10 Beckenringfrakturen nach Tile (Quelle: Grifka, Orthopädie und Unfallchirurgie 2011 [56]).....	21
Abb. 11 AO-Klassifikation der Typ A - Frakturen (Quelle: Müller-Mai, Frakturen 2010 [120])	22
Abb. 12 AO-Klassifikation der Typ B - Frakturen (Quelle: Müller-Mai, Frakturen 2010 [120])	23
Abb. 13 AO-Klassifikation der Typ C - Frakturen (Quelle: Müller-Mai, Frakturen 2010 [120])	23
Abb. 14: Morphologische Einteilung der Acetabulums nach Judet und Letournel (Quelle: Niethard, Duale Reihe Orthopädie und Unfallchirurgie 2009 [123])	24
Abb. 15 Klassifikation der Acetabulumfrakturen nach Letournel (Quelle: Weigel und Nerlich, Praxisbuch Unfallchirurgie 2011 [193])	25

Abb. 16 Formen der Instabilität bei Frakturen des Beckenrings (Quelle: Tosounidis et al. 2009 [188]).....	29
Abb. 17: Schraubenkorridore des Acetabulums und des hinteren Beckenrings in der a.-p. und lateralen Projektion: (1) SI-Schraube in S1, (2) SI-Schraube in S2, (3) supraacetabuläre Iliumschraube, (4) vordere Pfeilerschraube, (5) hintere Pfeilerschraube (Quelle: Stöckle et al. 2001 [165]).....	33
Abb. 18 Verwendetes Kollektiv zur Auswertung sortiert nach Klinikart und Traumazentrum..	63
Abb. 19: supraacetabuläre Iliumschraube (<i>grün</i>), vordere Pfeilerschraube (<i>gelb</i>), hintere Pfeilerschraube (<i>orange</i>).....	79

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Klassifikation der Acetabulumfrakturen nach Judet und Letournel	25
Tab. 2 Durchleuchtungszeiten in Abhängigkeit von der Navigationsart in der Beckenchirurgie	48
Tab. 3 Operationszeiten in Abhängigkeit von der Navigationsart in der Beckenchirurgie	51
Tab. 4 Durchleuchtungszeiten in Abhängigkeit von der Navigationsart in der Acetabulumchirurgie	54
Tab. 5 Operationszeiten in Abhängigkeit von der Navigationsart in der Acetabulumchirurgie	55
Tab. 6 Implantatlage bzw. Fehlplatzierungsrate in Abhängigkeit von der Navigationsart in der Beckenchirurgie	58
Tab. 7 Implantatlage bzw. Fehlplatzierungsrate in Abhängigkeit von der Navigationsart in der Acetabulumchirurgie	61
Tab. 8 Frage 4: Wieviele Beckenringfrakturen werden an Ihrer Klinik operativ behandelt?	65
Tab. 9 Frage 4: Wieviele Beckenringfrakturen werden an Ihrer Klinik operativ behandelt?	65
Tab. 10 Frage 5: Wieviele Acetabulumfrakturen werden an Ihrer Klinik operativ behandelt? ..	66
Tab. 11 Frage 5: Wieviele Acetabulumfrakturen werden an Ihrer Klinik operativ behandelt? ..	66
Tab. 12 Frage 6: Wieviele Kollegen operieren an Ihrer Klinik Beckenring- bzw. Acetabulumfrakturen?	66
Tab. 13 Frage 6: Wieviele Kollegen operieren an Ihrer Klinik Beckenring- bzw. Acetabulumfrakturen?	67
Tab. 14 Frage 7: Welchen Ausbildungsstand haben diese Kollegen?	67
Tab. 15 Frage 7: Welchen Ausbildungsstand haben diese Kollegen?	68
Tab. 16 Frage 8: Steht Ihnen an Ihrer Klinik/Abteilung ein Navigationssystem zur Verfügung?	68
Tab. 17 Frage 8: Steht Ihnen an Ihrer Klinik/Abteilung ein Navigationssystem zur Verfügung?	68
Tab. 18 Frage 9: Wenn ja, welches?	69
Tab. 19 Frage 9: Wenn ja, welches?	69
Tab. 20 Frage 10: Setzen Sie dieses Navigationssystem in der operativen Versorgung von Beckenringfrakturen ein?	70
Tab. 21 Frage 10: Setzen Sie dieses Navigationssystem in der operativen Versorgung von Beckenringfrakturen ein?	70
Tab. 22 Frage 11: Setzen Sie dieses Navigationssystem in der operativen Versorgung von Acetabulumfrakturen ein?	71

Tab. 23 Frage 11: Setzen Sie dieses Navigationssystem in der operativen Versorgung von Acetabulumfrakturen ein?	71
Tab. 24 Frage 12: Wieviele Patienten mit Beckenringfrakturen versorgen Sie mit Navigation?	72
Tab. 25 Frage 12: Wieviele Patienten mit Beckenringfrakturen versorgen Sie mit Navigation?	72
Tab. 26 Frage 13: Wieviele Patienten mit Acetabulumfrakturen versorgen Sie mit Navigation?	73
Tab. 27 Frage 13: Wieviele Patienten mit Acetabulumfrakturen versorgen Sie mit Navigation?	73
Tab. 28 Frage 14: Wieviele Operateure setzen die Navigation für die Versorgung von Beckenring- bzw. Acetabulumfrakturen ein?.....	74
Tab. 29 Frage 14: Wieviele Operateure setzen die Navigation für die Versorgung von Beckenring- bzw. Acetabulumfrakturen ein?.....	74
Tab. 30 Frage 15: Welchen Ausbildungsstand haben diese Kollegen?	75
Tab. 31 Frage 15: Welchen Ausbildungsstand haben diese Kollegen?	75
Tab. 32 Frage 16: Welche Bildgebung verwenden Sie für die navigierte Versorgung der Beckenringfraktur?.....	76
Tab. 33 Frage 16: Welche Bildgebung verwenden Sie für die navigierte Versorgung der Beckenringfraktur?.....	76
Tab. 34 Frage 17: Welche Bildgebung verwenden Sie für die navigierte Versorgung der Acetabulumfraktur?.....	77
Tab. 35 Frage 17: Welche Bildgebung verwenden Sie für die navigierte Versorgung der Acetabulumfraktur?.....	77
Tab. 36 Frage 18: Welcher 3D-Bildwandler steht Ihnen zur Verfügung, wenn Sie die 3D-Fluoroskopie anwenden?.....	78
Tab. 37 Frage 18: Welcher 3D-Bildwandler steht Ihnen zur Verfügung, wenn Sie die 3D-Fluoroskopie anwenden?.....	78
Tab. 38 Durchführung der Schraubenplatzierung (Fragen 19 – 23) sortiert nach Klinikart	80
Tab. 39 Durchführung der Schraubenplatzierung (Fragen 19 – 23) sortiert nach Art des Traumazentrums.....	81
Tab. 40 Schwierigkeiten und Limitationen der Navigation (Fragen 24 – 25) sortiert nach Klinikart	83
Tab. 41 Schwierigkeiten und Limitationen der Navigation (Fragen 24 – 25) sortiert nach Art des Traumazentrums	83

Tab. 42 Durchführung der intra- und postoperativen Lagekontrolle (Fragen 26 – 29) sortiert nach Klinikart.....	85
Tab. 43 Durchführung der intra- und postoperativen Lagekontrolle (Fragen 26 – 29) sortiert nach Art des Traumazentrums.....	86
Tab. 44 Frage 30: Sehen Sie Vorteile in der Navigation bei der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen?.....	87
Tab. 45 Frage 30: Sehen Sie Vorteile in der Navigation bei der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen?.....	87
Tab. 46 Frage 31: Wenn ja, welche?.....	87
Tab. 47 Frage 31: Wenn ja, welche?.....	88
Tab. 48 Frage 32: Glauben Sie, dass die Navigation in den nächsten 5-10 Jahren zu den Standardverfahren in der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen gehören wird?.....	88
Tab. 49 Frage 32: Glauben Sie, dass die Navigation in den nächsten 5-10 Jahren zu den Standardverfahren in der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen gehören wird?.....	89
Tab. 50 Ergebnisse verschiedener Navigationsverfahren gegenüber der Standardfluoroskopie bei perkutaner Schraubenfixation am Beckenring.....	128
Tab. 51 Ergebnisse verschiedener Navigationsverfahren gegenüber der Standardfluoroskopie bei perkutaner Schraubenfixation am Acetabulum.....	136

Anhang

- Tabellarische Darstellung der Ergebnisse der Literaturrecherche
- Fragebogen der Umfrage

Tabellarische Darstellung der Ergebnisse der Literaturrecherche

Tab. 50 Ergebnisse verschiedener Navigationsverfahren gegenüber der Standardfluoroskopie bei perkutaner Schraubenfixation am Beckenring

Autor	Studienaufbau	Frakturart	Navigation	Durchleuchtungszeit (DL)/ Operationszeit (OP)	Implantatlage/Repositionsergebnis	Komplikationen	Fazit
Routt et al. 1995 [143]	68 Patienten, 103 SI-Schrauben	Instabile BR-Frakturen	Standard	DL: 2,1 Min. pro Schraube + präoperative Aufnahme (1,4 – 4,4 Min) OP: k.A.	-	2 x Schraubenfehlpositionierungen beim selben Pat. aufgrund mangelnden anatomischen Verständnisses 1 x Schraubenfehlplatzierung bei Adipositas 1 x vorübergehende L5-Wurzel-Verletzung bei einem adipösen Pat. 1 x Schraubenfehlplatzierung wegen falscher Schraubenlänge Verlängerte OP-Dauer wegen Adipositas, Verluftung im OP-Bereich	Nützliche Technik; gute Bildgebung ist jedoch Voraussetzung für sichere Implantatpositionierung. Fehlpplatzierungen und OP-Dauer-Verlängerung durch Verluftung und Adipositas.
Routt et al. 1995 [144]	26 Patienten	Vordere Beckenringfraktur	Standard	DL: 3,3 Min. OP: 33 (22 – 54) Min.	-		
Jacob et al. 1997 [76]	13 Patienten, 27 SI-Schrauben	Typ C-Fraktur	CT	OP: 86 Min.	25/27 (93 %) korrekt platziert. Eine Schraube zu kurz und zu weit ventral gelegen.	Neurologische Komplikationen: 1/4 Schrauben in Zone 1 9/11 Schrauben Zone 2 und 3 1 x Wundinfektion	Technisch einfach umsetzbar und minimal invasiv, jedoch nicht für OP am offenen Knochen geeignet. Probleme bei der geschlossenen Reposition, da unzureichende Aufnahmen angefertigt wurden. Mehr Probleme bei Einzelschraubenfixierung (2/3) als bei Doppelschraubentechnik (1/24).
Tonetti et al. 1998 [183]	4 Kadaver, 3 Schrauben pro Becken	-	CT		3/3 Schrauben korrekt platziert.	-	Alle Schrauben korrekt platziert. Sichere Methode.
Blake-Toker et al. 2001 [13]	76 Patienten, SI-Schrauben	Instabile SI-Fraktur	CT	OP: 82 (30-150) Min.	-	Minimaler Blutverlust, eine Schraubenmigration, keine Wund- oder Nervenkomplikationen, ein Patient hatte vor der OP respiratorische Schwierigkeiten, ein postoperativer Tod ohne Zusammenhang mit Beckenfraktur	Reduktion des Blutverlusts, frühe Mobilisation, wenige Komplikationen. Kooperation mehrerer Fachdisziplinen wichtig.
Nork et al. 2001 [124]	13 Patienten, SI-Schrauben	U-förmige Sakrumfrakturen	Standard	OP: 48 Min. pro Schraube DL: 2,1 Min. pro Schraube	Alle Schrauben regelrecht platziert.	Keine Fehllage. Zwei residuelle neurologische Defizite.	Reduktion des Blutverlustes und der Operationszeit mittels perkutaner Schraubenplatzierung.
Hinsche et al. 2001 [66]	Prospektiv, 35 Kunststoffbecken, 140 SI-Schrauben	-	2D, Standard	DL: 4,8 Sek./Schraube (2D) versus 10,2 Sek./Schraube (Standard) OP: k.A.	Korrekte Schraubenplatzierung 1) mit 2,8 mm Führungsdraht+5 mm Bohrer mit CAS: S1 13/14; S2 9/14 2) mit 2,8 mm	-	Hohe Flexibilität des 2,8 mm-Führungsdrahtes und daraus resultierend unpräzisere Schraubenplatzierung. Bessere Ergebnisse unter 5 mm-Führungsdraht. Reduktion der Strahlenbelastung unter 2D-Navigation, da kürzere Durchleuchtungszeiten als

					Führungsdraht mit CAS: S1 12/14; S2 6/14 3) mit 5 mm stabiler Bohrer mit CAS: S1 13/14, S2 9/14 4) 2,8 mm Führungsdraht Standard: S1 14/14; S2 13/14 5) 5 mm stabiler Bohrer Standard: S1 13/14; S2 10/14		unter Standardfluoroskopie.
Stöckle et al. 2001 [165]	Prospektiv, 6 Kunststoffbecken, SI Schrauben, VP-Schrauben, HP-Schrauben, SA-Schrauben (60)	-	2D	DL: 6 Sek. OP: k.A.	51 der 60 Schrauben (85%) korrekt eingebracht 2x intraartikuläre Lage, 2x Fehllage der SI-Schraube	Abweichungen des Führungsdrahts; Fehlplatzierungen durch bereits eingebrachte Schrauben	Großteil der Schrauben in kurzer Zeit korrekt platziert. Gründe für die Fehlplatzierungen waren technische Probleme und unzureichende Bildwandlerdarstellung.
Tonetti et al. 2001 [185]	Prospektiv, 30 Patienten	Typ B und Typ C	Standard (30 Patienten, 51 Schrauben), Ultraschall gesteuert (4 Patienten, 10 Schrauben)	Standard: OP: 25 Min./1 Schraube, 40 Min./2 Schrauben DL: 1,03 (0,1-3,1) Min./Pat., 0,6 Min./Schraube Ultraschall: OP: 50 Min./1 Schraube, 60 Min./2 Schrauben DL: 0,35 (0,1-0,5) Min./Pat., 0,14 Min./Schraube	Standard: 12/51 Schrauben fehlplatziert CAS: keine Fehlplatzierungen.	Standard: 7 x neurologische Läsionen CAS: Keine neurologischen Läsionen	Genauere Implantatplatzierung sowie geringere Strahlenbelastung unter Navigation
Grützner et al. 2002 [60]	7 Patienten, 14 SI-Schrauben	Typ C	2D	DL: 0,9-4,2 Min. OP: 45-115 Min.	Keine Fehlplatzierung, aber 2 x tangentielle Durchstoßung des Schraubengewindes an der ventralen Sakrumbegrenzung		Gute Methode zur Stabilisierung des SI-Gelenks: minimaler Blutverlust, geringes Infektionsrisiko, kurze OP-Dauer, Reduktion der DL-Zeit.
Starr et al. 2002 [163]	Prospektiv, 27 Patienten, 24 SI-Schrauben und Acetabulumsschrauben	Typ B	2D	DL: 18 (3-43) Min. OP: 80 (15-190) Min.	Repositionsergebnis: präop: 10 (2-20)mm postop: 3 (0-10)mm	Bei zwei Patienten konnte keine geschlossene Reposition vorgenommen werden, daher ORIF 2 x Komplikationen mit Schraubenfehllage.	Verringerung des Blutverlusts und des Weichteiltraumas. In erfahrenen Händen nützliche Methode zur perkutanen Schraubenplatzierung.
Stöckle et al. 2002 [167]	Prospektiv, 24 Patienten	AC- und BR-frakturen	2D CT	DL: 2D 0,5 min pro Schraube CT: k. A.	-	-	CT liefert hohe Bildqualität, jedoch aufwendiges Matchingverfahren und kein aktueller intraoperativer Datensatz vorhanden.
Van den Bosch et al. 2002 [190]	88 Patienten, 285 SI-Schrauben	Typ B und C	Standard	-	Fehlplatzierung in 4/7 Unter postoperativer Fluoroskopiekontrolle: 83 % korrekt Unter postoperativer CT-Kontrolle: 58 % korrekt	9 Revisionsoperationen notwendig. Mehr Patienten (6/31) hatten neurologische Probleme mit Schraubenlage in S2 als Patienten mit beiden Schrauben in S1. Eine Drahtspitzenabweichung.	Sichere Methodik bei erfahrenen Chirurgen. Je nach Art der Bildgebung wurden 2,0% bis 6,8% fehlplatzierte Schrauben detektiert. Erhöhte Rate an neurologischen Komplikationen bei Schrauben in S2. Postoperatives CT zur Lagekontrolle wichtig.

Griffin et al. 2003 [55]	62 Patienten	Vertikale instabile Beckenring-Frakturen: 32 disloziert, 30 vertikale sakrale Frakturen	Standard	-	-	4 Fixationsversagen (alle bei sakralen Frakturen)	Grundsätzlich nützliche Methode zur perkutanen iliosakralen Schraubenpositionierung, jedoch bei vertikalen sakralen Frakturen Gefahr eines Fixationsversagens oder Repositionsverlusts
Stöckle et al. 2003 [168]	Prospektiv, nicht randomisiert, 41 Patienten, 28 SI-Schrauben	BR- und AC-Frakturen (VP- und Querfraktur)	CT (3Schrauben) 2D (36 Schrauben)	DL: 2D: 0,5 min pro Schraube CT: k. A.	Korrekt: 2D: 35/36 CT: 3/3	-	CT-Navigation liefert hohe Bildqualität und eignet sich bei nicht oder leicht dislozierten Frakturen. 2D-Navigation ist jedoch praktischer als die CT-Navigation zur Anfertigung intraoperativer Aufnahmen.
Arand et al. 2004 [5]	Prospektiv, nicht randomisiert, 41 Patienten, 22 SI-Schrauben	SI-Gelenkinstabilität	CT	OP: Datentransfer von CT zum PC: 17 Min Planung: 16 Min Intraoperative Installation: 5 Min Registrierungszeit: 2 Min Gesamtdauer: 44 (32-55) Min DL: k. A.	21 von 22 Schrauben ohne Perforation positioniert .	Keine neurologischen Komplikationen.	21/22 Schrauben wurden korrekt platziert. Verschiebung der Frakturfragmente nach Umlagerung kann zu Implantationsungenauigkeiten kommen. Gefahr des Umknickens des Führungsdrahts, daher nur Navigationsbohrbüchsen verwenden.
Mosheiff et al. 2004 [118]	Prospektiv, nicht randomisierte Fallstudien, 29 Patienten, 45 Schrauben (SI, RP, HP, SA)	Typ B und C: 25 Becken- und 5 Acetabulumfrakturen	2D	-	Keine Fehlfrage	1 Drahtspitzenabweichung	Wie vermutet Reduktion der Durchleuchtungsdauer und erhöhte Genauigkeit.
Schep et al. 2004 [150]	Prospektiv, nicht randomisiert 24 Patienten, 96 SI-Schrauben	Hintere Beckenringfraktur	2D (12 Pat.), Standard (12 Pat.)	DL: Standard: 1,8 Min. pro Eingriff Navi: 0,7 Min. pro Eingriff OP: Standard: 116 Min., davon 19,4 Min. für Schraubenplatzierung Navi: 97 Min., davon 20,2 Min. für Schraubenplatzierung	1 Fehlplatzierung in der navigierten Gruppe	2D: 1 Patient mit postoperativem neurologischem Defizit in S2	Unter 2D-Navigation Reduktion der Durchleuchtungszeit um den Faktor 2,5 und verkürzte OP-Zeiten. In einem Fall Diskrepanz zwischen der virtuellen und tatsächlichen Position des Führungsdrahts. Kein Unterschied in der Komplikationsrate.
Collinge et al. 2005 [26]	Prospektiv, 29 Kadaver, 58 SI-Schrauben	-	2D (29 Schrauben) Standard (29 Schrauben)	DL: Standard: 26 (15–66) s 2D-Navigation: 6 (3-22) s OP: Pro Schraube: Standard: 7,3 (5,1-14) Min./Schraube 2D-Navigation: 6,7 (3,2-9,1)	Standard: 28/29 (97%) der Schrauben korrekt platziert 2D-Navigation: 28/29 (97%)	-	Unter beiden Methoden jeweils 97 % korrekte Schraubenplatzierung. Unter 2D-Fluoroskopie geringere Durchleuchtungszeiten, aber auch höhere Vorbereitungszeiten. Limitation: Anzahl der Kadaver statistisch nicht signifikant und Durchführung der Schraubenplatzierung nur durch einen Chirurgen erfolgt.

				Min./Schraube Gesamtoperationsdauer: Standard: 7,3 (5,1-14) Min. 2D-Navigation: 3,5 (1,8-7,8) Min.			
Hilgert et al. 2005 [64]	12 Patienten	SI-Schrauben	Standard	OP: 55 (40-85) Min./Eingriff = 27 Min./Schraube DL: 1,6 (1,2-2,3) Min.	-	-	Hohe Zielgenauigkeit konnte erreicht werden. Zwar höhere DL-Zeiten als bei navigiertem Verfahren, aber trotzdem im Literaturvergleich noch im unteren Bereich.
Wieners et al. 2005 [197]	Prospektiv, 8 Kadaver	SI-Schrauben	CT 3D	-	-	-	Zwar höheres Dosislängenprodukt unter CT-Navigation, jedoch auch signifikant höhere Bildqualität gegenüber der IsoC3D. IsoC3D nur eingeschränkt zur Diagnostik geeignet, jedoch bessere intraoperative Verfügbarkeit zur Lagekontrolle.
Briem et al. 2006 [19]	Prospektiv, 20 Kadaver, 80 SI-Schrauben	-	Standard 2D 3D CT	DL: pro Schraube: Standard: 0,77 Min. 2D-Navi: 0,30 Min. 3D-Navi: 0,25 Min. CT-Navi: 0,21 Min. OP: Standard: 15,4 Min. 2D-Navi: 31,5 Min. 3D-Navi: 26,3 Min. CT-Navi: 58,3 Min.	Fehlplatzierungen: Konventionell: 20 % 2D-Navi: 20 % 3D- Navi: 0 % CT-Navi: 0 %	-	Schraubenfehlage unter 2D-Fluoroskopie um 20 % höher als unter 3D-Fluoroskopie. 3D-Navigation, jedoch anfällig für Artefakte. CT bietet beste Auflösung, jedoch aufwendiges Matchingverfahren und Gefahr einer Frakturverschiebung bei Umlagerung des Patienten. Signifikante OP-Zeitverlängerung generell unter Navigation. Bei Navigationsverfahren Plausibilität der virtuellen Instrumentenposition prüfen.
Citak et al. 2006 [25]	Prospektiv, 10 Kunststoffbecken, 40 SI-Schrauben	-	2D 3D	-	2D: 80 % korrekt 3D: 100 % korrekt	-	Mehr korrekt platzierte Schrauben mit Hilfe von 3D-Navigation (100 %) als unter 2D-Fluoroskopie (80 %). Ausschließlich Fehlplatzierungen in S2.
Moed et al. 2006 [116]	49 Patienten, 53 S2 SI-Schrauben	Hintere Beckenringfrakturen	Standard	-	Regelrechte Schraubenlage in allen Fällen.	Keine neurologischen Läsionen. Postoperativer Repositionsverlust in 2 Fällen.	Sichere Technik. Vorsicht bei osteopener Knochenstruktur.
Smith et al. 2006 [157]	Prospektiv, 4 Kadaver, 16 SI-Schrauben	-	Standard 2D 3D EM	-	Perforationsscore (PS), Winkelscore(WS), Schraubenscore (SS) Standard: PS 3 x 2-3, WS 0,75, SS 3,75 3D: PS 2 x 3, WS 3, SS 5,25 2D: PS 2 x 3, WS 0,25, SS 1,75 EM-Navi: PS 3 x 0 1 x 3, WS 2,75, SS 3,5	-	Bei allen drei Navigationstechniken werden höhere Perforationsraten als in der Literatur beschrieben, vermutlich aufgrund osteopener Knochenstruktur. Höhere Präzision unter 2D-Navigation erzielt.
Stöckle et al. 2006 [172]	Wirbelsäulenmodelle,	7 WS, 3 BR mit SI-	2D, 3D, CT		Am WS-Modell: 2D: 43/48 korrekt		Das integrierte System sehr zuverlässig, präzise und platzsparend. Etwas höhere

	11 Patienten, darunter 3 Pat. mit BR-Verletzung und 1 Pat. mit AC-#	Verschraubung, 1 AC			3D-BV-Navi: 47/48 korrekt CT-Navi: 48/48 korrekt Insg. 6/144 Pedikelbohrungen mit Kortikalisperforation Fehlplatzierungsrate: 4,2% Am Patienten: alle 40 Schrauben korrekt ohne Kortikalisperforation		Genauigkeit unter 3D- und CT-Navigation als unter 2D-Navigation.
Peng et al. 2006 [134]	Prospektiv, 18 Patienten	instabile BR-#	Standard mit Gruppe 1: 1 C-Arm Gruppe 2: 2 C-Arme	OP: Gruppe 1: 45 Min. Gruppe 2: 16 Min. DL: Gruppe 1: 5,7 Min. Gruppe 2: 4,5 Min.	Keine Fehlplatzierungen.	Keine Komplikationen.	Geringere OP-Zeit und Strahlenbelastung unter Verwendung zweier C-Arme.
Briem et al. 2007 [20]	Prospektiv, 33 Patienten, 58 Schrauben	nicht bzw. gering dislozierte Frakturen des hinteren Beckenrings	2D (20 Pat.), Standard (13 Pat.)	DL: 2D-Navi.: 0,9 Min. Standard: 1,84 Min. OP: 2D-Navi.: Pro Schraube 36,2 Min. Standard: Pro Schraube 25,37 Min.	2D-Navigation: Fehlplatzierungsrate: 8,5% (n=3/35) Standard: Fehlplatzierungsrate: 17,4% (n=4/23)		Geeignetes Verfahren zur perkutanen Verschraubung nicht bzw. leicht dislozierter Frakturen des hinteren Beckenrings, keine wesentlich erhöhte Präzision gegenüber Standardfluoroskopie. Vorteile sind Reduktion der Strahlenexposition und bessere intraoperative Orientierung. Nachteile der 2D-Navigation sind eingeschränkte Bildauflösung da fehlende Transversalebene, unzureichende Kontrolle des Repositionsergebnisses.
Day et al. 2007 [32]	10 Kadaver, je 20 SI-Schrauben	-	2D Standard	DL: 2D-Navigation (re): 0,46 Min. Standard (li): 0,75 Min. OP: 2D-Navigation (re): 21,69 Min. Viel Zeit für Registrierung Standard F.(li): 13,03 Min Schraubenpositionierung dauerte kürzer mit CAS	2/10 Schrauben perforieren Kortikalis sowohl unter 2D-Navigation wie auch unter Standardfluoroskopie. Erst mit postoperativen CT-Aufnahmen wurde die extraossäre Lage der Schrauben erkannt.		Navigierte Verschraubung ist genauso präzise wie unter Standardfluoroskopie mit den gleichen Nachteilen. In beiden Fällen Vorsicht bei dysplastischen Becken, hier intraoperative CT-Aufnahmen notwendig. Eingeschränkte Aussagekraft der Ergebnisse, da experimentelle Studie.
Hofmann et al. 2007 [68]	263 Patienten	Typ A-C	3D	DL: 6 (3-22) Sek.	-	-	Gute Ergebnisse bei nicht-dislozierten instabilen Frakturen. Erhöhte Präzision, verringerte Morbidität, geringeres Weichteiltrauma. Hohe Anschaffungs- und Wartungskosten. Primär sollte der Einsatz in Zentren erfolgen.

Tosounidis et al. 2007 [187]	Prospektiv, 41 Patienten 73 SI-Schrauben	Typ C	Standard	DL: 1,83 (0,9–2,9) Min. OP: 58,9 (21–94) Min	2 von 73 Schrauben fehlplatziert	2 x SI-Symptomatik	Ausreichende Sicherheit bei Einhaltung der Richtlinien. Ergebnis abhängig von Erfahrung des Chirurgen.
Starr et al. 2008 [164]	Retrospektiv, 81 Patienten, 365 Schrauben	Typ B, Typ C (Fraktur des Ramus pubis superior)	Standard	DL: 7 (0,3-20) Min Gesamtzeit OP: 71 (25-178) Min	Reposition: Präop.: 10 (1-30) mm Postop.: bei 113/145 adäquate Reposition; 4 (1-15) mm	Keine Nerven- oder Gefäßverletzung. 12 x Verlust der Reposition (15 %)	Bei 15 % der Patienten Verlust der Reposition. Am häufigsten bei älteren Frauen, bei Einbruch des Ramus pubis, bei Frakturen der Zone I und II und retrograder Schraubenplatzierung.
Briem et al. 2008 [21]	Prospektiv, 25 Kadaver (80 SI- und 10 supraacetabuläre Schrauben), Patienten Retrospektiv über 7 Jahre (139 SI-Schrauben)	BR- und AC-Frakturen	2D 3D CT	Exp. Teil: DL: Standard. 0,8±0,2, 2D 0,3±0,1, CT 0,2±0,1, 3D 0,2±0,1 Min./Schraube OP: Standard 15,4±4,0 Min./Schraube, 2D 31,5±4,9, CT 58,3±12,9, 3D 26,3±8,5 Klinischer Teil DL: 0,9±0,3 navigiert vs. 1,8±0,8 min konventionell OP: 36,2±12,5 Min. navigiert vs. 25,4±8,2 Min. konventionell	Fehlplatzierungen Experimentell: Standard 4/20, 2D 4/20, CT 0/20, 3D 0/20 Klinisch: Navigation 3/35, Standard 4/23 Retrospektiv: Standard 7/47, 2D 3/92	-	Reduktion der Fehlplatzierungsraten mit Erhöhung der Eingriffszeiten unter Navigation. 4-fach höhere Fehlplatzierungsraten unter Standardfluoroskopie.
Marintschev et al. 2008 [102]	Retrospektiv, nicht randomisiert, BR-#: 66 Patienten (67 SI-Schrauben, 38 RPS- und 2 RPI-Schrauben, 19 transiliakale Schrauben)	Typ A, Typ B, alle C-Verletzungen sofern geschlossene Reposition möglich	2D	DL: 129±79 Sek. pro Schraube OP: k. A.	-	-	Verminderte Strahlenbelastung, geringere Revisionsraten und erhöhte Präzision unter Navigation bei nicht-dislozierten Frakturen. Konventionelle Technik jedoch weiterhin Standardmethode.
Schweitzer et al. 2008 [153]	Prospektiv, 71 Patienten, 109 SI-Schrauben	Typ B, Typ C	Standard			Schraubenlockerung (3x), Fehlplatzierung (2x) oder Nervenverletzung (1x). 15 Patienten mit Sakroiliakalarthrose.	Zufriedenstellende Reposition bei 69 Patienten und gutes funktionelles Outcome.
Sun et al. 2008 [174]	Prospektiv, nicht randomisiert, 16 Patienten, 20 Schrauben	Beckenringfraktur	3D		Alle Schrauben korrekt platziert (20/20)		Hohe Präzision unter 3D-Navigation mit korrekter Platzierung aller Schrauben. Reduktion der Durchleuchtungsdauer. Nachteilig ist die eingeschränkte Bildqualität gegenüber der CT, lange Operationsdauer aufgrund hoher technischer Anforderungen
Zeng et al. 2009 [201]	Prospektiv, nicht randomisiert, 22 Patienten, 42	Typ A, Typ B, Typ C	2D			Keine Komplikationen	97,6% korrekt platzierte Schrauben. In allen Fällen exzellentes bis gutes Ergebnis im 21monatigen Follow-up.

	Schrauben						
Zwingmann et al. 2009 [206]	Prospektive Vergleichsstudie, nicht randomisierte Fallstudie 24 Pat. navigiert, 32 Standard	Typ B, Typ C	3D (24 Pat., 26 SI-Schrauben) Standard (32 Pat., 35 SI-Schrauben) Gruppe 1: nur 1 SI-Schraube Gruppe 2: zusätzlich Fixateur externe	DL: Gruppe 1: Navi: 63 ± 15 (36-84) Sek. Konv: 141 ± 69 (42-252) Sek. Gruppe 2: Navi: 93 ± 44 (46-216) Sek. Konv: 211 ± 94 (21-384) Sek. OP: Gruppe 1: Navi: 72 ± 16 (52-106) Min. Konv: 69 ± 38 (30-133) Min. Gruppe 2: Navi: 87 ± 30 (41-142) Min. Konv: 74 ± 24 (37-114) Min.	Perforationsrate 31 % (navigiert) und 60 % (Standard)	-	Verringerte Fehlplatzierungsraten und verringerte Strahlenexposition für Patient und Personal unter 3D-Navigation.
Kraus et al. 2010 [90]	Prospektiv, nicht randomisiert, 20 Patienten	WS- und SI-Frakturen	3D				Unter Standardfluoroskopie 5-fach höhere effektive Dosis als unter 3D-Navigation. 3D-Navigation verringert Strahlenbelastung für den Patienten.
Rosenberger et al. 2010 [142]	Retrospektiv, 7 Patienten mit BR-Frakturen und 5 Patienten mit AC-Frakturen	dislozierte instabile Beckenfrakturen	CT	OP: SF-Kohorte: 83,4 (59-109) Min AF-Kohorte: 109,8 (Bereich 79-131) Min	SF-Kohorte: 3 von 13 korrekt AF-Kohorte: 3 von 8 korrekt	-	Einschränkte Präzision durch Drahtabweichungen. Technik nur für einseitige, leicht dislozierte, vertikal instabile Sakrum- bzw SI-Frakturen und koronare AC-Frakturen empfohlen.
Zwingmann et al. 2010 [207]	Prospektiv, nicht randomisiert 141 Patienten	Typ B, Typ C	3D (54 Pat., 63 SI-Schrauben) Standard (87 Pat., 131 SI-Schrauben)		Perforationsrate 19 % (navigiert) und 58 % (Standard)		Höhere Rate an korrekten Schraubenplatzierungen (81%) und geringere Revisionsrate (1,6%) unter 3D-Navigation.
Konrad et al. 2010 [88]	Prospektiv, nicht randomisiert Fallstudie 33 Patienten, 37 SI-Schrauben	Beckenringfraktur	3D		10/37 inkorrekt, davon 2 revisionspflichtige Fehlpositionen -> wurden von Operateur mit geringer Erfahrung eingebracht	-	Hohe Präzision unter 3D-Navigation, allerdings abhängig von der Erfahrung des Operateurs. Unerfahrenheit kann durch Navigation nicht kompensiert werden. Präoperative Plausibilitätsprüfung obligat.
Gras et al. 2010 [53]	Retrospektive Fallstudie 44 Patienten, 56 SI-Schrauben, 29 RP-Schrauben	Typ B, Typ C	2D	DL: 123 ± 12 Sek. pro Schraube OP: 163 ± 13 (56 - 450) Min. insgesamt 136 ± 9 Min. speziell für Beckenring; 62 ± 4 Min. pro Schraube	80 % sichere Positionierung: komplett in Spongiosa 14 % sichere Positionierung, aber Berührung von Kortikalis Perforationsrate 6 %	Abknicken des Führungsdrahts ab einer Tiefe von 7,7 cm 2 x Schraubenlockerung 1 x prävesikales Hämatom	2D-Navigation ist eine sichere Methode zur genauen Schraubenplatzierung (94%). Erhöhte Fehlplatzierungsrate bei bilateraler SI-Schraubenplatzierung. Notwendigkeit einer postoperativen CT-Untersuchung zur Kontrolle der Schraubenposition.

Behrendt et al. 2011 [11]	Experimentell, 9 Kunststoffbecken, 8 Kadaver,	-	2D (20 SI-Schrauben) 3D (20 SI-Schrauben) Standard	Kadaver: DL: Standard 0,39, 2D 0,54 und 3D 0,37 Min./Schraube Kunststoffbecken: DL: Standard 0,42, 2D 0,40 und 3D 0,47 Min./Schraube	Fehlplatzierung: Standard: 28 % 3D: 7 % 2D: 21 %	-	In S1 und S2 geringere Fehlplatzierungsrate mittels 3D Navigation (7%) als unter 2D Navigation (21%) und Standardfluoroskopie (28 %). Nachteil der 3D-Navigation ist die hohe Strahlenexposition für den Patienten.
Grossterlinden et al. 2011 [59]	Retrospektiv, 82 Patienten, 147 SI-Schrauben	Typ C	2D Standard	OP: Standard: 29,4 ± 12,9 Min. (12,5–75), 2D: 39,2 ± 22,2 Min. (15–199) DL: Standard: 103,1 ± 46,6 Sek. (18–354) 2D: 62,8 ± 30 Sek. (15–156)	Perforationsrate: 3 % (navigiert) und 15 % (Standard)	-	Signifikante Reduktion der Schraubenfehlpositionierung und Strahlenexposition unter Navigation. Erhöhte Fehlplatzierungsrate bei Einbringen von zwei SI-Schrauben in S1.
Gao et al. 2011 [42]	Nicht randomisierte Fallstudie, 22 Patienten, 17 SI-Schrauben, 27 RP-Schrauben	Typ B, Typ C	2D	OP: 23,6 Min, DL: 22,2 Sek.	96 % der Schrauben wurden korrekt platziert dabei eine Perforation der ventralen Kortikalis ohne Komplikation	Keine Komplikationen	Sichere und effektive Methode bei ausgewählten Fällen.
Gao et al. 2012 [41]	Nicht randomisierte Fallstudie, 16 Patienten	Typ B, Typ C	2D	OP: 20 Minuten pro Schraube.			Geringer Blutverlust, verringerte Komplikationsrate und kleineres Weichteiltrauma unter Navigation, jedoch gute Vorbereitung und erfahrener Chirurg nötig. Gute Methode zur Platzierung kanülierter Schrauben.
Coste et al. 2013 [27]	Prospektiv, nicht randomisiert, 6 Patienten	Typ B und C	Intraoperative CT-Navigation	OP: 40 Min. (25-90)		Keine Komplikationen	Unvergleichbare Präzision und Sicherheit der perkutanen Schraubenplatzierung unter CT-Navigation. Hohe Kosten für Anschaffung und OP-Umbau.
Peng et al. 2013 [135]	Prospektiv, nicht randomisiert, 12 Patienten, SI-Schrauben	Hinterer Beckenring	CT-Navigation, 2D (1 C-Arm und 2 C-Arme)	DL: CT: 10–45 Min., 13,16 mSv 1 C-Arm: 9,18 mSv, 2 C-Arme: 6,89 mSv	Keine Schraubenfehlage.	Keine Komplikationen.	Keine Schraubenfehlplatzierungen. Keine Verschiebung der Frakturfragmente durch Umlagerung, da CT bereits im OP ist. Jedoch hohe Strahlenbelastung für das Personal im Vergleich zur fluoroskopiebasierten Navigation.
Xu et al. 2013 [199]	Prospektiv, 6 Kadaver, 54 Schrauben (SI-, VP-, HP-, RP-Schraube)	-	Standard 2D 3D	DL-Zeit: 3D: 66 ± 4,8 Sek. 2D: 47,7 ± 5,6 Sek. Standard: 132,8 ± 7,3 Sek. Instrumentierungszeit: 3D: 15,4 ± 4,5 Min. 2D: 26,3 ± 7,5 Min. Standard: 31,5 ± 6,2 Min.	Fehlplatzierungsrate 3D: 0 % (0/18) 2D: 22,22 % (4/18) Std: 38,89 % (7/18)	-	Unter 3D-Navigation geringste Fehlplatzierungsrate (0%) und schnellste Schraubenpositionierung im Vergleich zu 2D-Navigation (22,22%) und Standardfluoroskopie (38,89%). Zwar längste Durchleuchtungszeiten unter 3D-Navigation, jedoch geringe Strahlenbelastung für Personal während der OP.

Zwingmann et al. 2013 [208]	Multizentrische Studie, 597 Patienten mit SI-Verletzungen 597 Pat. mit Sakrumfrakturen	SI- und Sakrumverletzungen	Standard 2D 3D				Ähnliche Komplikationsraten unter Navigation wie unter Standardfluoroskopie. Sogar höhere Raten an neurologischen Komplikationen unter Navigation, möglicherweise aufgrund technischer Limitationen oder sekundärer Dislokationen.
Takao et al. 2014 [175]	Prospektiv, Kadaver und 6 Patienten, 12 SI-Schrauben	Hintere Beckenringfrakturen Typ B2 und C1	CT-3D-Fluoroskopie		Alle Schrauben korrekt platziert.		Alle Schrauben wurden korrekt platziert unabhängig von der Frakturart und dem Dislokationsgrad.
Li et al. 2015 [98]	Retrospektiv, 81 Patienten, 130 Schrauben	Typ B und C	Standard (n = 38) 3D (n = 43)	DL-Zeit: Std: 57,8 +- 4,9 Sek 3D: 34,2 +- 2,2 Sek Instrumentierungszeit: Std: 19,4 +- 0,8 Min/Schraube 3D: 14,0 +- 0,7 Min/Schraube	Korrekte Lage Std: 85,2 % (9/61 fehlplatziert) 3D: 97,1 % (2/69 fehlplatziert) Reposition: Majeed Score: Exzellente bis gut: Std: 88,9 % 3D: 92,1 %	1 x reversible neurologische Symptomatik der unteren Extremität Keine Infektionen.	Mithilfe der 3D-Navigation Reduktion der Durchleuchtungszeit und Schraubenplatzierungszeit bei gleichzeitiger Erhöhung der Präzision. Höhere Präzision im anterioren Beckenring als im posterioren Beckenring möglicherweise aufgrund des geringeren Weichteilmantels. Limitationen sind hohe Kosten, verlängerter Operationsraten und unzureichendes Fixierung des „Reference Frames“

Tab. 51 Ergebnisse verschiedener Navigationsverfahren gegenüber der Standardfluoroskopie bei perkutaner Schraubenfixation am Acetabulum

Autor	Studienaufbau	Frakturart	Navigation	Durchleuchtungszeit (DL)/Operationszeit (OP)	Implantatlage/Repositionsergebnis	Komplikationen	Fazit
Gay et al. 1992 [45]	Prospektiv, 6 Patienten	4 sagittale, 2 koronare AC-Dach-Frakturen mit Beteiligung hPF	CT	OP: 1,5-2,0 h für die gesamte OP DL: k. A.	Alle Schrauben regelrecht platziert.	1 x Infektion 1 x schlechtes Outcome	Technik einfach durchführbar und leicht reproduzierbar. Geeignet bei nicht-dislozierten oder minimal dislozierten AC-Frakturen. Frakturen, mit einer Dislokation größer 1 cm, müssen offen reponiert werden.
Starr et al. 1998 [161]	3 Patienten	Limitierte Offene Reposition: 1 x VP +Hemi. 2x Transv. mit HP	Standard	OP: 190 (165-210) Min DL: k.A.	-	Bei zwei Patienten konnte keine geschlossene Reposition vorgenommen werden	Perkutane Schrauben sorgen für gute Stabilität und geringe Verletzung des Knochens und umliegenden Gewebes. Anspruchsvolle Technik. Bei ausgewählten Fällen jedoch sehr gute Ergebnisse möglich.
Parker et al. 1998 [132]	8 Patienten	Dislozierte Acetabulumfrakturen: 5 x transvers	Standard	-	Repositionsqualität: 3 x anatomisch 5 x schlecht	1 Pat. vorübergehende Neuralgie	Nützliche Alternative bei schwierigen Fällen und bei älteren Pat. mit später angesetzter TEP.

		1 x VP + Hemi 1 x VP und HP 1 x T-tyt					
Brown et al. 2000 [22]	Prospektiv, 10 Patienten	2 x Transv., HP, VP, Hinterwand, Vorderwand	CT	OP: Gesamt: mit 3D-Technik: 5h15Min (4-6h 50 Min) ohne 3D-Technik: 6h14Min (5h15Min-7h15Min) -> mit 3D 16 % schneller	-	-	Intraoperative CT-Navigation bei offener Reposition ist eine geeignete Methode für komplexe AC-Frakturen mit Dislokationen.
Jacob et al. 2000 [77]	Prospektiv, 4 Patienten, 8 Schrauben	1 x 62 C1.1 1 x 62 A3.2 1 x 62 C2.3 a2 1 x 62 C2.3 a3	CT	OP: 113 (90-150) Min	Alle Schrauben korrekt implantiert mit einer Deviation von < 2°. Reposition: Frakturspalt in allen Fällen geschlossen.	-	Alle Schrauben wurden mit einer Abweichung von < 2° korrekt platziert. Weitere Studien zur Bewertung der Kosten-Nutzen-Effizienz nötig.
Zura et al. 2000 [205]	Prospektiv, 1 Patient, 3 Schrauben	Querfraktur	CT	OP: 105 Min./Eingriff DL: 35 Sek.	-		Erfolgreiche extraartikuläre Platzierung aller Schrauben unter geringer Durchleuchtungszeit.
Stöckle et al. 2001 [165]	Prospektiv, 6 Kunststoffbecken, SI Schrauben, VP-Schrauben, HP-Schrauben, SA-Schrauben (60)	-	2D	DL: 6 Sek.	85 % der Schrauben korrekt platziert.		Bei niedriger Durchleuchtungszeit hohe Präzision der eingebrachten Schrauben. Bei Verbesserung der Darstellungsqualität des Bildwandlers Methode nützlich für den klinischen Alltag. Nachteile der 2D-BV-Navi: Bildqualität, Darstellung komplexer Frakturen insbesondere mit Gelenkbeteiligung-> Beurteilung der rekonstruierten Gelenkfläche des Acetabulums schwierig -> postop. CT bzw. ISO C3D-BV notwendig
Crowl et al. 2002 [28]	Retrospektiv, 23 Patienten	vordere Pfeilerfrakturen (teilweise mit hinterer hemitransverser Fraktur) OTA 62-A3.2, v62-A3.3, 62-B3.2, 62-B3.3	Standard (4 Pat.) 2D (9 Pat.) CT (10 Pat.)	DL: CT-Navi: 45 Schichten/Schraube konventionell: durchschn. 73 s/Schraube, bei einer Pat. 4 Min/Schraube 2D-BV-Navi: durchschn. unter 45 s/2o3Schrauben	Repositionsergebnis: durchschnittl.: CT-Navi: präop. 6,1 mm, postop. 2,2 mm 2D-BV-Navi: präop. 8,3 mm, postop. 2,8 mm 3D-BV-Navi: präop. 12 mm, postop. 2,4 (0-6) mm Gesamt: präop. 8,9 mm, postop. 2,4 mm	1 x keine geschlossene Reposition möglich. 1x Staphylococcus aureus-Infektion. Einige Patienten mit früher posttraumatischen Arthritis	Erfolgreiche Schraubenplatzierung mit allen Navigationstechniken. Allerdings ist die 2D-Fluoroskopie aufgrund ihrer uniplanaren Einschränkung nicht optimal geeignet für die Darstellung der komplexen Anatomie. Nur für erfahrene Chirurgen. Eine Infektion vermutlich aufgrund unsterilen Arbeitens nahe des CTs.
Gross et al. 2004 [57]	Prospektiv, 1 Patient, 2 Schrauben	leicht verschobene Querfraktur Typ 62-B1.2	CT	-	Korrekte Positionierung der beiden Schrauben.	-	Bezüglich Nervenverletzung gefahrlose OP mit exzellentem Ergebnis und früher Mobilisation des Patienten.

Hügli et al. 2004 [70]	Prospektiv, 1 Patient, 2 Schrauben	dislozierte VP-Fraktur (62-A3.2)	CT	-	-	-	Acetabulumfraktur mit ausgeprägter Außenrotation erfolgreich mit intraoperativer CT-Navigation perkutan zu versorgen. Geschlossene Reposition von gelenknahen Frakturen weiterhin Herausforderung.
Mosheiff et al. 2004 [118]	29 Patienten, davon 5 Patienten mit AC-Frakturen, 45 Schrauben	1 x VP-Fraktur (62-A3.3) 1 x VW + hintere Hemi (62-B3.1) 1 x HP-Fraktur (62-A2.1) 1x Querfraktur (62-B1.3) 1 x T-Fraktur (62-B2.3)	2D	-	Abweichung der Drahtspitze < 2mm und Abweichung von der geplanten Trajektorie < 5°	-	Reduktion der Strahlenbelastung, Erhöhte Genauigkeit
Attias et al. 2005 [9]	Prospektiv, 13 Patienten	Acetabulumfraktur	CT	-	-	-	Die dreidimensionale Rekonstruktion des Beckens kann hilfreich bei der Planung der exakten Schraubenlänge sein.
Mouhsine et al. 2005 [119]	21 Patienten	Retrograde Schrauben	Standard-Fluoroskopie	OP: 30 (15-45) Min. DL: 62 (55-80) Sek.	-	Kein Schraubenversagen.	Sichere Technik für bestimmte Acetabulumfrakturen.
König et al. 2006 [85]	Prospektiv, 1 Patient, 1 Schraube	wenig dislozierte T-Fraktur	3D	-	-	-	3D-Navigation ermöglicht perkutane Reposition.
Atesok et al. 2008 [7]	5 Patienten	1 x Acetabulumfraktur (AO Typ 62-A2) 3 x Tibiplateaufraktur 1 x Talusfraktur	3D	Vorbereitung: 17 Min OP: 160 Min	-	-	Nicht zu vernachlässigende Verlängerung der Vorbereitungszeit um durchschnittlich 26 Min. Jedoch vielversprechendes Verfahren mit vergleichbarem logistischem Aufwand wie bei der 2D-Navigation.
Hofmann et al. 2007 [68]	165 Patienten 98 Schrauben	Typ A-C	2D	DL: 6 (3-22) Sek. OP: k. A.	-	-	Erhöhte Präzision, verringerte Morbidität, geringes Weichteiltrauma. Gute Ergebnisse bei nicht dislozierten instabilen Frakturen. Nachteilig sind die hohen Anschaffungs- und Wartungskosten. Primär sollte der Einsatz in Zentren erfolgen.
Briem et al. 2008 [21]	Prospektiv mit 5 Kadaver, 10 Schrauben Retrospektiv (klinischer Teil)	Querfraktur	3D	Exp. Teil: DL: Standard. 0,8±0,2, 2D 0,3±0,1, CT 0,2±0,1, 3D 0,2±0,1 Min./Schraube OP: Standard 15,4±4,0 Min./Schraube, 2D 31,5±4,9, CT 58,3±12,9, 3D 26,3±8,5 Klinischer Teil DL: 0,9±0,3 navigiert vs. 1,8±0,8 min konventionell OP: 36,2±12,5 Min navigiert vs. 25,4±8,2	Fehlplatzierungsrate: navigiert: 8%, n=3/35 vs. Konventionell: 17%, n=4/23; retrospektiv (letzten 7 Jahre): 2D-Navi: 3%, n=3/92 vs. Konventionell: 14 % 7/47	-	Niedrigere Fehlplatzierungsraten, jedoch erhöhte Eingriffszeiten unter Navigation.

				Min konventionell			
Gras et al. 2008 [51]	Prospektiv, nicht randomisierte Fallstudie, 14 Patienten, 36 Schrauben	5 x VP 1 x HP 3 x Quer 4 x VP+Hemi 1 x VP und HP	2D	OP: 197±32 Min. gesamt 139±23 Min. für reine Ac-Fx 54 Min./Schraube DL: 87 Sek./Schraube (inkl. Lagerungs- und Ergebniskontrolle)	Schraubenposition im postop. CT korrekt Reposition: Im CT: präop: 3,2±1 (0,7-10,1) mm postop: 1,7±0,4 (0,6-4,3)mm	bei 1 Pat. nach 4 Wochen Fistelbildung im Kopfbereich der retrograden VP-Schraube	Deutliche Reduktion der Strahlenbelastung. Keine perioperativen Komplikationen, auch Versorgung größerer Dislokationen möglich. Trotz vielversprechender Ergebnisse weitere Studien notwendig.
Lin et al. 2008 [100]	Prospektiv, 3 Patienten	VP	2D	OP: 40 (30-45) Min. DL: 38 (35-45) Sek.	alle Schrauben wurden im Markraum des vorderen Pfeilers ohne Penetration der Kortikalis eingesetzt	-	Reduktion der Durchleuchtungszeit, Komplikationsrate und Operationszeit. Frühe Mobilisation und Belastung möglich. Nachteil: kleine Patientenzahl, daher statistisch wenig aussagekräftig.
Marintschev et al. 2008 [102]	Retrospektiv, nicht randomisiert, 16 Patienten (39 Schrauben)	hohe Variante VP; HP; Quer; T; hohe VP u. HP, Hemi; hohe 2 PF einfach	2D	DL: 129±79 Sek. pro Schraube	-	-	Reduktion der Strahlenbelastung, geringere Revisionsraten und erhöhte Präzision unter Navigation bei nicht-dislozierten Frakturen. Konventionelle Technik jedoch weiterhin Standardmethode.
Hong et al. 2010 [69]	Prospektiv, nicht randomisiert, 18 Patienten, 21 VP-Schrauben, 9 HP-Schrauben	12 nicht-dislozierte und 8 dislozierte Acetabulumfrakturen neun 62-A3, fünf 62-B1, drei 62-B2, drei 62-B3	2D	OP: 24.6 (16-47) Min. DL: 28.4 (11-58) Sek.	Implantatlage: 83,3 % beim ersten Versuch korrekt 10 % erst beim Zweiten korrekt 6,7 % erst beim Dritten korrekt durchschn. Abweichung der Drahtspitze 2,5 mm durchschn. Trajektorienunterschied 2,45 ° Reposition: präoperativ: 10 (2-22) mm postoperativ: 3 (0-5) mm	1 x vorübergehende Lähmung N. femoralis Keine Infektionen, keine heterotrope Ossifikation. Kein Schraubenversagen.	94 % der Schrauben korrekt platziert, sowohl bei nicht-dislozierten wie auch bei dislozierten Frakturen.
Gras et al. 2010 [52]	Prospektiv, nicht randomisiert, 1 Patient, 1 HP-Schraube	periprothetische AC-Fraktur	2D	-	-	k. A.	Anspruchsvolle Operation, aufgrund engem knöchernen Korridor und Artefaktbildung durch TEP. Technische Probleme während des Eingriffs durch Artefaktbildung.
Ochs et al. 2010 [128]	Prospektiv, Kadaver (30) und Kunststoffbecken (30), 210 Schrauben	Retrograde VP-Schraube, Retrograde HP-Schraube, supraacetabuläre Iliumschraube	Standard 2D 3D	DL-Zeit gesamt: Kunststoffbecken bzw. Kadaver: Standard: 18,3 +- 7,3 bzw. 12,8 +- 4,6 Sek. 2D: 14,0 +- 6,3 bzw. 13,6 +- 4,3 Sek. 3D: 71,8 +- 5,1 bzw. 72,5 +- 4,6 Sek. OP-Zeit gesamt: Standard: 10,8 +- 3,3 bzw. 11,3 +- 4,5 Min. 2D: 13,8 +- 3,6 bzw. 17,2 +- 5,7 Min. 3D: 12,5 +- 2,2 bzw. 17,0 +- 5,2 Min	Perforationsrate: Standard: 14% 3D: 7% 2D: 20%		Geringere Perforationsrate unter 3D-Fluoroskopie (7%) gegenüber 2D-Fluoroskopie (20 %) und Standardfluoroskopie. Jedoch höhere Durchleuchtungszeiten und Strahlendosis unter 3D-Fluoroskopie.
Ruan et al.	Prospektiv, 5	1 x HP-Fraktur, 2 x	3D	OP: 20 Min. (10-35)	bei 3 Patienten Reposition der	Keine postoperativen	Präzise perkutane Schraubenplatzierung

2011 [148]	Patienten (7 Schrauben)	VP-Fraktur, 2 x Querfraktur		DL: 45 Sek. (43-47)	Fraktur auf 2-3 mm, bei 2 Patienten unverändert. Schraube maximal 1 – 6 mm von Gelenkknorpel entfernt	Komplikationen.	in der quadrilateralen Fläche mit geringem Weichteiltrauma und Blutverlust.
Zhang et al. 2011 [202]	Prospektiv, nicht randomisiert, 12 Patienten, 28 Schrauben	1 x A2.2 type, 3 x A2.3 type, 2 x A3.2 type, 2 x A3.3 type, 1 x B2.2 type, 1 x B3.2 type, 1 x C2.1 type, 1 x C2.3 type	3D		96,4 % der Schrauben korrekt platziert.	Keine.	96,4% der Schrauben wurden korrekt platziert, damit hohe Präzision. Keine Komplikationen, im 24monatigen Follow-up alle Frakturen heilte.
Gras et al. 2012 [54]	experimentell, 20 Kunststoffbecken	-	2D 3D	DL: 3D: 64 ± 9 Sek. 2D: 13 ± 1.3 Sek. OP: 3D 50.11± 1.38 Min. 2D: 63.42±2.32 Min.	Reposition: 3D: 37 perfekt, 2 zufriedenstellend, 1 fehlplatziert 2D: 29 perfekt, 7 zufriedenstellend, 4 fehlplatziert	-	Ähnliche Dauer für Bildakquirierung, jedoch deutlich kürzere Zeiten für Planung und Schraubenplatzierung und erhöhte Präzision unter 3D-Navigation v.a. bei engen Korridoren. Höhere Durchleuchtungszeiten unter 3D-Navigation.
Oberst et al. 2012 [7]	Prospektiv, nicht randomisiert, 68 Patienten	Acetabulumfrakturen	Standard (37 Pat.) 3D (31 Pat.) ORIF	OP: Skin to Skin Standard: 264 ± 100 Min. 3D:306 ± 133 Min. DL: k. A.		Postoperativ: Standard: insgesamt 48 %, mit höchster Rate unter Kocher-Langenbeck-Zugang (59 %) und 40 % bei ilioinguinalem Zugang. 2 x Thrombembolie 3D: insgesamt 8 % mit 10 % bei Kocher-Langenbeck-Zugang und 0 % bei ilioinguinalem Zugang.	Bei Kombination von ORIF und 3D-Navigation kleinere Zugänge möglich mit geringerer Komplikationsrate als unter Standardfluoroskopie. Jedoch verlängerte OP-Zeiten unter 3D-Navigation. Operateur-Bias, da verschiedene Operateure.
Kraus et al. 2013 [89]	Prospektiv, nicht randomisiert, 45 Patienten (gemischte Fälle, davon 1 Acetabulumfraktur)	Gemischte Fälle mit Frakturen der oberen und unteren Extremität	2D mit neuartiger Referenzierung	OP: 165 Min. DL: 6,9 Min.	Misserfolgsrate = 6,5%	Technische Probleme	Problemlose Integration der Navigation in den Arbeitsablauf. Gute Ergebnisse bei allen Eingriffen bis auf Wirbelsäulen- und Acetabulumoperationen. Nutzbarkeit der Navigation stark vom maximalen Sichtfeld des C-Arms abhängig.

Fragebogen der Umfrage

Sehr geehrte Frau Kollegin,
sehr geehrter Herr Kollege,

im Auftrag der AG Becken der DGU führen wir eine Umfrage durch, um die aktuelle Praxis der operativen Behandlung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen unter Verwendung navigierter computer-assistierter Operationsverfahren zu erheben.

Ihre Rückmeldung ist uns sehr wichtig, um die aktuellen Versorgungsstandards in der Beckenring- und Acetabulumchirurgie in Deutschland abbilden zu können.

Wir wären Ihnen daher sehr dankbar, wenn Sie sich die Zeit (ca. 5-10 Minuten) nehmen könnten, um den nachfolgenden Fragebogen auszufüllen.

Am besten Sie füllen den Fragebogen online aus und senden ihn per E-mail (navigation@bgu-tuebingen.de) zurück oder Sie drucken den Bogen aus und senden den ausgefüllten Bogen unter der **Fax-Nr.: 07071-606-1002** zurück.

1. Krankenhaustyp:

- Überregionales Traumazentrum
- Regionales Traumazentrum
- Lokales Traumazentrum

2. Werden an Ihrer Klinik Beckenringfrakturen behandelt?

- Ja
- Nein

3. Werden an Ihrer Klinik Acetabulumfrakturen behandelt?

- Ja
- Nein

4. Wieviele Beckenringfrakturen werden an Ihrer Klinik operativ behandelt?

- < 10 Patienten/Jahr
- 11 - 30 Patienten/Jahr
- 31 - 50 Patienten/Jahr
- > 51 Patienten/Jahr

5. Wieviele Acetabulumfrakturen werden an Ihrer Klinik operativ behandelt?

- < 10 Patienten/Jahr
- 11 - 20 Patienten/Jahr
- 21 - 30 Patienten/Jahr
- > 31 Patienten/Jahr

6. Wieviele Kollegen operieren an Ihrer Klinik Beckenring- bzw. Acetabulumfrakturen?

- 1 Kollege
- 2 Kollegen
- 3 Kollegen
- 4 Kollegen
- 5 Kollegen
- > 5 Kollegen

7. Welchen Ausbildungsstand haben diese Kollegen? (Mehrfachnennung möglich; Anzahl der Kollegen im jeweiligen Kästchen eintragen).

- Chefarzt
- Oberarzt
- Facharzt
- Assistenzarzt

8. Steht Ihnen an Ihrer Klinik/Abteilung ein Navigationssystem zur Verfügung?

- Ja
- Nein

9. Wenn ja, welches?

- Brainlab
- Medtronic
- Stryker
- Andere _____

10. Setzen Sie dieses Navigationssystem in der operativen Versorgung von Beckenringfrakturen ein?

- Ja
- Nein

11. Setzen Sie dieses Navigationssystem in der operativen Versorgung von Acetabulumfrakturen ein?

- Ja
- Nein

12. Wieviele Patienten mit Beckenringfrakturen versorgen Sie mit Navigation?

- < 5 Patienten/Jahr
- 6 - 10 Patienten/Jahr
- 11 - 15 Patienten/Jahr
- 16 - 20 Patienten/Jahr
- > 21 Patienten/Jahr

13. Wieviele Patienten mit Acetabulumfrakturen versorgen Sie mit Navigation?

- < 5 Patienten/Jahr
- 6 - 10 Patienten/Jahr
- 11 - 15 Patienten/Jahr
- 16 - 20 Patienten/Jahr
- > 21 Patienten/Jahr

14. Wieviele Operateure setzen die Navigation für die Versorgung von Beckenring- bzw. Acetabulumfrakturen ein?

- 1 Kollege
- 2 Kollegen
- 3 Kollegen
- 4 Kollegen
- 5 Kollegen
- > 5 Kollegen

15. Welchen Ausbildungsstand haben diese Kollegen? (Mehrfachnennung möglich; Anzahl der Kollegen im jeweiligen Kästchen eintragen).

- Chefarzt
- Oberarzt
- Facharzt
- Assistenzarzt

16. Welche Bildgebung verwenden Sie für die navigierte Versorgung der Beckenringfraktur?

- 2D-Fluoroskopie
- 3D-Fluoroskopie
- CT-basiert

17. Welche Bildgebung verwenden Sie für die navigierte Versorgung der Acetabulumfraktur?

- 2D-Fluoroskopie
- 3D-Fluoroskopie
- CT-basiert

18. Welcher 3D-Bildwandler steht Ihnen zur Verfügung, wenn Sie die 3D-Fluoroskopie anwenden?

- Ziehm
- Siemens
- O-Arm
- Andere _____

19. Welche Schraubenkorridore nutzen Sie für die Stabilisierung von Beckenringverletzungen?

- S1
- S2
- S1 und S2

20. Setzen Sie die Navigation bei der Versorgung von Acetabulumfrakturen ein für die

- perkutane Schraubenplatzierung
- Platzierung kritischer gelenknaher Schrauben beim offenen Vorgehen
- beides

21. Welche Schraubenkorridore nutzen Sie für die Stabilisierung von Acetabulumfrakturen (siehe Abbildung)?

- vorderer Pfeiler
- hinterer Pfeiler
- supraacetabulär

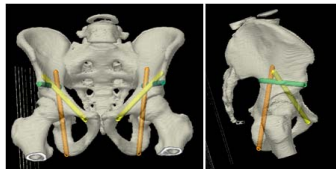


Abbildung: supraacetabuläre Iliumschraube (*grün*), vordere Pfeilerschraube (*gelb*), hintere Pfeilerschraube (*orange*).

22. Wie positionieren Sie die vordere Pfeilerschraube dabei?

- antegrad (von dorso-kranial nach ventro-kaudal)
- retrograd (von ventro-kaudal nach dorso-kranial)
- beides

23. Wie positionieren Sie die hintere Pfeilerschraube dabei?

- antegrad (von kranial nach kaudal)
- retrograd (von kaudal nach kranial)
- beides

24. Mussten Sie das navigierte Verfahren schon einmal aufgrund technischer Schwierigkeiten (Systemabsturz usw.) abbrechen?

- Ja
- Nein

25. Mussten Sie das navigierte Verfahren schon einmal aufgrund unzureichender Abbildungsqualität abbrechen?

- Ja
- Nein

26. Führen Sie bei jeder navigierten Versorgung einer Beckenringverletzung einen intraoperativen 3D-Scan zur Kontrolle der Frakturposition und Lagekontrolle der eingebrachten Schrauben durch?

- Ja
- Nein

27. Führen Sie bei jeder navigierten Versorgung einer Acetabulumfraktur einen intraoperativen 3D-Scan zur Kontrolle der Frakturposition und Lagekontrolle der eingebrachten Schrauben durch?

- Ja
- Nein

28. Führen Sie bei jeder navigierten Versorgung einer Beckenringverletzung eine postoperative CT-Untersuchung zur Kontrolle der Frakturposition und Lagekontrolle der eingebrachten Schrauben durch?

- Ja
- Nein

29. Führen Sie bei jeder navigierten Versorgung einer Acetabulumfraktur eine postoperative CT-Untersuchung zur Kontrolle der Frakturposition und Lagekontrolle der eingebrachten Schrauben durch?

- Ja
- Nein

30. Sehen Sie Vorteile in der Navigation bei der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen?

- Ja
- Nein

31. Wenn ja, welche? (Mehrfachnennungen möglich).

- höhere Präzision der Schraubenpositionierung generell
- höhere Präzision der Schraubenpositionierung bei anatomischen Varianten (z.B. dysmorphes Sacrum)
- Reduktion der Strahlenbelastung für den Patienten
- Reduktion der Strahlenbelastung für den Operateur/Team
- Schulung der dreidimensionalen Vorstellungskraft des Operateurs
- _____
- _____

32. Glauben Sie, dass die Navigation in den nächsten 5-10 Jahren zu den Standardverfahren in der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen gehören wird?

- Ja
 Nein

Für Ihre Mithilfe bedanken wir uns recht herzlich und verbleiben stellvertretend für die AG Becken der DGU

mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr. med. U. Stöckle

Dr. med. F. Stuby

Dr. med. G. Ochs

Kontaktadresse:

Dr. med. Gunnar Ochs/ Dr. med. C. Gonser
BG-Unfallklinik Tübingen
Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie
Eberhard-Karls-Universität Tübingen
Schnarrenbergstraße 95
72076 Tübingen

Tel-Nr.: 07071-606-3017
Fax-Nr.: 07071-606-1002
E-Mail: navigation@bgu-tuebingen.de