

.Aus der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie  
(Prof. Dr. med. W. Lehmann)  
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

# **Gefahren von Gefäßverletzungen bei schwerem Beckentrauma**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizinischen Fakultät der  
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

**Stefanie Möller, geb. Weber**

aus

Saalfeld an der Saale

Göttingen 2022

Dekan: Prof. Dr. med. W. Brück

Referent/in Prof. Dr. med. S. Sehmisch

Ko-Referent/in: .....

Drittreferent/in: .....

Datum der mündlichen Prüfung: .....

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel "Gefahren von Gefäßverletzungen bei schwerem Beckentrauma" eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Göttingen, den .....

.....

(Unterschrift)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>VI</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Fragestellung.....	2
1.2 Theoretische Grundlagen.....	2
1.2.1 Anatomie des Beckens.....	2
1.2.2 Biomechanik.....	10
1.2.3 Diagnostik.....	10
1.2.4 Klassifikation von Beckenfrakturen .....	13
1.2.4.1 Beckenringfraktur.....	15
1.2.4.2 Sakrumfraktur .....	18
1.2.4.3 Klassifikation von Fragilitätsfrakturen des Beckenrings .....	20
1.2.5 Begleitverletzungen .....	20
1.2.5.1 Blutungen.....	20
1.2.5.2 Nervenläsionen .....	21
1.2.5.3 Verletzungen des Urogenitalsystems.....	21
1.2.5.3 Verletzungen des Darmtraktes .....	22
1.2.6 Behandlungsstrategien von Beckenfrakturen.....	22
1.2.6.1 Externe Stabilisierung .....	22
1.2.6.2 Operative Stabilisierung.....	24
1.2.6.3 Scores.....	25
<b>2 Methodik und Datenerhebung .....</b>	<b>26</b>
2.1 Studiendesign .....	26
2.2 Statistische Analyse .....	26
2.3 Der Göttinger Becken-Score .....	27
2.3.1 Definition.....	27
2.3.2 Die statistische Auswertung des Scores .....	30
<b>3 Datenauswertung und Ergebnis.....</b>	<b>31</b>
3.1 Patientenkollektiv (Kohorte mit peripelviner Blutung).....	31
3.1.1 Alter und Geschlecht .....	31
3.1.2 Vorerkrankungen.....	32
3.1.3 Rettungstransportmittel.....	32
3.1.4 Verletzungstyp .....	36
3.1.5 Verletzungsmuster.....	37

3.1.6	Diagnostik.....	37
3.1.7	Schockraummanagement .....	37
3.2	Stationärer Aufenthalt.....	38
3.3	Komplikationen .....	39
3.3.1	Begleitverletzungen .....	39
3.3.2	Peripelvine Gefäßverletzungen .....	41
3.4	Operative Therapie.....	43
3.5	Mortalität.....	44
3.6	Göttinger Becken-Score .....	45
3.6.1	Punktescore und Datenanalyse (Kohorte mit peripelviner Blutung) .....	45
3.6.2	Vitalparameter .....	56
3.6.3	Kinetik.....	48
3.6.4	Weichteildefekt .....	48
3.6.5	Die Zusatzkriterien.....	48
3.6.5.1	Alter .....	48
3.6.5.2	Neurologie .....	49
3.6.6	Patientenbeispiele anhand des Göttinger Becken-Scores.....	49
3.6.7	Datenauswertung der Kohorte mit peripelviner Blutung mit der Kontrollgruppe.....	51
3.6.8	Operative Versorgung bei peripelviner Blutung im Vergleich zur Kontrollgruppe .....	55
<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>56</b>
4.1	Die Kohorte mit peripelviner Blutung.....	56
4.2	Die Präklinik.....	56
4.3	Die Klinik .....	57
4.4	Ursachen und Lokalisation von peripelvinen Blutungen .....	58
4.5	Der Göttinger Becken-Score .....	59
4.5.1	Einsatzmöglichkeiten.....	59
4.5.2	Die Kriterien des Göttinger Becken-Scores.....	59
4.5.3	Die Effizienz des Göttinger Becken-Scores.....	60
4.5.4	Die Limitation des Göttinger Becken-Scores .....	62
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>63</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>64</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Anatomie des Beckens .....	3
Abbildung 2:	Anatomie des Hüftbeines von medial und lateral .....	4
Abbildung 3:	Außenrotatoren der unteren Extremität.....	5
Abbildung 4:	Adduktoren der unteren Extremität.....	6
Abbildung 5:	Vena cava inferior und ihre Zuflüsse .....	8
Abbildung 6:	Plexus lumbosacralis .....	9
Abbildung 7:	Physiologische Kraftübertragung auf das Becken.....	10
Abbildung 8:	Röntgen Beckenübersichtsaufnahme .....	11
Abbildung 9:	Röntgen-Inletaufnahme des Beckens.....	12
Abbildung 10:	Röntgen-Outletaufnahme des Beckens .....	12
Abbildung 11:	Laterale Krafteinwirkung auf das Becken .....	13
Abbildung 12:	Sagittale Krafteinwirkung auf das Becken.....	13
Abbildung 13:	Krafteinwirkung bei Translationsbewegung auf das Becken .....	14
Abbildung 14:	Gruppe I – IV der Beckenringfrakturen .....	15
Abbildung 15:	Klassifikation der Beckenfrakturen nach AO.....	16
Abbildung 16:	Typ A-Beckenfrakturen mit Subgruppen .....	16
Abbildung 17:	Typ B-Beckenfrakturen mit Subgruppen .....	17
Abbildung 18:	Typ C-Beckenfrakturen mit Subgruppen .....	18
Abbildung 19:	Einteilung der Sakrumfraktur nach klinischer Analyse .....	19
Abbildung 20:	Polytraumalgorithmus bei Beckenfrakturen.....	22
Abbildung 21:	Fixateur extern bei Beckenfraktur .....	23
Abbildung 22:	Osteosynthese bei vorderer Beckenringfraktur .....	24
Abbildung 23:	Osteosynthese bei hinterer Beckenringfraktur .....	25
Abbildung 24:	Objektive Faktoren des GBS .....	28
Abbildung 25:	Graphische Darstellung zur Geschlechtsverteilung.....	31
Abbildung 26:	Graphische Darstellung zur Altersverteilung zum Unfallzeitpunkt.....	32
Abbildung 27:	Darstellung über Rettungstransportmittel der Universität Göttingen .....	33
Abbildung 28:	Darstellung über die Häufigkeit der Unfallart .....	34
Abbildung 29:	Darstellung über die Häufigkeit der Traumaart .....	34
Abbildung 30:	Darstellung über die Häufigkeit verschiedener Sturzhöhen.....	35
Abbildung 31:	Darstellung zur Verteilung der Beckenfrakturen nach AO .....	36
Abbildung 32:	Box-Plot über die Aufenthaltsdauer im stationären Bereich der Klinik .....	38
Abbildung 33:	Darstellung über die Verteilung der Begleitverletzungen .....	40
Abbildung 34:	Darstellung über die initialen Notfalloperationen.....	42
Abbildung 35:	Darstellung über den systolischen Blutdruck und die Herzfrequenz im Göttinger Becken-Score .....	47
Abbildung 36:	Box-Plot über das Alter zum Unfallzeitpunkt .....	48
Abbildung 37:	Beispielpatient ohne peripelviner Beckenblutung nach Anwendung des GBS ....	49
Abbildung 38:	Beispielpatient mit peripelviner Beckenblutung nach Anwendung des GBS .....	50
Abbildung 39:	Beispielpatient mit wahrscheinlicher peripelviner Beckenblutung nach Anwendung des GBS .....	50

---

Abbildung 40: Flussdiagramm über die eingeschlossenen Patienten der Studie .....	51
Abbildung 41: Box-Plot über die Blutungswahrscheinlichkeit peripelvin sortiert nach den Kohorten.....	52
Abbildung 42: Box-Plot über die Gesamtpunktzahl im Göttinger Becken-Score sortiert nach den Kohorten.....	53
Abbildung 43: Darstellung über die Häufigkeit der Blutungsgruppen im Göttinger Becken-Score sortiert nach Kohorten.....	54
Abbildung 44: Darstellung über die operative Versorgung und den Aufenthalt auf Intensivstation .....	55

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Präklinischer Score zur Prognose- und Risikoabschätzung peripelviner Blutungen ..	28
Tabelle 2:	Punkteverteilung zum präklinischen Score .....	29
Tabelle 3:	Häufigkeitsverteilung Schädelhirntrauma .....	39
Tabelle 4:	Häufigkeitsverteilung der Verstorbenen bezüglich verschiedener Kriterien .....	44
Tabelle 5:	Verteilung der Laborwerte der Verstorbenen .....	44
Tabelle 6:	Einteilung der Blutungsgruppen im Göttinger Becken-Score .....	46
Tabelle 7:	Präklinischer Score zur Prognose- und Risikoabschätzung peripelviner Blutungen ..	46

## Abkürzungsverzeichnis

A.	<i>Arteria</i> , Arterie
a. p.	<i>Anterior-Posterior</i>
Aa.	<i>Arteriae</i> , Arterien
AIS	<i>Abbreviated Injury Scale</i>
AO	Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese
APC	<i>Anterior-Posterior Compression</i> , anteroposteriore Kompressionsfrakturen
ATLS	<i>Advanced Trauma Life Support</i>
BE	<i>Base Excess</i>
BWS	Brustwirbelsäule
cCT	craniale Computertomographie
CM	<i>Complex Mechanism</i> , komplexer Mechanismus
Com.	<i>Communis</i>
CT	Computertomographie
DC-Platte	dynamische Kompressionsplatte
Diff.	Differenz
Diss.	Dissertation
eFast	Erweitertes fokussiertes Assessment mit Sonographie in Trauma
FFP I – IV	<i>Fragility Fractures Of The Pelvis I – IV</i> , Fragilitätsfrakturen des Beckens I – IV
FG	Freiheitsgrad
GBS	Göttinger Becken-Score
GCS	<i>Glasgow Coma Scale</i>
Hb	Hämoglobin
HWS	Halswirbelsäule
ISS	<i>Injury Severity Score</i>
LC	<i>Lateral Compression</i> , laterale Kompressionsfrakturen
Lig.	<i>Ligamentum</i> , Band
Ligg.	<i>Liggamenta</i> , Bänder
LWK	Lendenwirbelkörper
LWS	Lendenwirbelsäule
M.	<i>Musculus</i> , Muskel
MOV	Multiorganversagen
N.	<i>Nervus</i> , Nerv
NAW	Notarztwagen
Nn.	<i>Nervi</i> , Nerven
pO <sup>2</sup>	Sauerstoffpartialdruck
pCO <sup>2</sup>	Kohlendioxidpartialdruck

---

R.	<i>Ramus</i> , Ast
RK-Platte	Rekonstruktionsplatte
Rr.	<i>Rami</i> , Äste
RTH	Rettungstransporthubschrauber
SHT	Schädelhirntrauma
V.	<i>Vena</i> , Vene
VS	Vertikale Scherfrakturen
Vv.	<i>Venae</i> , Venen
ZNS	Zentralnervensystem

## 1 Einleitung

Beckenfrakturen sind mit 2 – 8 % aller Frakturen seltene Verletzungen, sie liegen jedoch bei 25 % aller Mehrfachverletzten vor (Emsler et al. 2015). Man unterscheidet „Niedrig-Energie-Traumata“, die meist zu stabilen Beckenfrakturen führen, von „Hochrasanztraumata“, deren Folge meist die instabilen Verletzungen des Beckens sind. Letztere zeigen eine erhöhte Morbidität und Mortalität und werden zu 50 % operativ versorgt (Källicke et al. 2000).

Die Inzidenz ist vor allem in den Industrieländern erhöht, weil die Bevölkerung mit hochenergetischen Fahrzeugen verunfallt (Alwaal et al. 2015). Externe Gewalteinwirkungen wie Hochrasanz- oder Anpralltraumata begünstigen pelvine und extrapelvine Begleitverletzungen. 60 % der Frakturen entstehen durch Unfälle mit dem PKW, dem Zweirad oder als Fußgänger, 30 % sind ursächlich durch Sturz aus großer Höhe und etwa 10 % durch Kompressionen, Verschüttungen, Einklemmungen und Überrolltraumata (Källicke et al. 2000).

Die Letalität der instabilen Beckenfrakturen liegt bei 15 – 30 % (Rüter et al. 2004). Die traumatische Hemipelvektomie mit einer Beckenzerreißung stellt mit einer Letalität von 70 % die schwerste Form der Beckenverletzung dar. Laut der „Arbeitsgruppe Becken“ der DGOU korrelieren schwerste Beckenverletzungen mit der Anzahl an Begleitverletzungen (Rüter et al. 2004).

Ca. 3 % der Patienten mit schweren Beckenverletzungen (AIS > 3) sind von einer vital bedrohlichen Blutung betroffen, insbesondere Patienten mit einer peripelvinen Massenblutung. Die hämorrhagischen Verletzungen gliedern sich in drei größere Hauptregionen: venöses peripelvines Gefäßsystem, arterielle Gefäße des Beckens und freiliegender Spongiosa nach Frakturen im hinteren Beckenring (Emsler et al. 2015). Dementsprechend steigt die Letalität bei instabilen Beckenfrakturen mit instabilem Kreislauf auf 33 % an.

Die Herausforderung bei der Versorgung dieser schweren Verletzungsmuster liegt vor allem in der Beherrschung der möglichen Komplikationen, wie bspw. die erhöhte Blutungsneigung, sowie die suffiziente operative Versorgung von Gefäßverletzungen zusätzlich zu der knöchernen Stabilisierung (Lippert 2010).

Ein effizientes Schockraummanagement ist neben der frühzeitigen Einlieferung in ein geeignetes Traumazentrum unabdingbar. Im Mittelpunkt steht die rasche Stabilisierung des Patienten. Dazu werden Konzepte wie die Damage-Control-Chirurgie verwendet, um die Patienten möglichst frühzeitig und operativ stabilisiert in die intensivmedizinische Betreuung zu übergeben. Durch dieses interdisziplinär effiziente Vorgehen mit komplexen Beckenfrakturen kann das Outcome der Patienten verbessert werden.

Entsprechend den Algorithmen zur Schwerverletztenversorgung anhand der S3-Leitlinie und dem Advanced Trauma Life Support (ATLS) ist die Versorgung dieser Patienten im interdisziplinären und interprofessionellen Team fest an Prioritäten und Algorithmen geknüpft. Zu den Behandlungsstufen zählen die Reanimationsphase mit lebensrettenden Sofortmaßnahmen u. a. zur Regulierung der Atmung, Beatmung und Zirkulation – angepasst an das ATLS-Prinzip – die erste Stabilisierungsphase mit Reevaluierung und operativer Versorgung instabiler Beckenfrakturen sowie der differenzierten intensivmedizinischen Therapie, die zweite Stabilisierung mit Vervollständigung der operativen Versorgung und abschließender Rehabilitationsphase (Burkhardt et al. 2005; Pfeifer und Pape 2016). Zur Kategorisierung der knöchernen Verletzung ist es maßgeblich den Unfallmechanismus zu kennen und die radiologischen Befunde vollumfänglich zu beurteilen. Die Verbesserung der bildgebenden Diagnostik und die Kenntnis des Verletzungsmusters haben positiven Einfluss auf die Therapie und die Genesung des Patienten, ebenso wie die gegenwärtigen Osteosynthesetechniken (Tscherne et al. 2000).

Ziel der Arbeit ist eine Optimierung der prä- und klinischen Prozess- und Strukturqualität sowie eine bessere Versorgung von schwerverletzten Beckenfrakturen. Neben der direkten präklinischen Behandlung sollen Prioritäten und Handlungsabläufe fokussiert und das Zielkrankenhaus ausgewählt werden. Ziel ist es so wenige Patienten wie möglich zu unterschätzen, sondern dem Verletzungsmuster entsprechend angemessen zu triagieren sowie präklinisch und klinisch schnell zu behandeln.

## **1.1 Fragestellung**

Die vorliegende Studie soll Gefahren und Besonderheiten bei begleitenden Gefäßverletzungen eines schweren Beckentraumas aufzeigen. Welche Komplikationen und Begleitverletzungen stehen im Vordergrund und welcher Verletzungsmechanismus verursacht die peripelvine Blutung.

Ziel dieser Studie war es mittels eines neu entwickelten präklinischen Scores pelvine bzw. peripelvine Blutungen frühzeitig zu detektieren und daraus für die Patienten bereits in der präklinischen Behandlungsphase wegweisende therapeutische und organisatorische Schritte abzuleiten, um eine schnelle Versorgung zu gewährleisten.

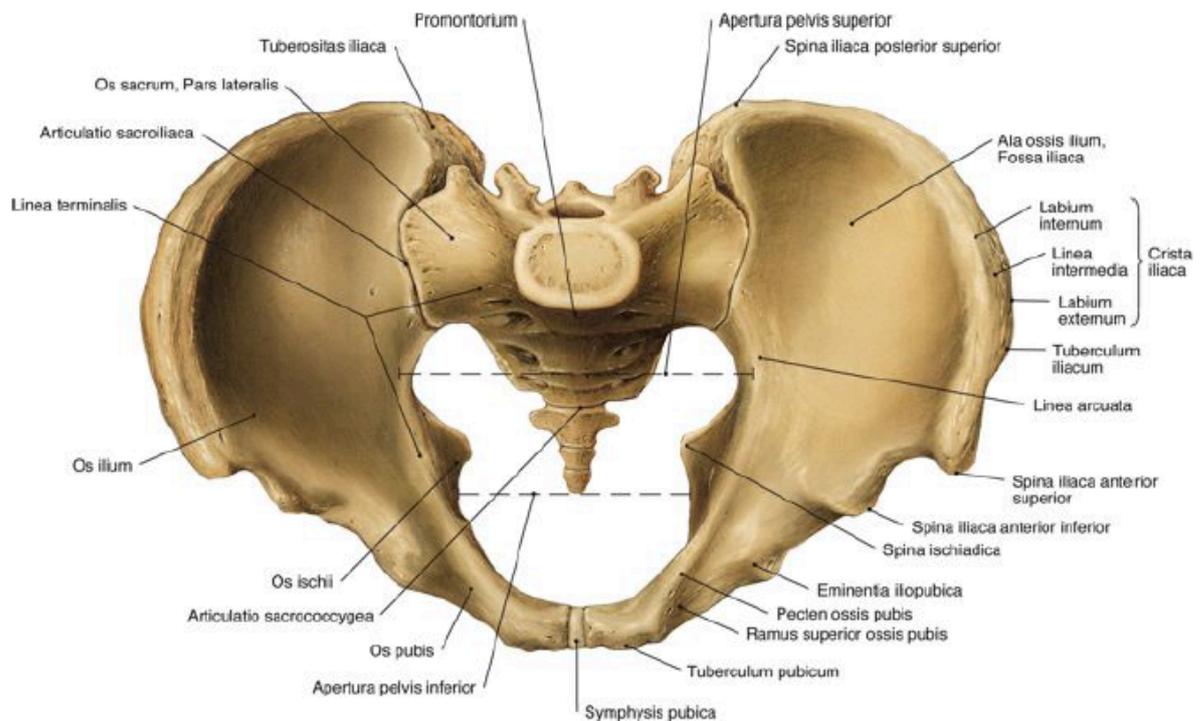
## **1.2 Theoretische Grundlagen**

### **1.2.1 Anatomie des Beckens**

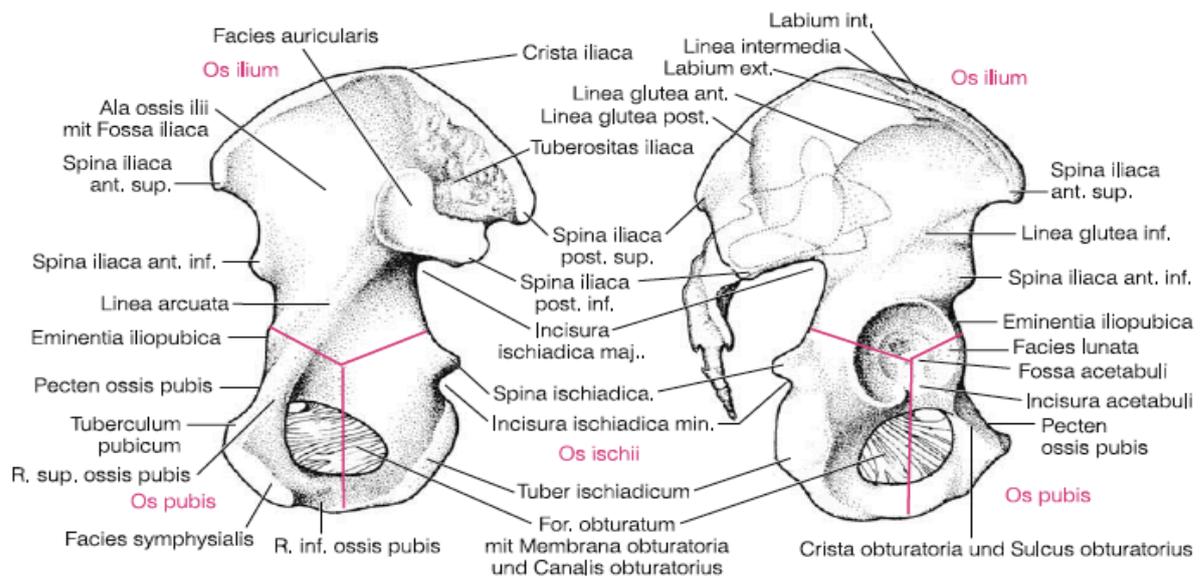
Das Becken (pelvis) verbindet die Wirbelsäule mit den unteren Extremitäten und ist eine Verankerung des Achsenskeletts. Es ist starr und gering beweglich, dadurch ist die Übertragung der Last des Rumpfes gewährleistet und bildet eine Stoßdämpferfunktion. Gebildet wird der Beckengürtel

von den beiden Hüftbeinen (ossae coxae). Dorsal werden die beiden Hemipelvici durch das Iliosacralgelenk und dem Kreuzbein (Os sacrum) und ventral durch die Schambeinfuge (Symphysis pubica), welche knorpelig ist, verbunden. Das Kreuz-Darmbein-Gelenk (A. sacroiliaca) stellt eine Amphiarthrose, ein straffes, echtes Gelenk dar und dient der longitudinalen Kraftübertragung. Die Gelenkflächen verlaufen schräg (Lippert 2010).

Evolutionär entsteht das Os coxae aus dem Darmbein (Os ilium), dem Schambein (Os pubis) und dem Sitzbein (Os ischii), die später aus den knorpeligen Anteilen, über eine Y-Fuge, verschmelzen (Niethard 2005; Rüter et al. 2004).



**Abbildung 1:** Kreuzbein, Os sacrum, und Beckengürtel, Cingulum pelvicum (Putz und Papst 2007 S. 950). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Springer Verlags.



**Abbildung 2:** Rechte Hüfte von innen und außen (Schiebler 2005 S. 305). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Springer Verlags.

Das Becken bildet außerdem einen Teil des Hüftgelenkes (*Articulatio coxae*) durch seine halbkugelige Hüftgelenkspfanne (*Acetabulum*), dem dicksten Teil des Hüftbeines. Es dient der Kraftübertragung auf die beiden lateralen Oberschenkel, besteht aus allen drei Knochenanteilen und ist an der Bildung des Foramen obturarium beteiligt. Innerhalb des Beckenrahmes befindet sich eine dünne Knochenplatte, die *Ala ossis ilii* (Schiebler 2005).

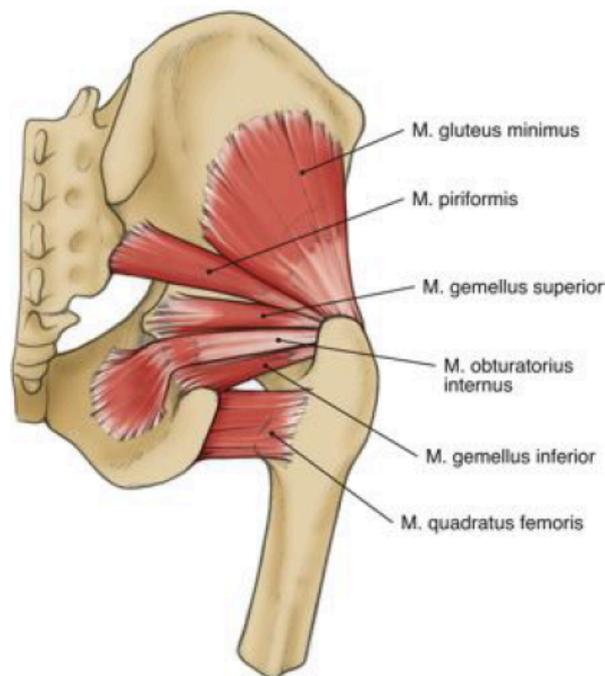
Die Symphyse, eine Synarthrose, besteht aus synovialen Gelenkflächen, die, ähnlich wie die Zwischenwirbelscheiben, von hyalinem Knorpel überzogen sind, dazwischen befindet sich ein *Discus interpubicus*, bestehend aus Faserknorpel. Stabilisierung erfährt das Gelenk am Oberrand durch das *Lig. pubicum superius* und am Unterrand durch das *Lig. pubicum inferius*, vor allem um Schub- und Scherkräfte kompensieren zu können, denn der dorsale Beckenring ist sehr bewegungseingeschränkt (Lippert 2010; Schiebler 2005; Rüter et al. 2004).

Der dorsale Beckenring, im Bereich des Kreuz-Darmbein-Gelenkes ist umgeben von einer kräftigen verzahnenden und keilförmigen Gelenkkapsel, bestehend aus den *Ligg. sacroiliaca ventralia*, *Ligg. sacroiliaca interossea* und den *Ligg. sacroiliaca dorsalia*.

Außerdem ziehen zusätzlich zur Stabilisierung Bänder von dem Kreuzbein zu dem Becken, das *Lig. sacrospinale* zum Darmbein und das *Lig. sacrotuberale* zum Sitzbein. Die *Ligg. sacrospinalia* wirken der Kippung des Kreuzbeines entgegen. Anatomisch ist das Kreuzbein nach dorsal und das Becken somit nach ventral abgeknickt. Die Last wird demnach unter Zug übertragen und verbessert den Federungseffekt (Lippert 2010).

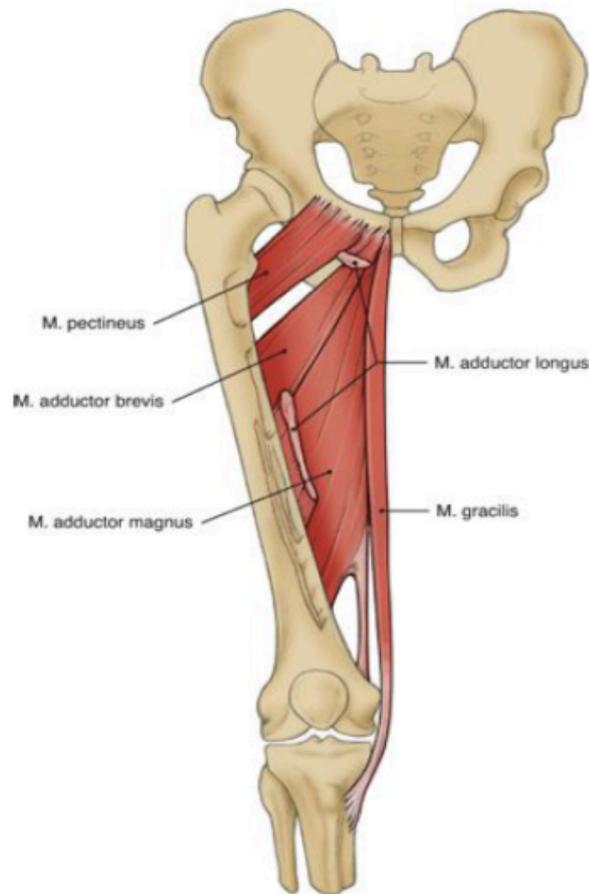
Der Beckenboden bildet den muskulären Anteil und besteht aus dem Diaphragma pelvis, insbesondere hier dominierend der trichterförmige M. levator ani, dem M. transversus perinei profundus, eine Bindegewebsplatte mit Faserzügen aus Muskelzellen, und der Dammmuskulatur (Lippert 2010). Zusätzlich benötigen wir Muskeln zur Stabilisierung der Körperachse, zum aufrechten Gang und zur Statik. Man unterscheidet verschiedene Muskelgruppen, die am Becken oder an der Wirbelsäule entspringen und zum größten Teil am proximalen Femur inserieren.

Diese äußeren Hüftmuskeln sind fächerförmig angeordnet. Sie entspringen an der Darmbeinschaukel und an der Dorsalfläche des Kreuzbeines und setzen an das laterale Femur an. Der M. gluteus maximus dient vor allem der Extension und Außenrotation. Zusätzlich besitzt der obere Anteil des Muskels eine abduzierende und der untere eine adduzierende Wirkung. Der Gegenspieler ist der M. gluteus medius. Beim Laufen stabilisiert dieser Muskel das Becken. Der vordere Anteil ist für die Innenrotation des Oberschenkels verantwortlich, der hintere Anteil rotiert den Oberschenkel nach außen und bringt ihn in die Streckstellung. Der kleinste Muskel ist der M. gluteus minimus mit abduktiver Eigenschaft (Schiebler 2005).



**Abbildung 3:** Außenrotatoren untere Extremität, tiefe dorsale Hüftmuskeln (Putz und Papst 2007 S.82). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Urban und Fischer Verlags.

Die kleinen dorsalen Hüftmuskeln verlaufen unterhalb der Gesäßmuskulatur. Zu den Außenrotatoren zählen M. piriformes, M. gemellus superior, M. obturatorius internus, M. gemellus inferior und M. quadratus femoris. Eine Ausnahme bezüglich der Lokalisation bildet der M. obturatorius internus, der ebenfalls außenrotatorisch wirkt. Sie verlaufen vom Kreuz- und Hüftbein zum Trochanter major und der Fossa trochanterica (Schiebler 2005).



**Abbildung 4:** Adduktoren untere Extremität (Putz und Papst 2007 S.73). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Urban und Fischer Verlags.

Hierzu zählen M. pectineus, M. adductor longus, M. gracilis, M. adductor brevis, M. adductor magnus und minimus. Ausschließlich der M. gracilis läuft über zwei Gelenke und bildet u.a. das Pes anserinus an der Tibia. Alle anderen Adduktoren inserieren dorsal am Femur (Linea aspera) (Schiebler 2005).

Die Hauptfunktion dieser vier Hauptmuskeln besteht vor allem in der Extension. Der M. iliopsoas mit zwei Muskelanteilen, die zum einen an der Lendenwirbelsäule und zum anderen an der Fossa iliaca entspringen und am Trochanter minor ansetzen. Zu dieser Gruppe zählt der M. tensor fasciae latae, der von der Spina iliaca anterior superior entspringt und fortlaufend über den Tractus iliotibialis an der Tibia inseriert. Den selbigen Ursprung besitzt der M. sartorius, der zur Tibia zieht und dort medial ebenfalls an der Bildung des Pes anserinus beteiligt ist. Der M. rectus femoris, M. vastus medialis und lateralis und M. intermedius bilden den M. quadriceps femoris, der aus vier Muskelbäuchen besteht und deren gemeinsame Endstrecke in Form einer Muskelsehne an der Tuberositas tibiae ansetzt (Schiebler 2005).

Zur ischiokuralen Muskulatur zählen drei Flexoren, der *M. biceps femoris* mit seinem *Caput longum* und *Caput breve*, der *M. semitendinosus* und der *M. semimebranosus*. Sie sind zweigelenkig und wirken als Strecker im Hüft- und als Beuger und Außenrotator im Kniegelenk.

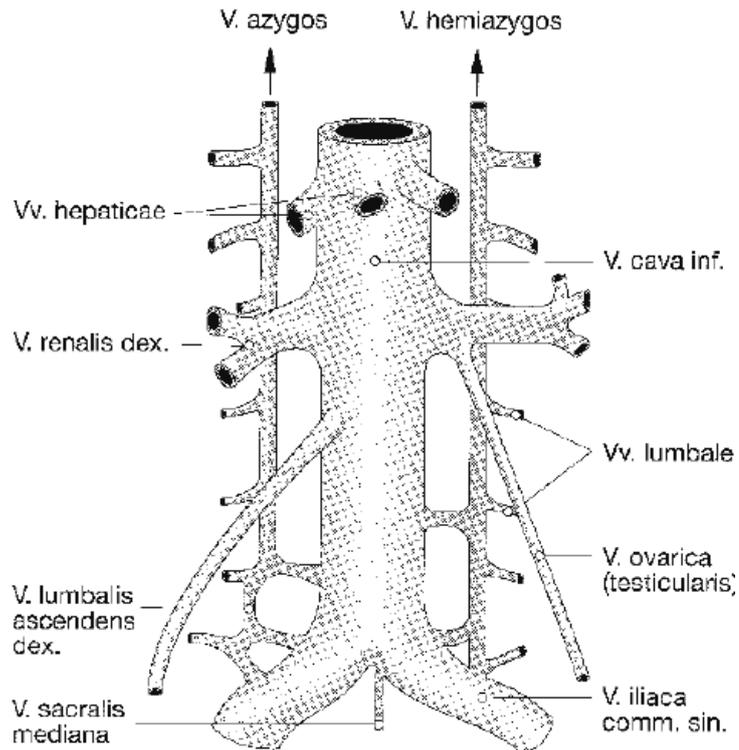
Der *Pars abdominalis* der Aorta teilt sich auf Höhe des vierten Lendenwirbels in die paarigen *Aa. iliacae communes* (gemeinsame Beckenarterien) auf, die nach 4 – 6 cm in das *Spatium retroperitoneale* als *A. iliaca externa* und als *A. iliaca interna* innerhalb des Beckengürtel, medial des *M. Psoas*, verlaufen. Die Aorta selbst bildet sich als kleine Schwanzarterie, als *A. sacralis mediana*, bis zum *Os coccygeum* zurück. Die Aufteilung nach extern und intern erfolgt ventral vor dem Kreuz-Darmbein-Gelenk.

Die *A. iliaca interna* versorgt das kleine Becken inklusive der Beckenorgane mit ihren parietalen dorsalen Ästen, den viszeralen Ästen und einem parietalen ventralen Ast (bspw. die *A. iliolumbalis*, *A. obturatoria*, *Aa. sacrales laterales*, *A. glutea superior et inferior*) (Schiebler 2005).

Die *Aa. iliaca externa* verlaufen, nach Durchquerung des Beckens, zu den unteren Extremitäten und ändern ihren Namen unterhalb des Leistenbandes, nach Durchtritt durch die *Lacuna vasorum*, in die *Aa. femorales*. Vorher geben sie die *Aa. epigastricae inferior* nach kranial und die *Aa. circumflexa ilium profunda* ab (Lippert 2010).

Die gleichnamigen Venen verlaufen analog. Hervorzuheben sind, aufgrund der hohen Blutungsgefahr nach knöchernen Verletzungen, die venösen präsakral und -vesikal gelegenen Beckenplexus, die ein dichtes Netz ausbilden (Tiemann et al. 2004). Die *V. iliaca communis dexter* und *sinister* vereinigen sich schließlich zur *V. cava inferior* (untere Hohlvene). Die *V. iliaca communis sinister* unterkreuzt in ihrem Verlauf die rechte *A. iliaca communis*.

Prädilektionstellen für Gefäßverletzungen befinden sich im Bereich der *Aa. gluteae* in der *Incisura ischiadica major* oder der Stammabgänge der Seitenäste der *A. iliaca interna* (Rüter et al. 2004).



**Abbildung 5:** Die V. cava inferior mit ihren Zuflüssen (Schiebler 2005 S. 557). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Springer Verlags.

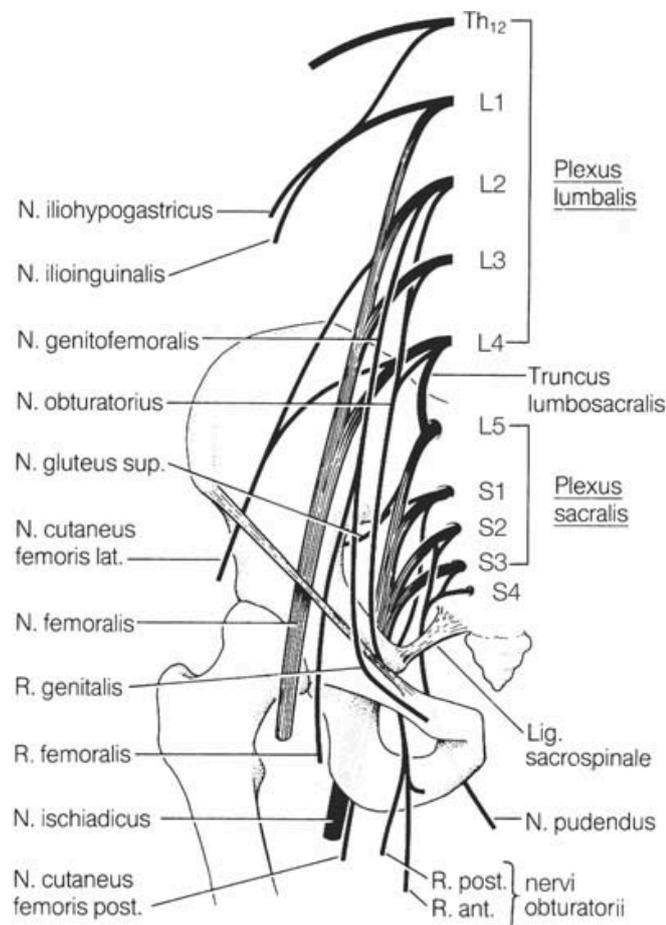
Im Beckenraum befindet sich eine Passage an Nerven, abstammend aus dem Plexus lumbosacralis im Bereich der Lendenwirbelsäule und dem Kreuzbein. Er besteht aus sensiblen und motorischen Anteilen, entspringt aus dem Spinalkanal und ist segmental in drei Teile aufgebaut (Schiebler 2005; Lippert 2010).

Der Plexus lumbalis (Th12 – L4) ist lokalisiert zwischen dem ventralen und dorsalen Anteil des M. psoas major. Er besteht aus den direkten Ästen, den Rr. muscularis, zur Innervierung des M. quadratus lumborum und dem M. psoas major et minor, dem N. iliohypogastricus, N. ilioinguinalis, N. genitofemoralis und dem rein sensiblen N. femoris cutaneus lateralis.

Ein überaus wichtiger Nerv des Plexus lumbalis stellt weiterhin der N. obturatorius dar, der die Adduktoren der medialen Oberschenkelgruppe motorisch versorgt, aber auch mit seinen sensiblen Fasern die Haut am Oberschenkel und am Knie innerviert. Des Weiteren ist der N. femoralis ein großer Nerv des Plexus. Er verläuft retroperitoneal und verlässt durch die Lacuna musculorum, unterhalb des Leistenbandes, das Becken und spaltet sich dort in seine Unteräste auf. Sein motorischer Anteil ist vor allem für die Knieextension durch die dortigen Muskeln verantwortlich (Schiebler 2005; Lippert 2010). Der Plexus sacralis (L4 – S3) ist auf dem M. piriformis im Bereich der Hinterwand des kleinen Beckens lokalisiert. Die direkten motorischen Rr. versorgen den M. piriformis, den M. obturatorius internus, die Mm. gemelli und den M. quadratus femoris. Seine Äste vereinigen sich im Bereich des Foramen ischiadicum majus und dem Foramen supra- et

infrapiriforme. Ebenso zugehörig sind der N. gluteus superior, der als einziger das Foramen suprapiriforme verlässt, der N. gluteus inferior, N. cutaneus femoris posterior und insbesondere der kräftige N. ischiadicus. Dieser Hauptnerv des Beines besteht aus Fasern von L4 – S3 und teilt sich kaudal in den N. tibialis und N. fibularis auf, versorgt dementsprechend motorisch die ischiocrurale Muskulatur und die distalen Kniegelenksmuskeln. Besonders erwähnenswert ist der N. pudendus (Schammern), der motorisch den Beckenboden und sensorisch die äußeren Geschlechtsorgane und die Afterregion versorgt und bei Verletzung zur Harn- und Stuhlinkontinenz führt (Schiebler 2005; Lippert 2010).

Der Plexus coccygeus (S4 – S5) innerviert die Haut über dem Steißbein bis hin zum Anus und besteht aus rein sensiblen Nerven der Rr. anteriores (Schiebler 2005; Lippert 2010).

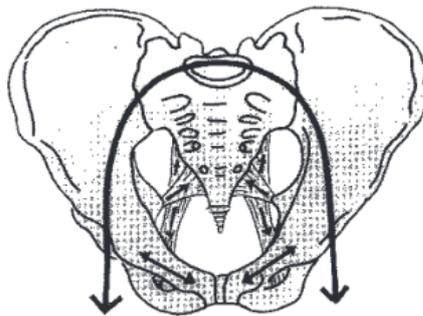


**Abbildung 6:** Nervenverlauf. Plexus lumbosacralis. Nicht eingezeichnet Rr. musculares und N. gluteus inferior. (Schiebler 2005 S. 364). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Springer Verlags.

### 1.2.2 Biomechanik des Beckens

Die Mechanik ist geprägt durch das Zusammenspiel von Knochen, Bändern und Muskeln und bewahrt so seine Integrität. Anatomisch stellt das Becken das zentrale Element der Kraftübertragung im Sitzen, Stehen und Gehen dar (Böhm et al. 1995). Es trägt die Last unseres Körpergewichtes und ist dementsprechend sehr massiv (Schmitt et al. 2014). Dies erfolgt mittels der Kortikales und der Spongiosa, die vor allem zur Verteilung der Spannung durch entsprechende Anordnung der Trabekel verantwortlich ist (Euler et al. 2000). Dabei muss das Becken Bewegungen, Statik und Dynamik regulieren.

Das Os Sacrum hingegen unterliegt einem, von kranial kommenden, Drehmoment, vor allem beim aufrechten Gang und ist dabei sagittalen und transversalen Rotationkräften ausgesetzt (Euler et al. 2000). Diese werden durch den Kapsel-Band-Apparat des Kreuz-Darm-Bein-Gelenkes, den Ligg. sacrospinalia et sacrotuberale, kompensiert. Bei der Verschiebung nach ventral oder dorsal kommen die Ligg. sacroiliaca ventrale et dorsale zum Einsatz (Euler et al. 2000).



**Abbildung 7:** Hauptkraftfluss von der Wirbelsäule über beide Sakroiliakgelenke auf das Pfannendach beiderseits (Euler et al. 2000 S.2). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Springer Verlags.

Die Symphyse erfährt eine geringe Krafteinwirkung. Beim Stehen wird die Kraft über das Femur nach kranial projiziert und würde ohne die Bandsicherung der Symphyse eine Öffnung des Gelenkes am Unterrand und eine Schließung am Oberrand bewirken. Beim Laufen hingegen kommt es zu Zug- und Scherbewegungen (Euler et al. 2000).

Beim Sitzen wirkt der Kraftvektor zunächst auf die Sitzbeine und wird dann durch die Ossae coxae auf die Symphyse übertragen, folgend kommt es zu einer Schließung der Symphyse und Abfederung (Putz und Müller-Gerbl 1992).

### 1.2.3 Diagnostik

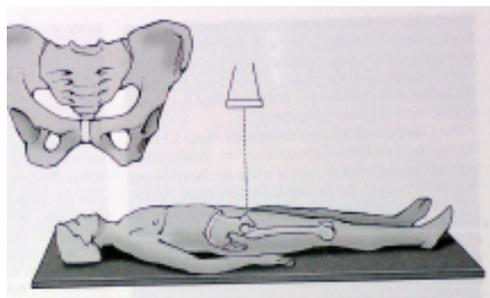
Initial ist eine sofortige Diagnostik von großer Bedeutung und erfolgt nach dem ATLS Protokoll des American College of Surgeons. Das ABCDE-Schema soll dazu dienen schnellstmöglich eine

orientierende Untersuchung durchzuführen. Diese initiale Beurteilung soll lebensbedrohliche Zustände abwenden (Galinski 2006).

In der körperlichen Befunderhebung (primary survey) werden vor allem Prellmarken, Hämatome, Frakturen, Beinlängendifferenz und axiale, anterior-posteriore und laterale Beckenstabilität durch jeweilige Kompression sowie Abwehrspannungen des Abdomens und offene Verletzungen überprüft. Wichtig ist eine komplette Überprüfung des Muskoskeletalen- und Kreislaufsystems. Hohen Stellenwert haben die bereits von außen sichtbaren Begleitverletzungen. Dazu zählen Inspektion der äußeren Genitale, des Analbereiches und der Harnröhre mit Austritt von Blut. Keinesfalls sollte bei Austritt von Blut aus der Urethra ein Katheter gelegt werden oder eine retrograde Urethrographie erfolgen.

Bei den bildgebenden Verfahren steht an erster Stelle die eFast-Sonographie, „extended focused abdominal sonography in trauma“ (Galanski 2006). Diese Untersuchung ist obligat zur Beurteilung freier Flüssigkeiten im Thorax und des Herzbeutels (Pneumothorax, Hämatothorax, Herzbeutelamponade) sowie zur Detektierung freier Flüssigkeit im Abdomen als Zeichen einer Verletzung von Gefäßen oder parenchymatöser Organe. Zusätzlich können durch dieses Verfahren retroperitoneale Hämatome nach aktiven Blutungen erkannt werden (Galanski 2006; Siewert und Pichlmayr 2013). Auch flüssigkeitsgefüllte Hohlorgane wie die Harnblase können neben den parenchymatösen Organen des Abdomens innerhalb von Sekunden beurteilt werden (Kälicke et al. 2000; Tscherne et al. 2000).

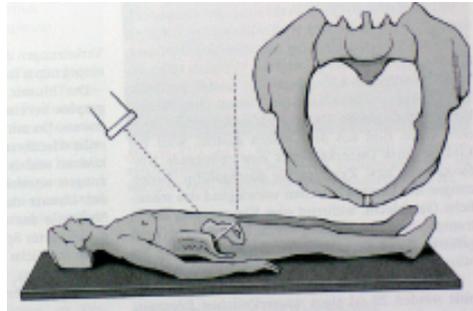
Die S3-Leitlinie Schwerverletztenversorgung gibt eine umfassende Empfehlung zur konventionellen Bildgebung im Schockraum. Zu den konventionellen bildgebenden Verfahren gehört das Röntgen. Beckenfrakturen können neben der Computertomographie in der Beckenübersichtsaufnahmen (a. p.) bei Poly- oder Beckentrauma schon zu 75 – 90 % detektiert werden, verlieren aber an Bedeutung (Tscherne et al. 2000; Galanski 2006). Zusätzlich können Querfortsatzfrakturen der Lendenwirbelsäule erkannt werden.



**Abbildung 8:** Beckenübersichtsaufnahme im klassischen a. p.-Strahlengang (Culemann et al. 2011 S. 767). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Urban Fischer Verlags.

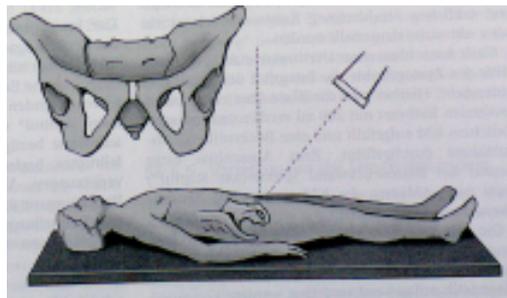
Inlet und Outlet sind wichtige Bildgebungseinstellungen, die allerdings in der Initialdiagnostik im Schockraum heute keinen Stellenwert haben. Sie dienen der intraoperativen Orientierung und ggf.

der postoperativen Verlaufskontrolle. Bei Monoverletzten werden sie auch präoperativ angewandt. Der zentrale Röntgenstrahl verläuft dabei  $40 - 60^\circ$  fußwärts. Hier kann man die Beckeneingangsebene sichten (Seekamp et al. 2004).



**Abbildung 9:** Röntgenzielaufnahme des Beckens nach Pennal. Inlet-Projektion (fußwärts gerichteter Zentralstrahl): Gute Beurteilbarkeit aller Dislokationen infolge rotatorischer Instabilität (Culemann et al. 2011 S. 767). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Urban Fischer Verlags.

Die Outlet-Aufnahme zeigt Vertikalverschiebungen im Kreuz-Darmbein-Gelenk auf, hier ist der Röntgenstrahl  $40 - 60^\circ$  kopfwärts gerichtet (Möller 2003). Dies dient zur Beurteilung von Acetabulumfrakturen.



**Abbildung 10:** Röntgenspezialaufnahme des Beckens nach Pennal. Outlet-Projektion (kopfwärts gerichteter Zentralstrahl): Gute Beurteilbarkeit aller Dislokationen infolge vertikaler Instabilität (Culemann et al. 2011 S. 767). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Urban Fischer Verlags.

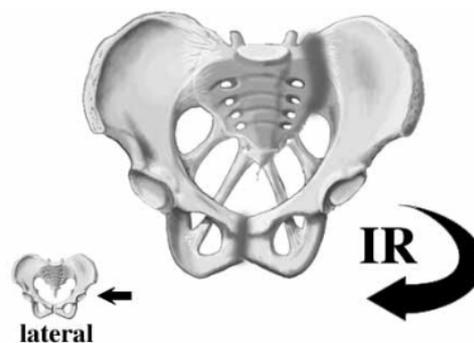
Bei der Obturatoraufnahme wird die verletzte Seite im entsprechenden Winkel geröntgt, so dass u. a. das Foramen obturarium sichtbar und beurteilbar gemacht wird. Hier prüft man den hinteren Pfannenrand und die vordere Säule. Bei der Ala-Aufnahme wird die gesunde Seite in  $45^\circ$  aufgenommen, um das Os ilium beurteilen zu können. Besonders gut erkennbar sind der vordere Pfannenrand und die hintere Säule (Möller 2003; Tscherne et al. 2000).

In den Akutphasen kann auf die konventionellen Aufnahmen verzichtet werden und die Computertomographie zum Einsatz kommen (Galanski 2006). Die konventionelle Bildgebung als Beckenübersichtsaufnahme hat im Schockraum bei denjenigen Patienten einen Stellenwert, die nicht stabil genug für das CT sind. Ferner sollte eine konventionelle Bildgebung erfolgen, sobald eine etwaig angelegte Beckenschlinge eröffnet wird, um ggf. reponierte, nicht erkennbare Frakturen

oder Symphysensprengungen zu detektieren. Das CT ist das, bei über den Schockraum eingelieferten Patienten, standardisierte und primärdiagnostische Verfahren bei instabilen Frakturen und der Beurteilung des Beckenringes und des Acetabulums. Das Ausmaß, die Fragmentgrößen und Dislokationen der Frakturen können effizient innerhalb weniger Minuten nachgewiesen und in 3-D-Rekonstruktionen dargestellt werden (Rüter et al. 2004; Tscherne et al. 2000).

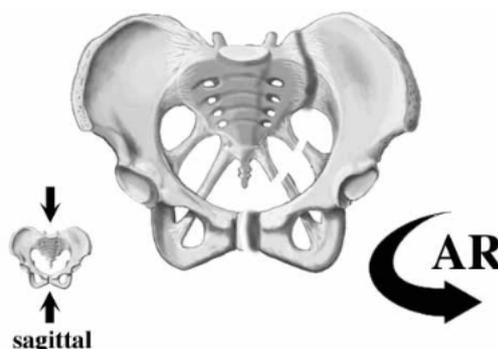
#### 1.2.4 Klassifikation von Beckenfrakturen

Es gibt unterschiedliche Klassifikationen von Frakturen des Beckens. Dabei unterscheidet man anatomische Klassifikationen mit Ausmaß der Dislokation von Einteilungen nach Krafteinwirkungen (Tschauer et al. 2008). Den Meilenstein legten Pennal, Sutherland und Tile erstmalig 1961. Sie unterscheiden drei Kraftvektoren bzw. Kompressionen (Schmitt et al. 2014; Rüter et al. 2004).



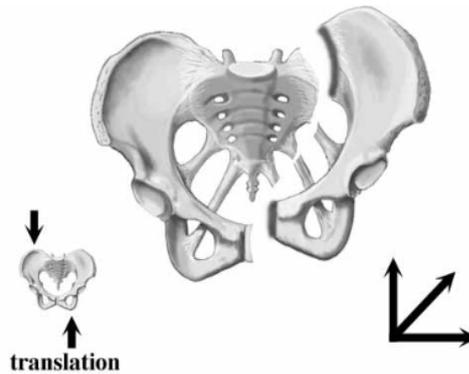
**Abbildung 11:** Verletzungsvektoren am Becken: Innenrotationsverletzung (Tscherne et al. 2000 S. 718). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Thieme Verlags.

Bei der horizontalen Krafteinwirkung entstehen eine Innenrotationsverletzung und eine unvollständige Läsion des hinteren Beckenrings. Die Fraktur kann ipsi- als auch kontralateral lokalisiert sein. Die Kraftentladung wirkt auf die Symphyse und die Seitenwände der ISG-Fugen werden komprimiert und ein gestaucht.



**Abbildung 12:** Verletzungsvektoren am Becken: Außenrotationsverletzungen (Tscherne, Pohlemann, Gänsslen 2000 S. 718). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Thieme Verlags.

Durch eine sagittal auftreffende Kraft kommt es zu einer Außenrotations- bzw. „Open-Book-Bewegung“ im Becken. Hier entstehen inkomplette Läsionen des hinteren Beckenringes. Open Book Grad I beschreibt die Symphyse ist ventral geweitet ( $< 2,5$  cm), während die dorsalen Bänder des ISG stabil sind. Bei Open Book Grad II kommt es zur Zerreißung der Symphyse ( $< 2,5$  cm) inklusive Rupturierung der Ligg. sacroiliaca anterior, sacrospinale und sacrotuberale (Euler et al. 2000).



**Abbildung 13:** Verletzungsvektoren am Becken: vertikale Scherverletzungen bzw. Translationsverletzungen (Tscherne et al. 2000 S. 718). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Thieme Verlags.

Bei der Translationsbewegung kann es zur kompletten Dislokation des hinteren Beckenringes mit Sprengung des ISG und Frakturen des Os Sacrum und Os ilium kommen. Auch der vordere Beckenring zerreißt, wenn die Kraft senkrecht auf die Strukturen einwirkt. Dabei kann auch die Gelenkpfanne mit betroffen sein (Euler et al. 2000).

Ebenso werden Beckenfrakturen nach der Young and Burgess Klassifikation, d. h. in die Richtung der Krafteinwirkung in laterale Kompressionsfrakturen (LC), anteroposteriore Kompressionsfrakturen (APC), vertikale Scherfrakturen (VS) sowie in einen komplexen Unfallmechanismus (CM) und resultierender Fraktur unterteilt.

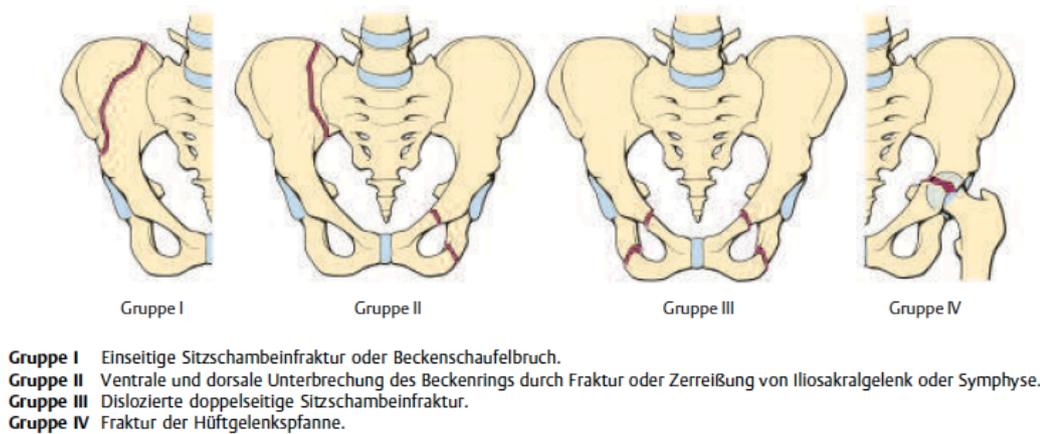
Die beiden ersteren Kategorien lassen sich weiter in Typ I – III je nach Verletzungsschwere untergliedern. Laterale Kompression bewirkt eine Innenrotation des ipsilateral gelegenen Os coxae und führt zu einer Impressionsfraktur des Os pubis (LC-I), häufig kombiniert mit einer posterioren Fraktur des Os ilium (LC-II) und im gravierendstem Fall mit einer Außenrotationsverletzung der kontralateralen Beckenschaufel (LC-III). Durch die laterale Kompression verkürzen sich die ipsilateralen Ligg. sacrospinale und sacrotuberale sowie die A. iliaca interna und entziehen sich den Zugkräften, so dass das Zerreißen großer Blutgefäße bei LC-Frakturen relativ untypisch ist.

Anteroposteriore Kompression verursacht eine Außenrotationsverletzung des Beckens mit zunächst einer geringen Diastase der Symphysis pubica von  $< 2,5$  cm (APC-I) zu einer sogenannten

Open-Book-Fraktur mit Auseinanderweichen der Symphyse von  $> 2,5$  cm (APC-II) bis hin zu einem kompletten Zerreißen des Iliosakralgelenkes (APC-III). Hier zeigt sich ein hoher Anteil an neuronalen und vaskulären Läsionen, insbesondere im Bereich der A. und V. iliaca interna im Bereich des Iliosakralgelenkes.

Aus vertikalen Scherkräften resultiert eine komplette Ruptur des Iliosakralgelenkes mit Diastase der Symphyse oder vertikaler Fraktur der Rr. ossis pubis. Die vertikale Verschiebung der Beckenhälften geht mit schweren Blutungen einher.

#### 1.2.4.1 Beckenringfraktur



**Abbildung 14:** Einteilung der Beckenverletzung (Niethard 2005 S. 457). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Thieme Verlags.

Die Verletzungen werden in vier Gruppen (I – IV) eingeteilt und sind vor allem nach dem Stabilitätsverlust charakterisiert. Verletzungen der ersten Gruppe sind stabil und werden konservativ behandelt, die in der Gruppe II müssen teilweise stabilisiert werden, bspw. mit einer Beckenzwinde und bei größerer Dislokation auch operativ. In der dritten Gruppe sind Begleitverletzungen signifikant, die ebenso versorgt werden müssen, das betrifft insbesondere Organe, die im kleinen Becken lokalisiert sind. Acetabulumfrakturen gehören zur Gruppe IV der Beckenverletzungen und zeigen die größten Dislokationen (Niethard 2005).

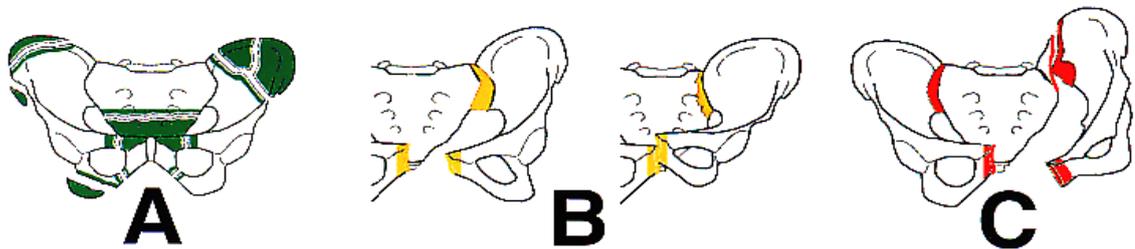
Die heutige AO-Klassifikation orientiert sich weitestgehend an dem Pathomechanismus nach Tile, Issler und Ganz. Prognostisch entscheidend sind die Instabilitätsgrade des vorderen und hinteren Beckenrings. Man unterscheidet Frakturen vom Typ A, B und C. Die Krafteinwirkungen nach Pennal finden in diesen drei Hauptkategorien Berücksichtigung (Källicke et al. 2000; Alwaal et al. 2015).

Typ A-Frakturen sind stabile Frakturen mit vorhandener osteoligamentärer Integrität. A1-Frakturen sind Beckenrandfraktur ohne Beteiligung des Beckenrings, sogenannte Abrissfrakturen.

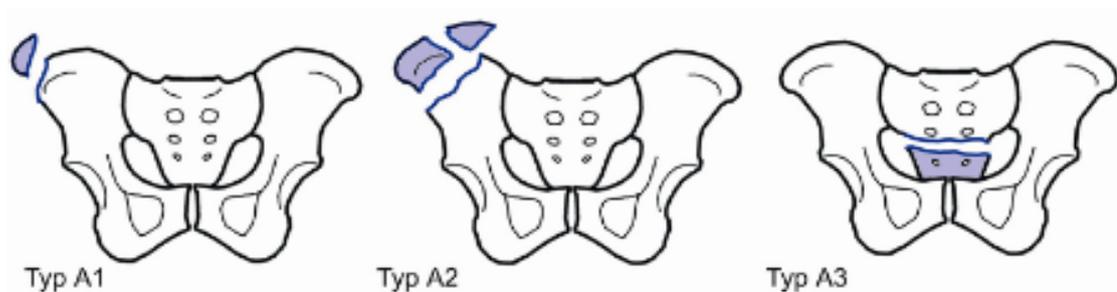
A2-Frakturen sind vordere Beckenringfrakturen und A3-Verletzungen sind tiefe bzw. hohe Querfrakturen des Os sacrum oder des Os coccygis.

Typ B-Frakturen sind teilstabile Frakturen (vertikal stabil, horizontal instabil). B1-Frakturen sind Innenrotationsverletzungen mit einseitiger dorsaler Läsion. B2-Frakturen beschreiben Außenrotationsverletzungen, dorsal ein- bzw. beidseitig, sogenannte Open-Book-Verletzungen. B3-Frakturen sind beidseitige dorsale Rotationsverletzung.

Typ C-Frakturen sind definiert als instabile Frakturen mit osteoligamentäre Desintegration. C1-Frakturen zeigen eine komplette unilaterale Durchtrennung des dorsalen Beckenrings. C2-Frakturen sind unilaterale Typ C-Verletzung mit kontralateraler Typ B-Verletzung und C3-Frakturen sind bilaterale Typ C-Verletzungen.



**Abbildung 15:** Typ A-, B- und C-Verletzungen nach AO-Klassifikation (Janku med. Diss. 2011).

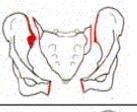
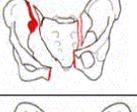


**Abbildung 16:** AO-Klassifikation Beckenverletzungen Typ A (Müller 1995 S. 2). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Springer Verlags.

Bei den stabilen Typ A-Beckenverletzungen handelt es sich um Brüche an den Darmbeinschaukeln, dem Sitzbein, Schambein oder dem Steißbein unterhalb der Gelenkverbindungen, die keine Instabilität verursachen. Zu den Abrissfrakturen der Typ A1-Läsionen zählen u.a. die Spina iliaca anterior superior et inferior oder das Tuber ischiadicum. A2-Verletzungen betreffen vor allem die Beckenschaukeln und die Schambeinäste. A3-Frakturen sind meist Querfrakturen des Os sacrum oder Os coccygis.

<b>Typ B Beckenring rotatorisch instabil und vertikal stabil</b>	
B 1	unilaterale Außenrotationsverletzung („open book“) = Symphysensprengung
B 1.1	 Inkomplette Unterbrechung des dorsalen Beckenringes mit unilateraler externer Rotation bei <u>anteriorer Sprengung der Sakroiliakalfuge</u>
B 1.2	 Inkomplette Unterbrechung des dorsalen Beckenringes mit unilateraler externer Rotation bei <u>Sakrumfraktur</u>
B 2	Laterale Kompressionsverletzung mit Innenrotationsfehlstellung eines Hemipelvis
B 2.1	 Inkomplette unilaterale Unterbrechung des dorsalen Beckenringes bei <u>anteriorer Sakrumkompressionsfraktur</u>
B 2.2	 Inkomplette unilaterale Unterbrechung des dorsalen Beckenringes bei <u>partieller Sakroiliakalfugenfraktur/Luxation</u>
B 2.3	 Inkomplette unilaterale Unterbrechung des dorsalen Beckenringes bei <u>inkompletter dorsaler Iliumfraktur</u>
B 3	Bilaterale Typ-B-Verletzungen
B 3.1	 Inkomplette bilaterale Unterbrechung des dorsalen Beckenringes bei <u>bilateraler Iliumfraktur</u>
B 3.2	 Inkomplette bilaterale Unterbrechung des dorsalen Beckenringes bei <u>B 1 und B 2 Verletzung</u>
B 3.3	 Inkomplette bilaterale Unterbrechung des dorsalen Beckenringes bei <u>bilateraler B 2 Verletzung</u>

**Abbildung 17:** AO-Klassifikation Beckenverletzungen Typ B (Janku med. Diss. 2011).

<b>Typ C Beckenring rotatorisch und vertikal instabil</b>		
C 1	unilateral rotatorisch und vertikal instabil	
C 1.1		Komplette Unterbrechung des dorsalen Beckenringes bei <u>unilateraler Iliumfraktur</u>
C 1.2		Komplette Unterbrechung des dorsalen Beckenringes bei <u>unilateraler Sakroilialfugenerreißung</u>
C 1.3		Komplette Unterbrechung des dorsalen Beckenringes bei <u>unilateraler Sakrumfraktur</u>
C 2	Eine Seite komplett, Gegenseite inkomplett	
C 2.1		Komplette Unterbrechung des dorsalen Beckenringes bei <u>Iliumfraktur</u> , Gegenseite inkomplett
C 2.2		Komplette Unterbrechung des dorsalen Beckenringes bei <u>Sakroilialfugenerreißung</u>
C 2.3		Komplette Unterbrechung des dorsalen Beckenringes bei <u>Sakrumfraktur</u>
C 3	bilateral rotatorisch und vertikal instabil	
C 3.1		Komplette bilaterale Unterbrechung des dorsalen Beckenringes bei <u>extrasakraler Fraktur</u> beidseits
C 3.2		Komplette bilaterale Unterbrechung des dorsalen Beckenringes bei <u>unilateraler Sakrumfraktur</u> und <u>extrasakraler Fraktur</u> auf der anderen Seite
C 3.3		Komplette bilaterale Unterbrechung des dorsalen Beckenringes bei <u>bilateraler Sakrumfraktur</u>

**Abbildung 18:** AO-Klassifikation Beckenverletzungen Typ C (Janku DH, med. Diss 2011).

#### 1.2.4.2 Sakrumfrakturen

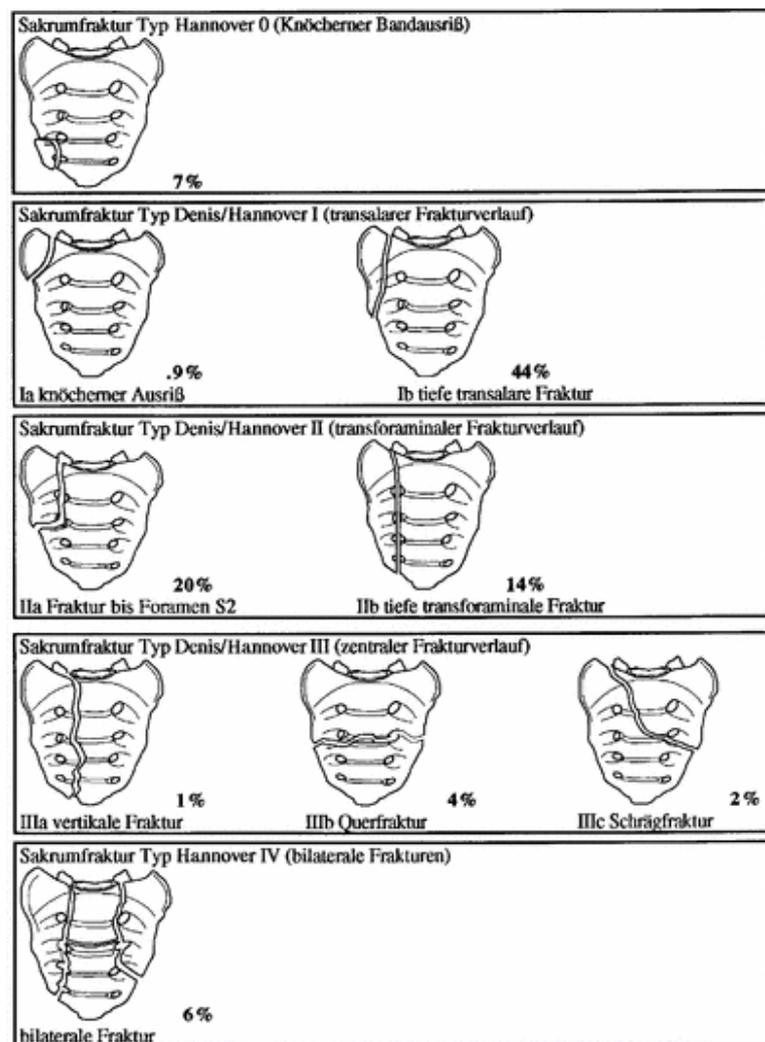
Bei der Klassifikation werden drei verschiedene Zonen nach Denis unterschieden und beschreiben die Schweregrade der Fraktur.

**Typ I:** Die Fraktur ist transalar, lateral der Foramina sacralia lokalisiert.

**Typ II:** Die Fraktur ist transforaminal im Sinne einer Längsfraktur.

**Typ III:** Zentrale Längsfrakturen und Querfrakturen des Os Sacrum.

Eine isolierte Sakrumfraktur tritt selten, in 11 % der Fälle auf. Meist sind sie vergesellschaftet mit einer instabilen Beckenringfraktur (Neugebauer und Nothofer 2003). Solche Frakturen entstehen durch einen indirekten Kraftvektor, beispielsweise über das Femur durch einen frontalen Anprall (Lang et al. 2016). Bei einer seitlichen Krafteinwirkung kann es zu einem direkten Bruch kommen, etwas seltener sind die Typ III-Frakturen. Die Inzidenz liegt zwischen 18 – 30 % (Pohlemann et al. 2000). Pohlemann hat die Einteilung nach Denis erweitert. Neben den o. g. drei Typen unterscheidet er zusätzlich den knöchernen Bandausriss (Typ Hannover 0) und die bilaterale Fraktur (Typ Hannover IV). Je weiter medial der Frakturspalt ist, desto häufiger kommt es zu neurologischen Defiziten. Durch die Dehnung der Nerven liegen neben motorischen Ausfällen vor allem Störungen der Mastdarm- und Blasenfunktion vor, die klinisch als Reithosenanästhesie und Sphinktertonusverlust imponieren (Rüter et al. 2004).



**Abbildung 19:** Die Sakrumfraktur, klinische Analyse von 377 Fällen (Pohlemann et al. 2000 S. 769-786). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Springer Verlags.

### 1.2.4.3 Klassifikation von Fragilitätsfrakturen des Beckenrings

Die Zunahme der Lebenserwartung führt zur Häufigkeitszunahme von hüftgelenksnahen Frakturen. Bei hochenergetischen Traumata kommt es zur Sprengung des Beckenrings im Jugendalter. Nach der Klassifikation von Rommens und Hofmann halten die Bandstrukturen höheren Belastungen stand, während der spongiöse Knochen schon bereits unter geringen Kräften versagt. FFP I zeigt die isolierte vordere Beckenringfraktur, FFP II beschreibt die nicht dislozierten Frakturen des hinteren Beckenrings, FFP III kennzeichnet die dislozierte unilaterale hintere Beckenringfraktur und FFP IV bezeichnet die dislozierten bilateralen hinteren Beckenringfrakturen. Neben der Osteoporose führt die zunehmende Ossifikation und Rigidity der Bänder zum Verlust der Elastizität und zur veränderten Übertragung der Kraft (Oberkircher et al. 2018).

### 1.2.5 Begleitverletzungen

Laut dem Beckenregister der DGOU von 2014 zeigen sich an führender Position mit 44 % retroperitoneale Hämatome gefolgt von Verletzungen der Blase (25 %), der Harnröhre (21 %), dem Plexus lumbosacralis (17 %) und Gefäßverletzungen im kleinen Becken (16 %) (Burkhardt et al. 2015). Von den parenchymatösen Organen sind mit etwa 70 % Leber und Milz betroffen (Ambacher T. et al. 2000). Zu den extrapelvinen Verletzungen zählen das Schädelhirn- und Thoraxtrauma (Siegmetz et al. 2000).

#### 1.2.5.1 Blutungen

Blutungen pelvin als auch peripelvin stellen eine bedrohliche Lebenssituation für den Patienten bei schweren Beckenverletzungen dar. 10 – 20 % aller Blutungen nach schweren Beckentraumen sind arteriellen Ursprungs, viel häufiger sind venöse Verletzungen ventral des Sakrums. 80 – 90 % sind durch die Verletzung eines venösen Gefäßgeflechts in Form von Massenblutungen und folgendem hämorrhagischen Schock verursacht. (Felix et al. 2016; Tiemann et al. 2004). Aktuelle Veröffentlichungen zeigen, dass bei instabilen offenen Beckenfrakturen in 50 – 78 % vordergründig arterielle Blutungen stehen (Emsler et al. 2015). Dies betrifft die großen Strombahnen der A. iliaca interna, z.B. A. glutea superior, A. obturatoria, vor allem nach Überrolltraumata mit 27,3 % (Rieger et al. 1998; Siewert und Pichlmayr 2013).

Entstehende Hämatome, aufgrund von aktiven Blutungen unterteilt man in drei verschiedene Zonen. Die zentrale Zone entsteht u. a. durch Verletzungen von Pankreas oder Leber, Aorta oder der V. cava inferior. In der Flankenzone sind Nieren oder deren Gefäße beeinträchtigt und in der Beckenzone venöse präsakrale Gefäße oder die großen Beckengefäße (Ambacher T. et al. 2000).

Besonders ist im kleinen Becken die A. pudenda, ein Ast der A. iliaca interna sowie die Corona mortis, eine Anastomose zwischen der A. epigastrica inferior und der A. obturatoria, bei Frakturen des Schambeines betroffen (Galanski 2006; Siewert und Pichlmayr 2013).

Zu den Blutungsquellen zählt auch der spongiöse Knochen nach Frakturen (Rieger et al. 1998). Die konfluierenden Hämatome können durch Ausbreitung ein Kompartementsyndrom im Bereich der Beckenmuskulatur, besonders aber im Bereich des Gesäßes, durch Frakturen des Kreuzbeines, oder seltener im M. Psoas herbeiführen (Burkhardt et al. 2005; Galanski 2006). Insbesondere spielt der Retroperitonealraum für die Ausbreitung von Blutungen eine große Rolle, so dass durch sein großes Fassungsvermögen von sechs Litern, Blutungen von außen nicht erkannt werden und zum Verblutungstod führen (Siegmeht et al. 2000). Der zuerst abgenommene Hämoglobinwert und der Base-Excess geben einen Eindruck über den Blutverlust bei einem komplexen Beckentrauma (Burkhardt et al. 2015; Culemann et al. 2013).

### 1.2.5.2 Nervenläsionen

Bei Frakturen des hinteren Beckenringes oder des Acetabulums kann der Plexus lumbosacralis verletzt werden (Siegmeht et al. 2000). Scharfe Knochensplitter können die Nervenäste, besonders im Bereich L2 – S1 verletzen und zu neurologischen Defiziten führen (Siegmeht et al. 2000). Die Inzidenz liegt bei 10 – 15 % und steigt auf 40 – 50 % bei instabilen Beckenfrakturen an (Källicke et al. 2000; Ambacher et al. 2000).

### 1.2.5.3 Verletzungen des Urogenitalsystems

Rupturen der Harnblase sind in 10 % der Beckenfrakturen eine Begleitverletzung (Galanski 2006). Nachgewiesen wird diese mit einer retrograden Zystographie und Austritt von Kontrastmittel, einfacher im Rahmen des Polytraumas ist jedoch ein CT-Scan mittels Kontrastmittelgabe. Man unterscheidet extraperitoneale von intraperitonealen Blasenrupturen, wobei erstere mit 80 % häufiger sind und vor allem durch vordere Beckenfrakturen verursacht werden (Galanski 2006). Intraperitoneale Rupturen findet man vor allem bei Kindern oder Erwachsenen mit stumpfem Bauchtrauma (Galanski 2006).

Ureterverletzungen können im Rahmen von Hochrasanztraumen entstehen und werden ebenso durch den Austritt von Kontrastmittel im Rahmen einer Applikation nachgewiesen.

Verletzungen der Geschlechtsorgane sind vor allem perineal zu erwarten (Källicke et al. 2000).

Urethrakontusionen, -zerrungen oder -rupturen sind besonders bei der sogenannten „Straddel-Fraktur“, Fraktur beider Schambeinäste mit Sprengung des Kreuzdarmbeingelenkes, durch retrograde Urethrographie diagnostiziert (Galanski 2006; Alwaal et al. 2015). Insbesondere sind Männer (m = 25 %, w = 4,9 %), die durch die Fahrt mit Motorrädern verunfallt sind, betroffen. 5 – 25 % der Patienten mit einer Beckenfraktur besitzen zusätzlich eine Verletzung der Harnröhre, klinisch hinweisend sind Hämaturie oder Anurie bzw. Skrotal- oder Vulvahämatom.

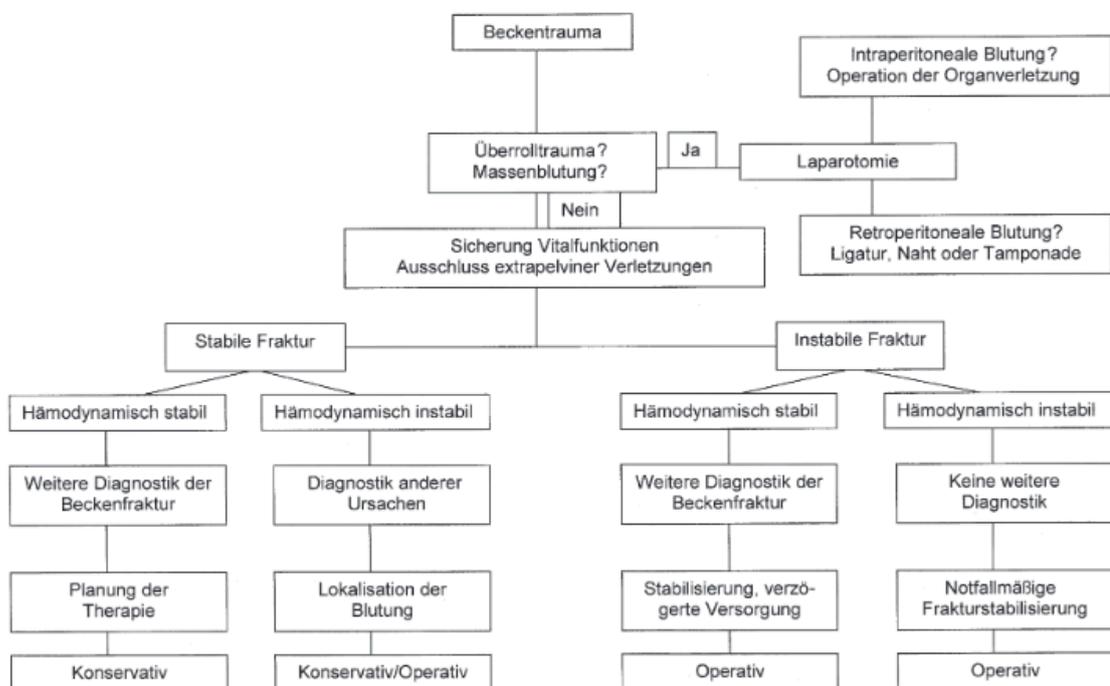
(Alwaal et al. 2015; Källicke et al. 2000; Siegmeth et al. 2000; Lang et al. 2016). Patienten klagen über Miktionsstörungen oder Inkontinenz im Verlauf.

### 1.2.5.4 Verletzungen des Darmtraktes

Der Dickdarm, das Sigmoid und das Rektum werden vor allem bei dislozierten Sakrumfrakturen verletzt (Källicke et al. 2000; Ambacher T. et al. 2000). Eine größere Gefahr bei Darmverletzungen spielen vor allem Erreger aus der Darmflora, die zu Infektionen und Durchwanderungsperitonitiden führen können (Ambacher T. et al. 2000). Weitere Komplikationen von Darmkontusionen sind intramurale Hämatome, Herniationen und Abriss der Mesenterialgefäße mit nachfolgender Ischämie und Nekrose des zu versorgenden Darmabschnittes (Schwemme und Schultheis 1985).

### 1.2.6 Behandlungsstrategien von Beckenfrakturen

Je nach Schweregrad der Verletzung und dem Allgemeinzustand des Patienten muss individuell entschieden werden, ob die Behandlung konservativ oder operativ durchgeführt wird. Instabile Beckenfrakturen müssen zeitgerecht mechanisch stabilisiert werden. Ziel der operativen Versorgung ist eine schnellstmögliche Wiederherstellung der Gang- und Standmobilisierung und die Verhinderung von Immobilisationsfolgen wie Embolien, Pneumonien oder Thrombosen (Tiemann et al. 2004).



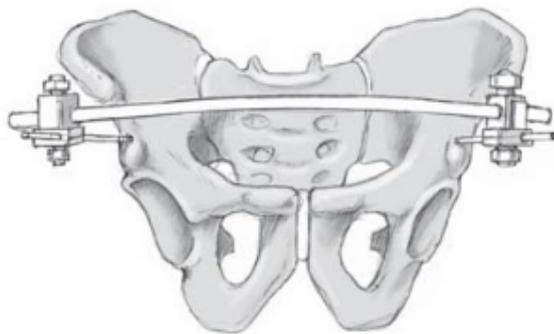
**Abbildung 20:** Traumaalgorithmus beim komplexen Beckentrauma (Ambacher et al. 2000 S. 30). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Spinger Verlags.

### 1.2.6.1 Externe Stabilisierung

Im Fokus stehen primär die Versorgung der Weichteile und das Erkennen massiver Blutungen im Rahmen von hämorrhagischen Verletzungen von Gefäßen intra- und retroperitoneal.

In den 70er Jahren wurde zunächst tamponiert, um den venösen Rückstrom zu fördern, während des Transportes in das Krankenhaus wurde das Becken mit einem Gurt fixiert, welches den Bedarf an Erythrozytenkonzentrationen signifikant senkte (Felix et al. 2016). Heutzutage werden die Patienten i. d. R. mit einem Beckengurt eingeliefert.

Von großer Bedeutung sind der Fixateur extern und die Beckenzwinge, die zur initialen Behandlung von Beckenfrakturen dienen (Culemann et al. 2013). Der Fixateur, verwendbar bei Typ B- und Typ C-Beckenringverletzungen, verhindert weitere Dislokationen durch Spongiosaabsprengungen (Felix et al. 2016; Gänsslen et al. 2005). Er wird perkutan durch zwei Schanzschrauben supraacetabulär und mit einem Verbindungsstab aus Karbon ventral des Beckenringes oder einfacher am Darmbeinkamm angebracht (Gänsslen et al. 2005; Tiemann et al. 2004). Vorteile bei der perkutanen Variante sind eine geringere Verletzung der umgebenden Weichteile und keine erneuten Gefäßverletzungen. Eine sekundäre osteosynthetische Versorgung ist nur notwendig, wenn die externe Versorgung nicht die vollständige anatomische Reposition erfüllt. Es gibt diverse Beckenfrakturen, die am Fixateur extern optimal ausheilen können (Tiemann et al. 2004).



**Abbildung 21:** Externe Fixation der Beckenfraktur (Gänsslen et al. 2005 S. 306). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Thieme Verlags.

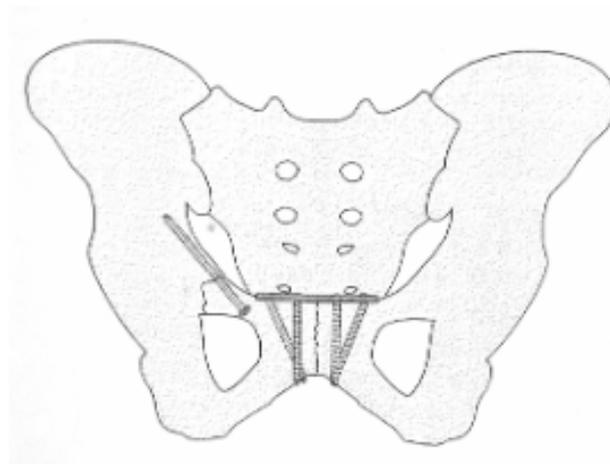
Eine Kompression erreicht man durch die Beckenzwinge, eine einfache Konstruktion, angewendet am dorsalen Beckenring bei instabilen Typ C-Beckenverletzungen (Tiemann et al. 2004; Seekamp et al. 2004). Bei dieser Methode wird der retroperitoneale Raum verkleinert und die Hämodynamik stabilisiert, bevor die definitive Osteosyntheseversorgung nach zwei bis drei Tagen erfolgt (Ambacher T. et al. 2000). Kontraindiziert ist diese Methode bei transiliakalen Frakturen.

### 1.2.6.2 Operative Stabilisierung

Intraoperativ werden Blutungen mittels Bauchtüchern zur extraperitonealen Tamponierung gestellt (Felix et al. 2016; Culemann et al. 2013). Dabei werden präsakrale, venöse Blutungen kontrolliert. Die Bauchtücher werden im Second-Look-Verfahren nach zwei bis drei Tagen wieder entfernt (Ambacher T. et al. 2000). Eine direkte Blutstillung wird durch Ligaturen, Gefäßnähte und -rekonstruktionen erreicht. Mittels Angiographie und digitaler Subtraktionsangiographie können Gefäße, vor allem arteriellen Ursprungs, transkathetral embolisiert werden (Rieger et al. 1998; Seekamp et al. 2004; Galanski 2006).

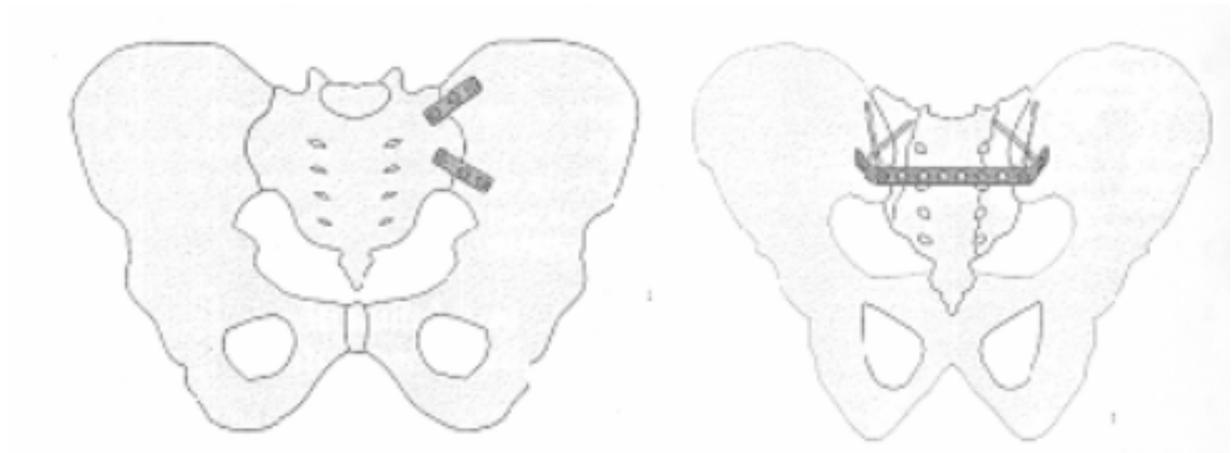
Die Auswahl idealer Osteosynthesetechniken und Zugangswege zur Versorgung des Beckenringes stellt eine essentielle Entscheidung dar. Zu den internen Beckenimplantaten zählen Kortikalis- und Spongiosaschrauben sowie biegsame Rekonstruktions- oder Dekompressionsplatten bei Becken- und Acetabulumfrakturen (Texhammar und Colton 2013).

Man verwendet 3,5 mm Platte die mit Kortikalisschrauben eingesetzt werden. Die Symphyse Typ B- und Typ C-Beckenringverletzungen wird mit einer von kranial aufgesetzten DC- oder RK-Platte (4 – 6 Loch) und kraniokaudalen Spongiosschrauben (3 – 5 mm) rekonstruiert (Döhler 2013; Culemann et al. 2013; Siekmann et al. 2012).



**Abbildung 22:** AO-Prinzipien des Frakturmanagements (Rüdi et al. 2008 S.703). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Thieme Verlags.

Sakrum- und Iliumfrakturen können ebenfalls mit Platten- und Schraubenosteosynthesen wiederhergestellt werden (Siewert und Pichlmayr 2013). Hierbei ist vor allem auf die genaue anatomische Reposition bei Typ C-Frakturen dorsal zu achten, um im zweiten Schritt den vorderen Beckenring stabilisieren zu können. Bei instabilen Sakrumfrakturen können auch Sakralstäbe oder Fixateur intern eingesetzt werden.



**Abbildung 23:** Ventral SI-Gelenk und dorsal ilioiliakal (Rüdi et al. 2008 S. 704). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Thieme Verlags.

### 1.2.6.3 Scores

Es gibt zahlreiche Scores in der Unfallchirurgie zur Einschätzung der Verletzungsschwere bei einem Polytraumatisierten. Die präklinisch und klinisch diagnostizierte Verletzungsschwere wird mithilfe des Injury Severity Score (ISS) und des Trauma Injury Severity Score (TRISS) sowie dem Abbreviated Injury Scale (AIS) eingeschätzt. Die isolierte Beurteilung der präklinischen Verletzungsschwere anhand anatomischer Scores ist jedoch nicht ausreichend. Es sollten der Unfallmechanismus und weitere klinische Parameter hinzugezogen werden. Allen gemeinsam ist die Berechnung von Punktwerten die Summen ergeben, aus denen sich Klassifizierungen und mögliche therapeutische Regime ableiten lassen (Spering et al. 2018).

## 2 Methodik und Datenerhebung

### 2.1 Studiendesign

In dem Untersuchungszeitraum von 2008 bis 2015 wurden 24 Patienten, die den Einschlusskriterien entsprachen, über den Schockraum der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie aufgenommen. Einschlusskriterien waren das Vorliegen einer peripelvinen bzw. pelvinen Gefäßverletzung mit relevantem Beckentrauma ( $AIS \geq 2$ ,  $ISS \geq 16$ ). Der Abbreviated Injury Scale bewertet die Letalität von einzelnen Verletzungen und der Injury Severity Score die Schwere der Verletzung nach den entsprechenden anatomischen Schweregraden. Die Datenerhebung erfolgte anhand von analogen bzw. digitalisierten Patientenakten. Die Schockraum- und Notarztprotokolle, Krankenblätter und die patientengebundene Bildgebung (Röntgen, CT) wurden retrospektiv ausgewertet. Zu den ausgewerteten Parametern zählten epidemiologische Daten der Patienten, Vorerkrankungen, Rettungstransportmittel, der Unfallmechanismus bzw. das Verletzungsmuster und die Traumart. Zusätzlich wurden alle Becken- und Sakrumfrakturen nach der AO klassifiziert. Anschließend wurden das Schockraummanagement, die operative Versorgung sowie der stationäre Aufenthalt und die Komplikationen im Rahmen der Schwerstverletzung, insbesondere die peripelvine Blutung analysiert. Die retrospektive Datenanalyse diente vorrangig der Konzeption des Göttinger Becken-Scores. Hierzu wurde zur Validierung eine Vergleichskohorte aus dem Jahr 2015 ( $N = 23$ ) aus der Kontrollgruppe ( $N = 443$ ) mit einer Beckenfraktur ohne das Vorliegen einer peripelvinen Blutung ausgewählt.

### 2.2 Statistische Analyse

Die statistische Auswertung erfolgte über eine univariate Analyse. Die Beschreibung eines Datensatzes anhand einzelner Merkmale erfolgte mittels deskriptiver und inferenzstatistischer Auswertung der Daten durch Statistika (Version 13.3). Es werden die Verfahren beschrieben, welche bei der statistischen Datenanalyse eingesetzt wurden.

Die Analyse wurde in Form von Häufigkeitstabellen beschrieben. Unter den graphischen Darstellungsformen wurden kategoriale Merkmale der untersuchten Stichprobe für stetige Variablen, Histogramme angewendet. Zur Überprüfung der Normalverteilung wurde aufgrund der kleinen Stichprobe der Kolmogorov-Smirnov-Test eingesetzt, um zu überprüfen inwieweit die Verteilung

mit hoher Wahrscheinlichkeit von einer hypothetischen Normalverteilung abweicht. Dieser Test analysiert, ob die gegebene Verteilung der Daten aus einer Stichprobe mit der Populationsverteilung konform ist. In der vorliegenden Arbeit wurden Normalverteilungen auf Signifikanz geprüft und somit die Voraussetzung für hypothesentestende Verfahren ermittelt. Im Rahmen dieser Hypothesenprüfung gilt ein Ergebnis als signifikant, sobald die beobachtete Irrtumswahrscheinlichkeit  $p \leq 0.05$  beträgt. Im Rahmen dieses Prozesses wurden Häufigkeitsverteilungen sowie Lage- und Streuungsmaße in der Datenanalyse betrachtet. Hierbei wurde zwischen absoluten und relativen Häufigkeiten unterschieden.

Für die Beschreibung metrischer Merkmale der Stichprobe wurden Maßzahlen für die Tendenz, z. B. Mittelwert und Median, und für die Streuung, z. B. Minimum, Maximum und Quartile berechnet.

Zur Abbildung metrischer Daten eigneten sich vor allem Box-Plots, die sowohl die zentrale Tendenz (Median) als auch die Streuung (Interquartilsabstand, Minimum, Maximum) zeigen, Ausreißer identifizieren und Gruppenvergleiche, sprich Vergleiche zwischen den Abstufungen einer kategorialen Variable, veranschaulichen.

Im Rahmen der Inferenzstatistik wurden zentrale Tests wie der t-Test, der Mann-Whitney-U-Test und der Kruskal-Wallis-Test für unabhängige Stichproben angewandt, um zu testen, ob sich die zentralen Tendenzen der Stichproben unterscheiden. Der U-Test nach Mann & Whitney ist eine parameterfreie Alternative zum t-Test für den Fall der Verletzung einer oder mehrere Voraussetzungen. Dieser Test prüft den Unterschied zwischen zwei unabhängigen Stichproben auf Basis rangskalierten Daten, d. h. es wird mindestens ein Ordinalskalenniveau vorausgesetzt.

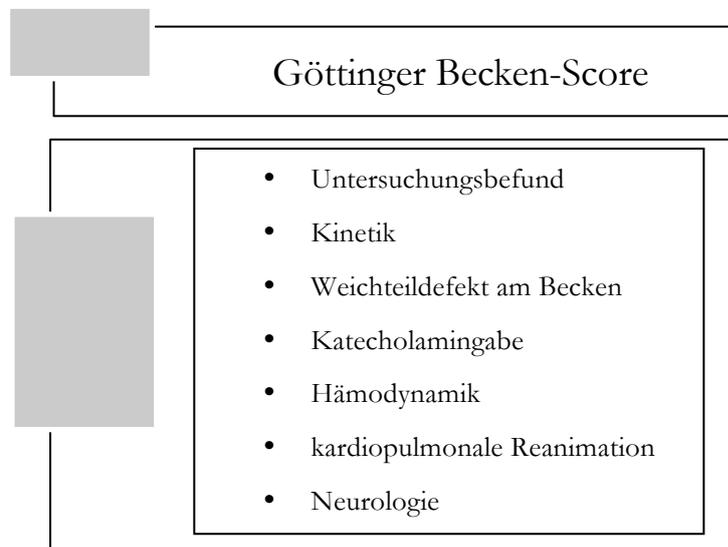
Der Kruskal-Wallis-Test, ein parameterfreies Verfahren, auch Rangvarianzanalyse genannt, überprüft bei Verletzung von Voraussetzungen (Normalverteilung, Intervallskalenniveau der Daten, Homogenität der Varianzen) anstelle einer einfaktoriellen Varianzanalyse, ob sich Gruppen von Objekten in der Abfolge der gerangreichten Daten voneinander unterscheiden. Voraussetzung ist somit zumindest ein ordinales Datenniveau und dass die Daten nicht normalverteilt sein. Auch bei kleinen Stichproben und Ausreißern können diese beiden letzteren genannten Verfahren angewendet werden.

## **2.3 Der Göttinger Becken-Score**

### **2.3.1 Definition**

Um eine peripelvine oder pelvine Blutung präklinisch identifizieren zu können, wurde mittels des Datensatzes des Patientenkollektivs mit peripelviner Blutung (2008 – 2015) zu einer Kontrollgruppe ohne Blutung aus dem Jahr 2015 ein Score erstellt, der es ermöglicht anhand objektiver

Faktoren die Verletzungsschwere der Beckenfraktur und insbesondere die peripelvine Blutungswahrscheinlichkeit sowie die Risikoabschätzung für vital bedrohte Patienten einzuschätzen.



**Abbildung 24:** Objektive Faktoren des GBS.

**Tabelle 1:** Präklinischer Score zur Prognose- und Risikoabschätzung peripelviner Blutungen in Punkten.

**Pkt.**

Untersuchungsbefund	keine Schmerzen im Becken	<b>0</b>
	Kompressions- oder Stauchungsschmerz am Becken (bei bewusstlosen Patienten Instabilität des Beckens) und/oder genitaler, rektaler Blutabgang.	<b>1</b>
Kinetik	Low Energy < 30 km/h	<b>0</b>
	High Energy, Geschwindigkeitsveränderung von delta > 30 km/h, Sturz > 3 m	<b>1</b>
Weichteildefekte am Becken	Grad 0/I geschlossen	<b>0</b>
	Grad II/III geschlossen, offen I-IV	<b>1</b>
Katecholamingabe	nein	<b>0</b>
	ja	<b>1</b>
Hämodynamik	Stabilisierung unter laufender Therapie	<b>0</b>
	Verschlechterung unter laufender Therapie	<b>1</b>
kardiopulmonale Reanimation	nein	<b>0</b>
	ja	<b>1</b>

Neurologie	keine Ausfälle	0
	peripher neurologische Auffälligkeiten bspw. Reithosenanästhesie, Pudendusläsion	1
Alter	51 – 79 Jahre	0
	≥ 80 Jahre	1
	≤ 50 Jahre	1

**Tabelle 2:** Punkteverteilung im präklinischen Score zur Prognose- und Risikoabschätzung peripelviner Blutungen.

≤ 2 Punkte keine Blutung
3 – 4 Punkte Blutung möglich
5 – 6 Punkte Blutung wahrscheinlich
7 – 8 Punkte Blutung liegt vor

Der Score besteht aus acht Kriterien, die jeweils mit null oder einem Punkt gewertet werden. Dazu zählen die Anzeichen einer Beckenverletzung/-fraktur – wie bspw. die klinische Untersuchung, die Kinetik des Unfallgeschehens und der Grad des Weichteildefektes nach der Klassifizierung von Tscherne und Oestern (1982), auf den Bereich des Beckens angewendet.

Eine Rolle spielen die Vitalparameter wie systolischer Blutdruck und Herzfrequenz, die bereits am Unfallort ermittelt werden können, um den Kreislaufstatus des Verunfallten zu ermitteln und eine damit eventuell einhergehende Blutung rechtzeitig zu diagnostizieren. Die präklinische Gabe von Katecholaminen wird in Bezugnahme auf die Klassifizierung vor allem auch die Entwicklung der hämodynamischen Prozesse hinsichtlich Verbesserung oder Verschlechterung mit eventueller kardiopulmonalen Reanimation beobachtet und vom Rettungsdienst bzw. Notarzt dokumentiert.

Weitere Kriterien wie das Alter und die neurologischen Ausfallerscheinungen bilden wichtige Faktoren zur Darstellung des Schweregrades. Im Alter unter 35 Jahren und über 80 Jahren werden hier Punkte anhand des Göttinger Becken-Scores vergeben.

### 2.3.2 Die statistische Auswertung des Scores

Mittels Parameter und statistischer Auswertung sowie bereits bewährten Scores wurde der Göttingen Becken-Score anhand retrospektiver Daten aus Patientenakten und Bildgebung zu Beckenfrakturen konzipiert. Diese klinische Skala besteht aus operationalisierten Komponenten, die durch multidimensionalen Ansatz von verschiedenen Merkmalen zu einer ordinalskalierten Bewertung führt. Da es sich bei dem Score hauptsächlich um qualitative Merkmale und weniger um quantitative handelt, werden diese mehrstufig klassifiziert und mit Punkten versehen. Die Kodierung für jeden einzelnen Parameter ist gleich, so dass die gewichtete Summe am Ende wenig fehleranfällig ist. Wichtig war die Festlegung des minimalen und maximalen Scorewertes für die Kohorte mit peripelviner Blutung, die durch ein Referenzkollektiv mit Beckenfrakturen ohne derartige Blutung verglichen wurde, um die Auftretungswahrscheinlichkeit einer Blutung am Ende angemessen kalibrieren zu können. Die Differenzierung dieser beiden Gruppen bezüglich eines Merkmales dient als eindeutiges Referenzkriterium für einen prädiktiven Verlauf. Es werden den einzelnen Parametern Punktwerte zugewiesen, die dann zu einem Gesamtpunktwert des Scores addiert werden. Es wurde statistisch dargestellt, dass eine höhere Punktzahl mit einer höheren Wahrscheinlichkeit des Vorliegens einer peripelvinen Gefäßverletzung korreliert. Die maximal zu erreichende Punktzahl beträgt acht. Um eine mögliche Blutung mittels der Klassifizierung zu diagnostizieren, muss eine Mindestpunktzahl von drei vorliegen.

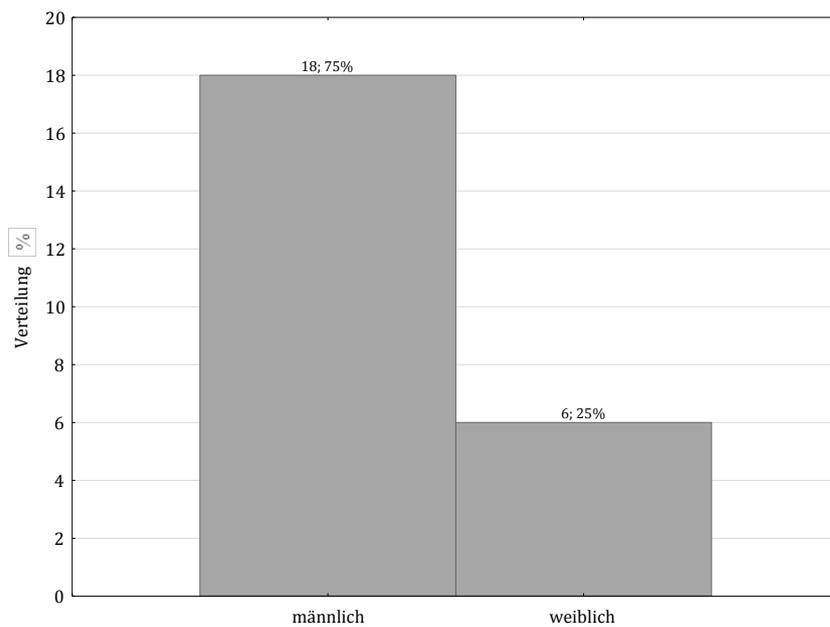
### 3 Datenauswertung und Ergebnis

#### 3.1 Patientenkollektiv (Kohorte mit peripelviner Blutung)

##### 3.1.1 Alter und Geschlecht

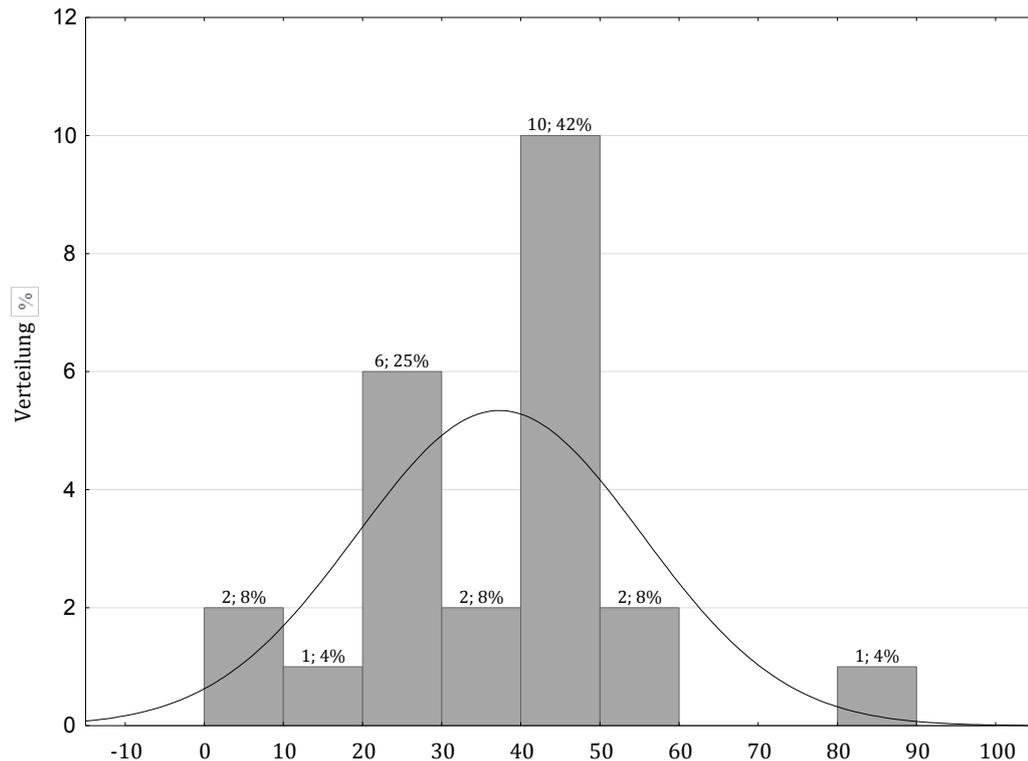
Unter den 24 Patienten, die eine Gefäßverletzung bei Beckenfraktur aufwiesen, zeigte sich ein Anteil von 75 % männlicher Patienten über den beobachteten Zeitraum von 2008 – 2015.

Im Jahr 2015 wurden über den Schockraum insgesamt 47 Patienten mit einem Beckentrauma aufgenommen. 23 Patienten erlitten dabei keine peripelvine Blutung. Hingegen zeigt sich in der Kohorte mit Blutung ein Verhältnis von 2:1 und im Beobachtungszeitraum von 2008 – 2015 sogar 3:1.



**Abbildung 25:** Graphische Darstellung zur Geschlechtsverteilung der Kohorte mit peripelviner Blutung ( $n = 24$ ), Häufigkeit:  $m = 18$ ,  $w = 6$ , prozentuale Verteilung:  $m = 75\%$ ,  $w = 25\%$ .

Das mittlere Durchschnittsalter des untersuchten Kollektivs betrug 37 Jahre. Zum Zeitpunkt des Unfalls war der jüngste fünf Jahre und der älteste Patient 86 Jahre alt.



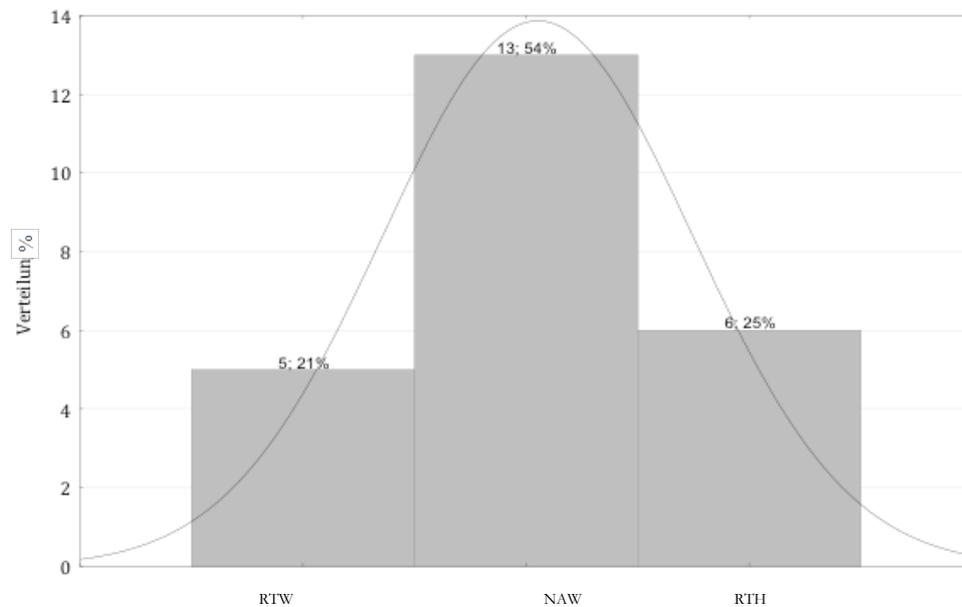
**Abbildung 26:** Graphische Darstellung zur Altersverteilung zum Unfallzeitpunkt von 2008-2015 ( $n = 24$ ), Häufigkeit:  $m = 18$ ,  $w = 6$ . Die Signifikanzanalyse wurde mittels Kolmogorov-Smirnov-Test zur Überprüfung der Abweichung von der Normalverteilung überprüft:  $p > 0.10$ . Stdabw.  $m = 14,74$ , Stdabw.  $w = 27,15$ , max. neg. Diff. =  $-0,17$ , max. pos. Diff. =  $0,28$

### 3.1.2 Vorerkrankungen

Elf von 24 Patienten (46 %) wiesen Vorerkrankungen isoliert oder in Kombination im Zeitraum vor der stattgehabten Beckenverletzung auf. Von diesen Patienten hatten 20,8 % kardiale Beschwerden, 8,3 % Beeinträchtigungen im Bewegungsapparat, 20,8 % psychiatrische Erkrankungen, 12,5 % manifeste Stoffwechselerkrankungen und jeweils 4,2 % neurodegenerative, gynäkologische oder urologische Beschwerden. Von diesen 45,8 % zeigten sieben Patienten (29,1 %) eine isolierte und vier Patienten (16,7 %) zwei oder mehrere Vorerkrankungen.

### 3.1.3 Rettungstransportmittel

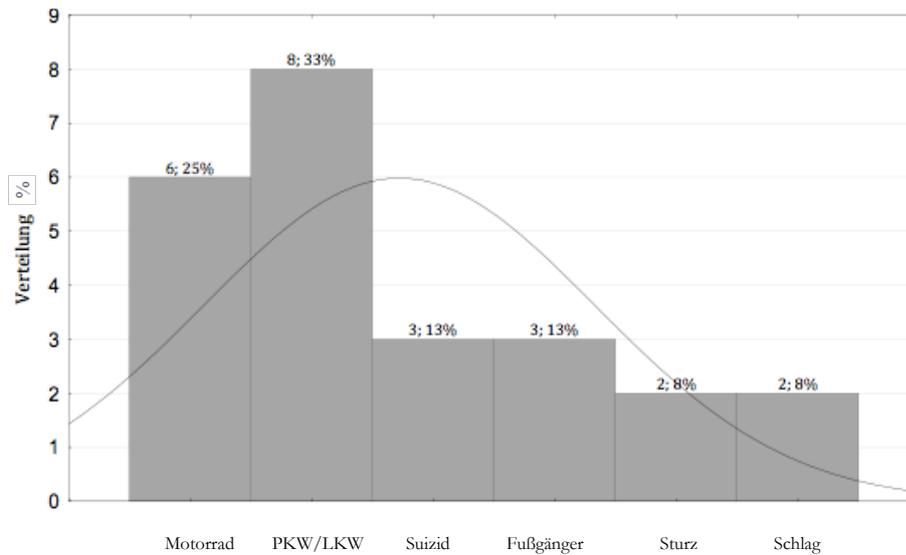
Der Großteil der Beckenverletzten wurde primär in die Universitätsmedizin Göttingen aufgenommen oder der Klinik sekundär aus den umgebenden Krankenhäusern zu verlegt.



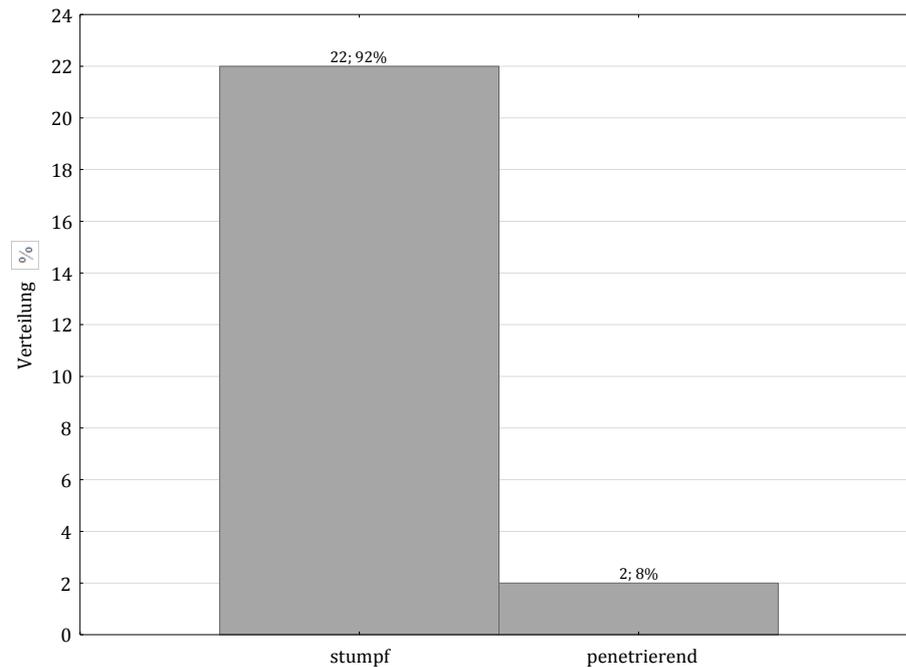
**Abbildung 27:** Graphische Darstellung über die diversen Rettungstransportmittel der Universitätsmedizin Göttingen. RTW: Rettungstransportwagen, NAW: Notarztwagen, RTH: Rettungstransporthubschrauber ( $n = 24$ ), Häufigkeit:  $m = 18$   $w = 6$ . Die Signifikanzanalyse wurde mittels Kolmogorov-Smirnov-Test zur Überprüfung der Abweichung von der Normalverteilung überprüft:  $p > 0.10$ . Stdabw.  $m = 0,64$ , Stdabw.  $w = 0,82$ , max. neg. Diff. =  $-0,33$ , max. pos. Diff. =  $0,00$ .

75 % der Patienten wurden mit einem notarztbegleiteten Transport mittels Rettungstransportwagen und begleitetem Notarzteinsatzfahrzeug transportiert, 25 % mit dem Rettungstransporthubschrauber.

Als hauptursächlicher Unfallmechanismus konnte in 70,8 % der Fälle ein Straßenverkehrsunfall verursacht durch ein PKW, Motorrad oder Fußgängerunfall, beobachtet werden. Polytraumatisierte, deren Verletzungen vor allem mit einem Sturzgeschehen von über drei Metern verursacht worden waren, sind neben den Verunglückten durch Suizidversuch oder stumpfe Verletzungen im Rahmen einer landwirtschaftlichen oder industriellen Tätigkeit in der Rangliste folgend.



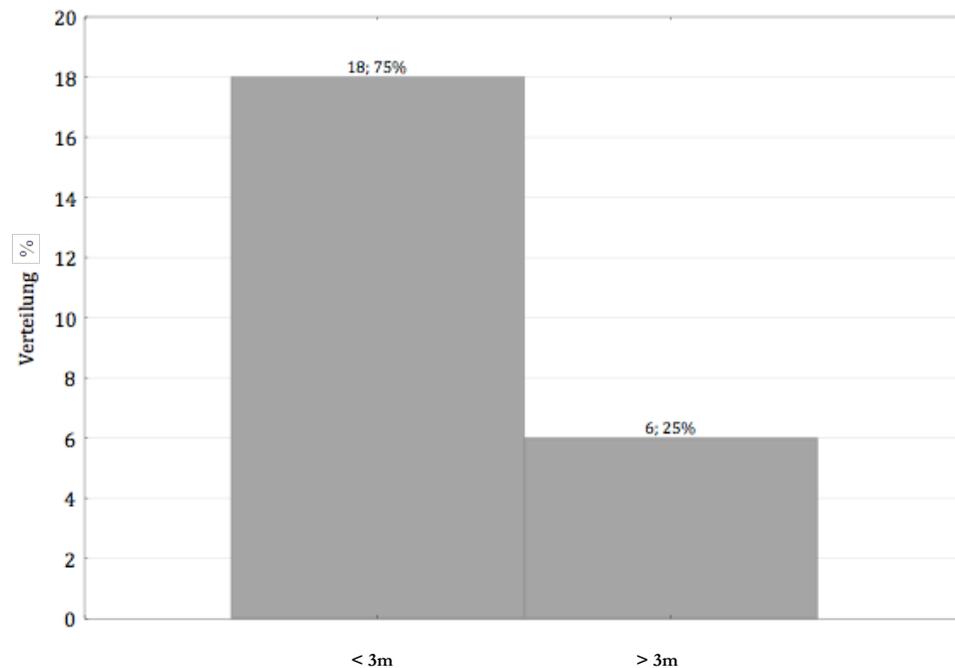
**Abbildung 28:** Graphische Darstellung über die prozentuale Häufigkeit der Unfallart (n = 24), Häufigkeit: m = 18 w = 6. Die Signifikanzanalyse wurde mittels Kolmogorov-Smirnov-Test zur Überprüfung der Abweichung von der Normalverteilung überprüft:  $p > 0.10$ . Stdabw. m = 1,69, Stdabw. w = 1,41, max. neg. Diff. = - 0,33, max. pos. Diff. = 0,11.



**Abbildung 29:** Graphische Darstellung über die Häufigkeit der Traumaart (n = 24), Häufigkeit: gültig m = 18 w = 6. Die Signifikanzanalyse wurde mittels Kolmogorov-Smirnov-Test zur Überprüfung der Abweichung von der Normalverteilung überprüft:  $p > 0.10$ . Stdabw. m = 0,32, Stdabw. w = 0,00, max. neg. Diff. = 0,00, max. pos. Diff. = 0,11

In 92 % handelte es sich um stumpfe Traumata, in 8 % erlitten die Patienten ein penetrierendes Trauma, hier vor allem bei schweren Forstarbeiten durch Einklemmung der Person durch einen Baumstumpf oder Kollision des PKWs mit einem penetrierenden Gegenstand.

17 von 24 Patienten (71 %) stürzten im Rahmen des Unfalls unter einem Meter und sechs Patienten (25 %) über drei Meter. Drei Patienten von diesen stürzten im Rahmen eines Suizids aus großer Höhe mit einem komplexen Verletzungsmuster und axialer Stauchung.

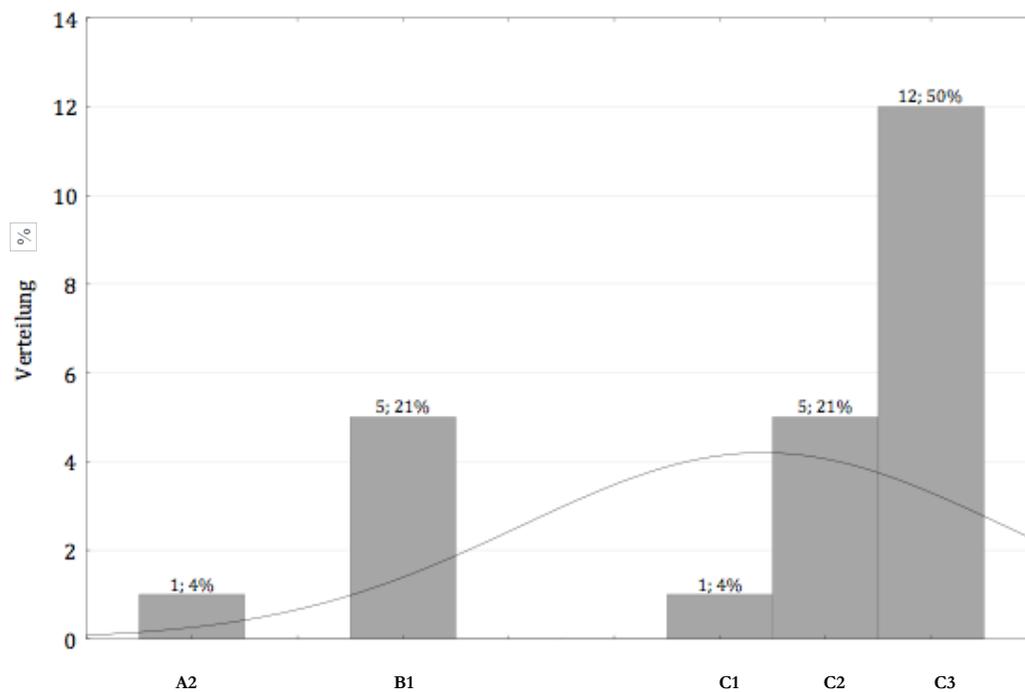


**Abbildung 30:** Graphische Darstellung über die prozentuale Häufigkeit verschiedener Sturzhöhen (n = 24), Häufigkeit: gültig m = 18 w = 6.

Die Verkehrsunfälle waren durch fünf verschiedene Unfallmechanismen gekennzeichnet. Über die Hälfte der Patienten erlitt ein Anpralltrauma (58,3 %), davon waren die Hälfte Motorrad- oder Autofahrer. Das Anpralltrauma verursacht in dieser Kohorte ca. 29 % der C3-Beckenfrakturen und 16 % der C2-Beckenfrakturen. Hier zeigt sich im t-Test für unabhängige Stichproben/Variablen ein  $p < 0.05$  ( $p = 0,01$ ), so dass die instabilen Typ C-Beckenfrakturen mit dem Anprallmechanismus signifikant zu beobachten sind. Gleichmaßen lies sich eine deutliche Signifikanz ( $p = 0,001$ ) zwischen Unfallart, in Form von Verletzungen durch hohe Kinetik und der entstandenen Typ C-Beckenfraktur nachweisen.

### 3.1.4 Verletzungstyp

Die Beckenfrakturen wurden entsprechend der AO-Klassifikation aufgeschlüsselt.



**Abbildung 31:** Graphische Darstellung zur prozentualen Verteilung der Beckenfrakturen klassifiziert nach der AO (n = 24), Häufigkeit: m = 18 w = 6. Die Signifikanzanalyse wurde mittels Kolmogorov-Smirnov-Test zur Überprüfung der Abweichung von der Normalverteilung überprüft:  $p > 0,10$ . Stdbw. m = 2,41, Stdbw. w = 1,94, max. neg. Diff. = -0,17 max. pos. Diff. = 0,00.

75 % zeigten eine vertikal instabile Typ C-Beckenfraktur, bei denen in 55 % der Fälle eine begleitende Sakrumfraktur zu erkennen war – 26 % in der Zone I, 4 % in der Zone II und 25 % in der Zone III. Knapp ein Viertel zeigte eine klassische Open-Book-Verletzung vom Typ B1 mit Symphysensprengung und unilateraler Außenrotationsverletzung.

Sakrumfrakturen sind, wie oben beschrieben in diesem Kollektiv mit instabilen Beckenfrakturen vergesellschaftet. Ein Drittel der gesamten Kohorte erfuhr keine zusätzliche Fraktur im Bereich des Os Sacrum – vor allem in Zone III mit zentraler Längs- und Querfraktur. Dementgegen konnte hier kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Schweregrad der Beckenverletzung und einer vergesellschafteten Sakrumfraktur gefunden werden ( $p = 0,66$ ).

54 % zogen sich zusätzlich zu ihrer Beckenringfraktur eine Acetabulumfraktur zu. Es zeigte sich bei der Analyse, dass in erster Linie alle instabilen C3-Beckenfrakturen eine Acetabulumfraktur aufwiesen. Bei dem Vergleich der C3-Beckenfrakturen mit all den übrigen stattgehabten Beckenfrakturen bezüglich einer Acetabulumfraktur zeigte sich eine zweiseitige Signifikanz im t-Test von

$p < 0,001$ . Bei der Typ C3-Beckenfraktur konnte ein statistischer Zusammenhang mit der Häufigkeit des Auftretens einer Acetabulumfraktur dargelegt werden.

### 3.1.5 Verletzungsmuster

Eine isolierte Beckenfraktur konnte bei keinem der Patienten festgestellt werden. Zu den Begleitverletzungen zählen in diesem Patientenkollektiv vor allem knöcherne Verletzungen der Wirbelsäule, Schädel-Hirn-Traumen, Rippenserienfrakturen sowie Kreislaufstörungen bis hin zur Schocklage.

Häufige Zusatzverletzungen waren mit 29 % Unterschenkelfrakturen und knöcherne Verletzungen der oberen Extremität, davon 33,3 % den Unterarm betreffend wie beispielweise Olekranon- und distale Radiusfrakturen. 29,2 % wiesen Verletzungen am Oberschenkel in Form von Frakturen und Weichteilverletzungen auf. Die axialen Verletzungsmechanismen durch Sprung aus einer Höhe von über drei Metern zeigten zusätzlich durch Frakturen des Calcaneus.

41,6 % zeigten eine Querfortsatzfraktur der Lendenwirbelsäule, insbesondere zwischen LWK 3 und LWK 5 und weitere 20,8 % der Verletzten eine Mitbeteiligung der Brustwirbelkörper in Form von Querfortsatz- oder Hinterkantenfrakturen. Bei lediglich 16,6 % wurden Veränderungen der Wirbelkörper im Halswirbelsäulenbereich diagnostiziert.

### 3.1.6 Diagnostik

Bei allen Verunfallten erfolgte im Rahmen des Schockraummanagements ein Polytrauma-CT. Bei 63 % der Fälle erfolgte im Verlauf zusätzlich ein cCT aufgrund der Schwere der Begleitverletzungen am Schädel. Maßgeblich wurden im Schockraum durch die eFast-Sonographie das Vorhandensein von freier intraabdomineller Flüssigkeit bzw. die Parenchymverletzung von Leber, Nieren und Milz beurteilt sowie das Vorhandensein eines Pneumo-/Hämatothorax und Herzbeutelergusses/-tamponade beurteilt. Bei 62,5 % konnten freie Flüssigkeit intraabdominell oder im kleinen Becken sowie zusätzlich bei 29,1 % Veränderungen der Milz oder der Leber festgestellt werden. Allerdings kam es bei 8,3 % im Rahmen der Verletzung zu einer Organkontusion bzw. zu einem Milz- oder Lebereinriss.

### 3.1.7 Schockraummanagement

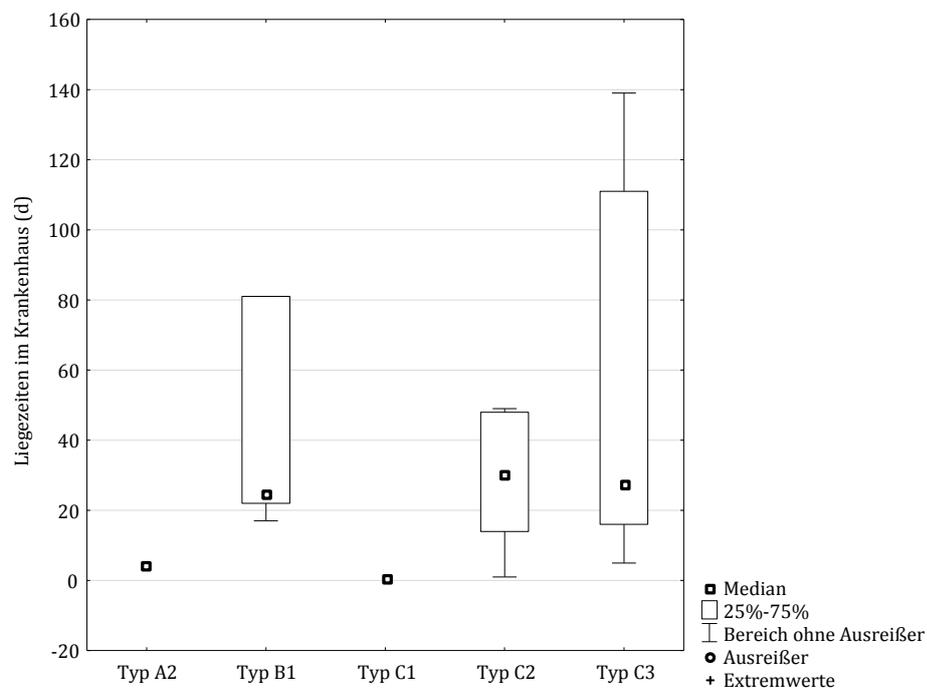
Alle Schwerstverletzten wurden auch primär im Schockraum versorgt, da maßgeblich eine Störung der Vitalparameter vorlag und Katecholamine verabreicht werden mussten oder der Schweregrad ihrer Verletzung einem Polytrauma entsprach.

In der groben neurologischen Statusuntersuchung waren bei 67 % die Pupillen isocor und lichtreagibel. 25 % der Patienten zeigten eine träge Lichtreagibilität und 8 % keine Lichtreaktion mit erweiterten Pupillen. 54 % wurden bereits in der präklinischen Phase intubiert, 46 % waren wach und kontaktierbar und wurden zum Teil manuell beatmet oder waren selbstständig spontan atmend

### 3.2 Stationärer Aufenthalt

Die Dauer der Behandlung umfasste die Zeit zwischen der Aufnahme in den Schockraum, über die Intensivstation und Intermediate Care bis hin zur Normalstation und letztendlicher Entlassung in das häusliche Umfeld oder in die Rehabilitation.

Insgesamt betrug die mittlere Liegedauer 41,6 Tage pro Patient. 20,8 % der Patienten mussten aufgrund von unterschiedlichen Reoperationen oder aufgetretenen Komplikationen abermals in die Universitätsmedizin Göttingen aufgenommen werden.



**Abbildung 32:** Box-Plot über die Aufenthaltsdauer im stationären Bereich der Klinik in Tagen (d) sortiert nach Schweregrad der Beckenfraktur (AO), eingeschlossen Intensivstation, Intermediate Care und Normalstation. Grafische Darstellung (in d) sortiert nach Schweregrad der Beckenfraktur (AO): **A2** = Median 4; **B1** = Median 25, 25% 22, 75 % 81; **C1** = Median: 0; **C2** = Median 30, 25 % 14, 75 % 48; **C3** = Median 27, 25 % 16, 75 % 111

Von den vier verstorbenen Patienten betrug die mittlere Aufenthaltsdauer auf Intensivstation 5,75 Tage. Mit einer Letalität von 16,6 % ist diese deutlich höher als die mittlere Krankenhausletalität

der polytraumatisierten Patienten der letzten zehn Jahre (11,3 %). Bei der Betrachtung der Krankenhausverweildauer zeigte sich, dass Patienten mit einem Beckenverletzungstyp C einer längeren Behandlung bedürfen – die mittlere Aufenthaltsdauer betrug 50,43 Tage.

### 3.3 Komplikationen

Zu den Komplikationen zählen u. a. peripelvine Blutungen mit nachfolgendem Hämatom und Frakturen sowie Infektionen im peristationären Aufenthalt.

#### 3.3.1 Begleitverletzungen

Von 21 Patienten wurde initial im präklinischen Setting der Glasgow-Coma-Scale (GCS) am Unfallort ermittelt. 45,8 % wiesen einen GCS von 15 auf, 8,3 % initial 14, und 25 %  $\leq 5$ .

Sekundär folgten Begleitverletzungen des Kopfes und des zentralen Nervensystems. Patienten mit niedrigen GCS erlitten schwere Kopfverletzungen und Hirnblutungen.

**Tabelle 3:** Verteilung SHT nach Häufigkeit und prozentualer Verteilung (n = 24), Häufigkeit: m = 18 w = 6.

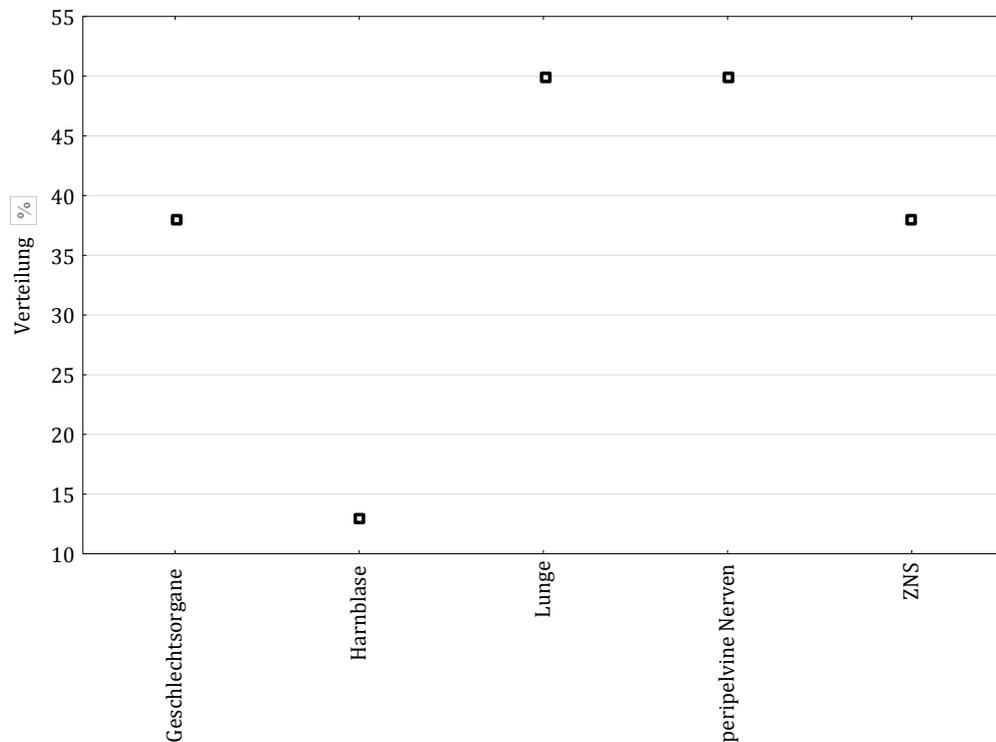
Kategorie	Häufigkeitstabelle: Schädel-Hirn-Trauma (SHT)			
	Häufigkeit	Kumulative Häufigkeit	Prozent	Kumulative Prozent
kein	14	14	<b>58,33333</b>	<b>58,33333</b>
Grad I	4	18	16,66667	74,99997
Grad II	1	19	4,16667	79,16664
Grad III	5	24	20,83333	100,0000

41,7 % der Patienten erlitten ein Schädelhirntrauma und 20,8 % eine Subarachnoidalblutung, zu einem geringeren Anteil auch Subdural- und Intrazerebralblutungen. Kontusionsblutungen waren vor allem temporal und bifrontal lokalisiert. Nur 8 % der Patienten erlitten eine diffuse axonale Parenchymschädigung. 16,6 % erhielten therapeutisch aufgrund von steigenden Hirndruckzeichen im Schockraum eine Codman-Sonde.

In 33 % der Fälle entwickelten die Verletzten im Verlauf als nachfolgende Komplikation eine akute Rhabdomyolyse mit nachfolgendem Nierenversagen. 33 % wiesen eine begleitende Darmperforation auf. 29 % entwickelten eine Wundinfektion aufgrund von postoperativer Minderperfusion.

26 % der akuten Gefäßverletzungen konnten durch notfallmäßige radiologisch-interventionelle Verfahren behandelt werden.

Pulmonale und zerebrale Begleitverletzungen traten zu 50 %, urogenitale zu 12,5 %, genitale zu 37,5 % und peripelvine Nervenläsionen zu 37,5 % auf.



**Abbildung 33:** graphische Darstellung über die Verteilung der Begleitverletzungen (n = 24), Häufigkeit: m = 18 w = 6. Geschlechtsorgane: 38 %, Harnblase: 13 %, Lunge: 50 %, peripelvine Nerven: 50 %, ZNS: 38 %

Einer der größten Anteile bilden neben der Zerebralbeteiligung die pulmonalen Verletzungen, herbeigeführt durch die stumpfe Kinetik im Verkehrsunfall oder einem Sturzgeschehen aus größere Höhe (> 5 m).

Bei den Betroffenen resultierten Komplikationen wie eine respiratorische Teil- oder Globalinsuffizienz der Lunge in Folge eines Pneumothoraxes und zum geringen Anteil eines Hämatothoraxes im Verlauf. Bei 20,8 % konnten Pleuraergüsse diagnostiziert werden. Nosokomiale Infektionen der Lunge im Sinne einer Pneumonie konnten bei 20,8 % der Patienten nachgewiesen werden. Zum Erregerspektrum zählten u.a. Staphylokokkus aureus, Hämophilus influenzae und Serratia. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Schweregrad der Beckenfraktur, insbesondere den instabilen Typ C-Beckenfrakturen und der Lungen- und Hirnverletzung konnte nicht festgestellt werden. Periphere Nervenläsionen waren peripelvin durch einen Abriss des Plexus lumbales

und sacrales mit akuter Denervierung u. a. des M. tibialis anterior, des M. gastrocnemius, klinisch auffällig durch eine Fußheberparese, lokalisiert.

Besonders häufig (16,6 %) wurde eine isolierte Peroneusparese erhoben, erklärbar durch die Begleitverletzungen an den unteren Extremitäten beispielsweise durch das Kompartementsyndrom.

Die intestinalen Verletzungen wurden durch Ischämie im Rahmen der Minderperfusion der Mesenterialgefäße sowie bei traumatischen und stumpfen Unfallmechanismen mit resultierender Darmkontusion oder -perforation, beispielsweise durch Einrisse im Mesokolonsigmoideum oder Verletzung des Rektums sowie Dünndarmverletzungen im Rahmen eines Mesenterialabrisses oder eines Serosaeinrisses am Übergang zwischen Sigma und Rektum hervorgerufen.

Die Verletzungen der harnableitenden Strukturen waren gekennzeichnet durch Harnblasenkontusion und -ruptur, die Kontusion vor allem bedingt durch Ausbreitung von Hämatomen nach aktiven Blutungsgeschehen und deren Verdrängungsmöglichkeiten im kleinen Becken und nur in zwei Fällen bedingt durch einen Abriss der Urethra. Hier gaben die Patienten Miktionsstörungen an.

Verletzungen der Geschlechtsorgane konnten nur bei einem Drittel der Patienten mit u.a. Skrotumverletzung im Verlauf stationär festgestellt werden.

### **3.3.2 Peripelvine Gefäßverletzungen**

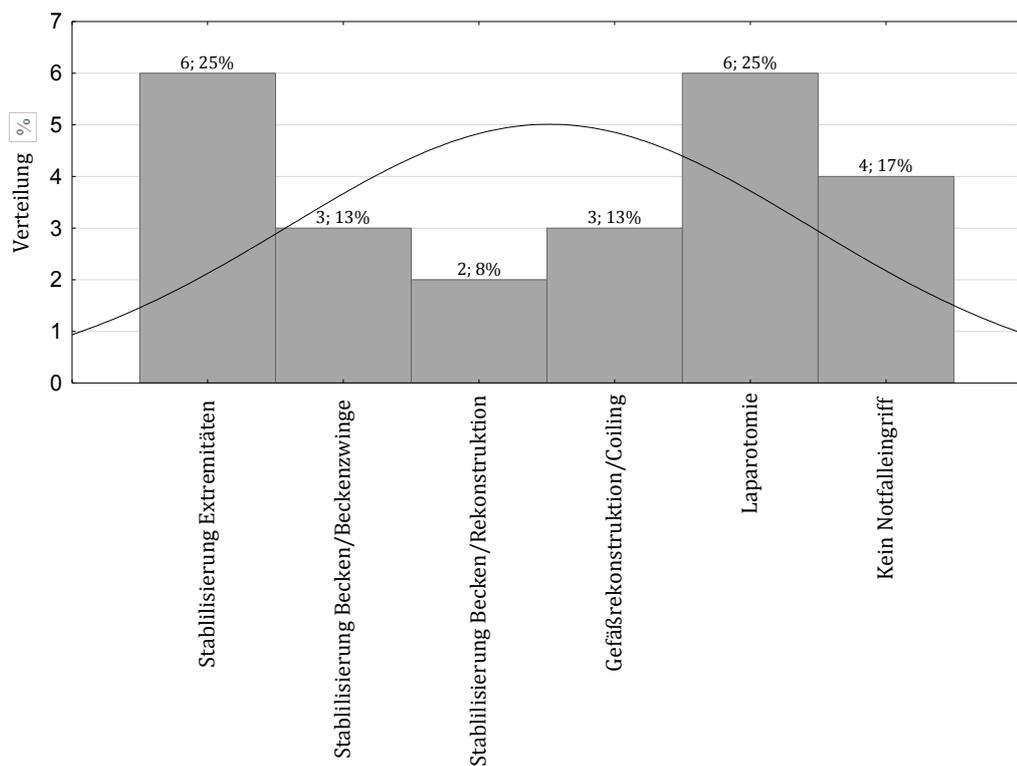
Verletzungen zeigten sich in den Mesenterialgefäßen z.B. durch einen Einriss des Mesenteriums mit Einblutung in das Rektum oder das Sigma. Akute Blutungen waren retroperitoneal und auf Höhe der Lumbalarterien sowie Iliakalgefäße mit Einblutungen in den M. Psoas lokalisiert. Zu erkennen waren Hämatome im Bereich der Glutealmuskulatur bedingt durch rupturierte Glutealgefäße. Des Weiteren gehören Blutungen der renalen Arterien, der Rami pubici und der Aae. pudendae zum Spektrum. In seltenen Fällen kam es zur Dissektion der Aorta mit para-/retroaortaler Blutung und zur venösen Verletzung der V. cava inferior.

Retroperitoneale Hämatome waren bei 100 % der Patienten aufgrund des Verletzungsmusters zu detektieren. Unter anderem lagen die Hämatome nach aktiven Blutungen dorsal der Bauchwandmuskulatur, sowie retroperitoneal entlang des M. psoas major sowie im Bereich der autochtonen Rücken- und Glutealmuskulatur. Durch die gehäufte Einblutung in den M. psoas erfolgte eine Verdrängung des Muskels nach medial oder eine Teilanhebung dessen u.a. durch die Division der Aa. iliacae. Auch retroperitoneale organbezogene Blutungen im infra-/pararenalen oder retropankreatischen Bereich konnten nach stumpfen Kontusionsverletzungen diagnostiziert werden.

Hierzu zählen auch traumatische Nierenarterien-Dissektionen und Lumbalarterienabrisse vor allem auf der Höhe LWK 3/4. Es konnte speziell durch die Computertomographie konsekutive hämorrhagische freie Flüssigkeit auch intraperitoneal parakolisch beidseits sowie mesenterial bis in das kleine Becken aufgezeigt werden.

Des Weiteren waren Blutungen pararektal, präsakral und prävesikal detektierbar. Eine ausgedehnte Hämatombildung erkannte man im kleinen Becken durch Verletzungen des Beckenplexus, zum Teil bei den männlichen Patienten mit Ausbreitung nach skrotal oder in die Prostataloge.

Dabei sind Peniswurzelabriss, Riss- und Quetschwunden und Hydrozele testis sowie Kompression der Harnblase durch entstandenes Hämatom als Komplikation zu nennen. Im Bereich des Venenplexus waren hier vor allem die Vv. pudendae häufig betroffen. Außerdem waren die Hämatome inguinal, lokal pelvin und parasymphysär nach Verletzungen der Femoralgefäße in Form von Dissektionen oder aktiven Blutungen bei Rupturen, z. B. durch den Abriss der V. femoralis communis lokalisiert - hier kam es nicht selten zur Thrombosierung der Nebenäste.



**Abbildung 34:** Graphische Darstellung über die initialen Notfall-Operationen (n = 24), Häufigkeit: m = 18 w = 6. Die Signifikanzanalyse wurde mittels Kolmogorov-Smirnov-Test zur Überprüfung der Abweichung von der Normalverteilung überprüft:  $p > 0.10$ . Stdabw. m = 2,06, Stdabw. w = 1,47, max. neg. Diff. = -0,33, max. pos. Diff. = 0,11.

In der primären Notfallversorgung mussten nach Ankunft im Schockraum 20 Patienten direkt operativ versorgt werden. 25 % davon aufgrund ihrer Begleitverletzung, die sich gravierender als die eigentliche Beckenverletzung darstellte.

Ein Viertel der Patienten wurde notfallmäßig laparotomiert. Traumabedingt wurden bei dieser Kohorte Kompartimente zerrissen und das Blut floss u.a. retroperitoneal ab, so dass eine Eigentamponade nicht mehr möglich war. 3 % der Patienten mit peripelvinen Blutungen wiesen einen initialen Base Excess von  $\leq 6$  mmol/l und einen Hb  $\leq 8$  g/dl. Bei einem Base Excess unter 16 mmol/l hat sich gezeigt, dass die Gerinnungsfähigkeit erheblich gesenkt war. Dementsprechend erhielten die Patienten Kolloide, Kristalloide und Blutprodukte.

58 % der Patienten wiesen bereits, trotz präklinischer Gabe von Katecholaminen bei Aufnahme einen Schockzustand auf und erhielten bedingt durch die Blutungsanämie bereits im Schock-OP im Mittel 20 Erythrozytenkonzentrate. 75 % der Fälle wiesen eine Gerinnungsstörung auf. Im mittleren Durchschnitt erhielten die Patienten 13 Fresh-Frozen-Plasma-Produkte und drei Thrombozytenkonzentrate. Die Gerinnungsstörungen waren vor allem durch Verbrauchs- bzw. Verlustkoagulopathien im Rahmen einer Schocksituation und hämorrhagischer Diathese definiert.

### 3.4 Operative Therapie

Von den 24 Patienten wurden insgesamt 15 (62,5 %) an ihrer Beckenverletzung operiert. Drei von den vier verstorbenen Patienten waren bereits vor operativer Versorgung ihren Verletzungen erlegen. Es wurde in 13 % der Fälle ein Fixateur externe und bei 12,5 % der Patienten eine Beckenzwinge angebracht, 21 % wurden initial tamponiert.

In 54 % wurde die Fraktur mittels Rekonstruktionsplatte und dorsaler Verschraubung in Rückenlage wiederhergestellt. Die transiliosakrale Verschraubung entspricht dem häufigsten Versorgungsverfahren zur Stabilisierung des hinteren Beckenrings in diesem Kollektiv.

Zwei (8,3 %) von 24 Patienten erhielten zusätzlich eine Kompressionsplatte zur Stabilisierung der Symphyse. Bei nur zwei (8,3 %) von 24 Patienten kam es zu einem Materialversagen des eingebrachten Osteosynthesematerials. Bei 13 Polytraumatisierten musste zusätzlich eine Acetabulumfraktur osteosynthetisch versorgt werden.

Zwei (8,3 %) der Patienten mussten wegen Materialversagens erneut operiert werden. Ein Patient auf Grundlage einer mechanischen Komplikation an der Symphyse nach Plattendislokation und Schraubenlockerung, verursacht durch eine zusätzliche aufgetretene Schambeinastfraktur, der andere aufgrund einer Infektion des eingebrachten Osteosynthesematerials.

**Tabelle 4:** Verteilung der Verstorbenen bezüglich verschiedener Kriterien, (n = 4), Häufigkeit: m = 2 w = 2

Patient	ISS	Alter	Todestag	Ursache	Tag der Becken-OP
1	50	23	1	MOV	keine
2	34	37	5	MOV	Tag 1
3	57	26	1	MOV	keine
4	57	31	17	MOV	keine

### 3.5 Mortalität

Die Mortalität dieser Kohorte mit peripelvinen Blutungen kann man in verschiedene Gruppen unterteilen. Ein Teil, der direkt am Unfallort verstirbt, insbesondere mit SHT und niedrigem GCS. Die zweite Gruppe, die innerhalb von Minuten nach dem Unfall und die dritte Gruppe, die aufgrund von Komplikationen und Begleitverletzungen nach Tagen bzw. Wochen im Krankenhaus verstirbt. Vier Patienten wurden mit Volumenmangelschock und daraus resultierender metabolischer Acidose eingeliefert und erhielten Massentransfusionen in Form Erythrozyten- und Thrombozytenkonzentraten und Fresh-Frozen-Plasma-Produkten sowie zusätzlich Katecholamine und Kristalloide. Zusätzlich zeigten die vier Patienten ein schweres Schädelhirntrauma mit Kontusionsblutungen oder schweren diffusen axonalen Schäden. Hier waren die Schockindexparameter wie Base Excess, Hämoglobin und systolischer Blutdruck im kritischen Bereich. Auch die Sauerstoffsättigung, pCO<sup>2</sup>, pO<sup>2</sup>, pH und Gerinnungsparameter lagen außerhalb der Normwerte und sprachen für eine Minderdurchblutung der Kapillaren. Drei der vier Patienten erlitten im Rahmen des Unfallmechanismus ein schweres Thoraxtrauma mit Lungenkontusion und globaler respiratorischer Insuffizienz.

**Tabelle 5:** Laborwerte der Verstorbenen (n = 4), Häufigkeit: m = 2 w = 2. Referenzwerte: Hb: 13,5 – 17,5 g/dl, pH: 7,35 – 7,45, pO<sup>2</sup> art.: 65 – 105 mmHG, pCO<sup>2</sup> art.: 36 – 42 mmHG, BE: - 2 bis + 3 mmol/l

Patient	Hb g/dl	pH	pO <sup>2</sup> (mmHG)	pCO <sup>2</sup> (mmHG)	BE (mmol/l)
1	3,5	7,09	22	73	-8,3
2	4,9	7,22	34	278	-13,8
3	4,9	6,96	27	80	-13,9
4	5,9	7,14	377	44	-14

### 3.6 Der Göttinger Becken-Score

Zur Beurteilung der Verletzungsschwere einer Beckenfraktur mit hämodynamischer Instabilität war es Ziel dieser Studie einen prognostischen, präklinischen Score zur graduellen Definition der Verletzungsschwere zu entwickeln, der idealerweise frühzeitig auf eine Gefäßverletzung hindeutet, um noch in der präklinischen Versorgungsphase daraus stabilisierende Konsequenzen ziehen und die geeignete Zielklinik identifizieren zu können. Zielsetzung sollte die Diagnosestellung und die Prognoseabschätzung, aber auch die Beurteilung der nachfolgenden Therapie sowie eine einfache Anwendung des Scores sein, ohne technische Diagnostiktools verwenden zu müssen.

Dazu zählt u.a. die Entscheidung den Patienten, insbesondere bei unkontrollierbaren peripelvinen Blutungen, in ein Schwerpunktkrankenhaus oder in ein Haus der Maximalversorgung zu verlegen und entsprechende Untersuchungen und Behandlungs- bzw. Stabilisierungsmaßnahmen direkt am Unfallort einzuleiten, um das Zeitfenster zu verringern und das Outcome des Patienten zu verbessern.

#### 3.6.1 Punktescore und Datenanalyse (Kohorte mit peripelviner Blutung)

Nach der Analyse des Gesamtdatensatzes wurden Kriterien identifiziert, die maßgeblich eine Beckenverletzung charakterisieren. Dazu wurden die präklinischen Daten analysiert und sowohl statistisch als auch klinisch diejenigen identifiziert, die mit einer vorliegenden peripelvinen Blutungen assoziiert sind.

Man unterscheidet Konstanten, die aus der Anamnese erhoben werden können von solchen, die aus diagnostischen Ersthelfermaßnahmen, wie u. a. die Kontrolle der Vitalparameter, Prellmarken oder die Beckenstabilität, entstammen. Da es sich um einen präklinischen Score handelt, wurden apparative Diagnostikmaßnahmen ausgeschlossen.

Zunächst sollte klinisch festgestellt werden, ob es sich um eine stabile oder instabile Fraktur handelt. Neben der Inspektion ist vor allem die Palpation des Beckens notwendig, um eine pathologische Beckenbewegung zu verifizieren.

Anhand von Prellmarken und Hämatomen schätzt man die Gewalteinwirkung in Form von lateraler, anteroposteriorer oder vertikaler Kompression oder eines komplexen Herganges ab. Vor allem skrotale oder labiale Hämatome sind wegweisend für eine vordere Beckenringfraktur mit Verletzungen des Urogenitaltraktes. Auch die Unfallkinetik sollte bei der Einordnung des Verletzungsgrades eine Rolle spielen und bepunktet werden.

Druck- und Scherkräfte verursachen Weichteilverletzungen von Haut und Muskulatur, die ebenfalls eine Einschätzung über den Schweregrad bzw. den Unfallmechanismus der Beckenverletzung geben können. Geschlossene Verletzungen, die dem Grad II/III entsprechen sowie alle

offenen Weichteilverletzungen im Bereich des Beckens erhalten einen Punkt. Fragmente können auch durch eine digital-rektale bzw. -vaginale Untersuchung ertastet werden und sprechen für eine Durchspießung von Knochenfragmenten. Ebenso sollte auf frische Blutungen im Bereich des Rektums, der Vagina und der Urethra geachtet werden, da diese für eine Blutung im kleinen Becken sprechen.

Um eine Blutung diagnostizieren zu können, sollten präklinisch auch die Vitalparameter des Patienten in die Beurteilung einbezogen werden. Dies ist vor allem nach Komplexverletzungen des Beckens notwendig, um die Kreislagsituation vor der Einlieferung in das Krankenhaus einzuschätzen.

Anhand der oben veranschaulichten deskriptiven Analyse konnten die Parameter Untersuchungsbefund, Kinetik und Weichteildefekt zur Beckenverletzung sowie Kreislauf entscheidende Kriterien für die vitale Bedrohung des Patienten in den Score aufgenommen werden. Zusätzlich spielen nervale Läsionen im Bereich des Beckenplexus sowie das Alter eine entscheidende Rolle zur Risikoabschätzung und Auftretenswahrscheinlichkeit einer Beckenfraktur mit peripelviner Blutung.

**Tabelle 6:** Einteilung der Blutungsgruppen sortiert nach gewichteter Gesamtpunktzahl des GBS

Blutungsgruppe 1	keine Blutung	≤ 2 Punkte nach GBS
Blutungsgruppe 2	Blutung möglich	3 – 4 Punkte nach GBS
Blutungsgruppe 3	Blutung wahrscheinlich	5 – 6 Punkte nach GBS
Blutungsgruppe 4	Blutung liegt vor	7 – 8 Punkte nach GBS

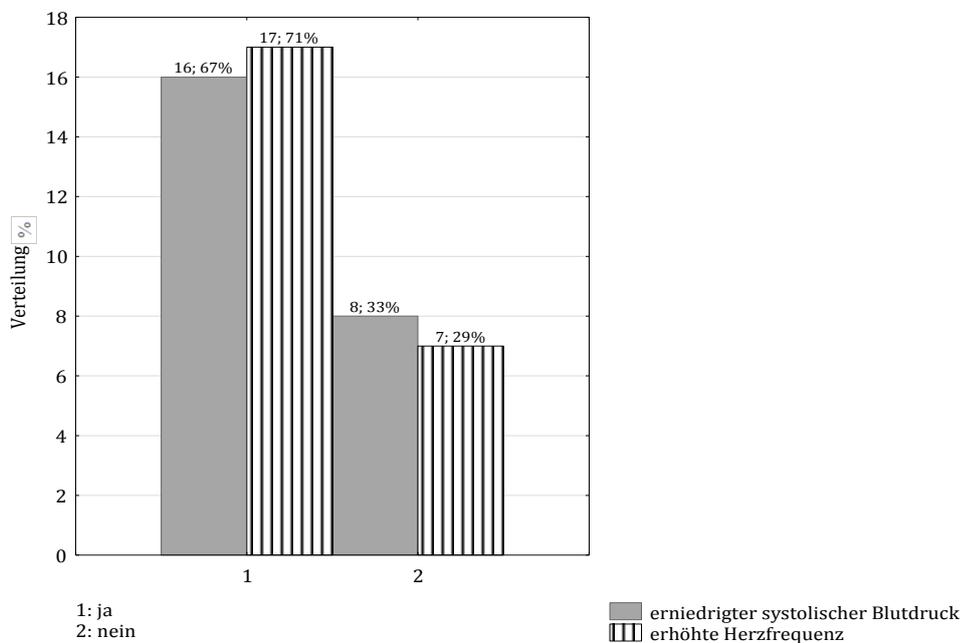
**Tabelle 7:** Präklinischer Score zur Prognose- und Risikoabschätzung peripelviner Blutungen.

**Pkt.**

Untersuchungsbefund	keine Schmerzen im Becken	<b>0</b>
	Kompressions- oder Stauchungsschmerz am Becken (bei bewussten Patienten Instabilität des Beckens) und/oder genitaler, rektaler Blutabgang.	<b>1</b>
Kinetik	Low Energy < 30 km/h	<b>0</b>
	High Energy, Geschwindigkeitsveränderung von delta > 30 km/h, Sturz > 3m	<b>1</b>
Weichteildefekte am Becken	Grad 0/I geschlossen	<b>0</b>
	Grad II/III geschlossen, offen I – IV	<b>1</b>
Katecholamingabe	nein	<b>0</b>
	ja	<b>1</b>

Hämodynamik	Stabilisierung unter laufender Therapie	0
	Verschlechterung unter laufender Therapie	1
kardiopulmonale Reanimation	nein	0
	ja	1
Neurologie	keine Ausfälle	0
	peripher neurologische Auffälligkeiten: bspw. Reithosenanästhesie, Pudendusläsion	1
Alter	51 – 79 Jahre	0
	≥ 80 Jahre	1
	≤ 50 Jahre	1

### 3.6.2 Die Vitalparameter



**Abbildung 35 :** Graphische Darstellung über den systolischen Blutdruck und die Herzfrequenz im GBS im präklinischen Setting am Unfallort. Verteilung (n = 24) Kohorte mit peripelviner Blutung 2008 – 2015

67 % zeigten einen erniedrigten systolischen Blutdruck sowie 71 % eine erhöhte Herzfrequenz mit 115 bis 150 Schlägen pro Minute. Der niedrigste Blutdruck eines Patienten lag bei 60/40 mmHG bei Erstkontakt wobei hier nur der systolische Blutdruck im Göttinger Becken-Score betrachtet wurde. 58,3 % erhielten aufgrund der instabilen Kreislauflage Katecholamine im präklinischen Setting.

### 3.6.3 Die Kinetik

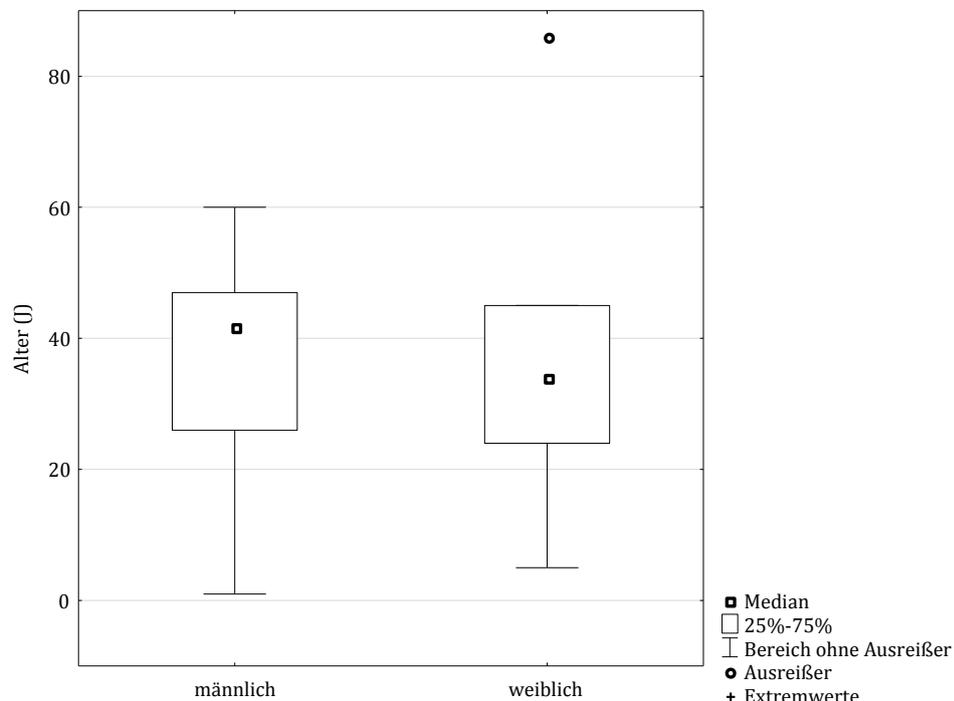
71 % Patienten erlitten ein High-Energy-Trauma und wurden im Göttinger Becken-Score positiv bepunktet.

### 3.6.4 Die Weichteildefekte

58,3 % erlitten lokale Weichteilschäden, so dass der umgebende Haut- und Weichteilmantel eine erhebliche Schädigung im Patientenkollektiv erfuhr. Der Décollementverletzung kam eine besondere Rolle im Zusammenhang mit Überrolltraumen zu, da diese die sog. Morel-Lavallé-Läsion verursacht.

### 3.6.5 Die Zusatzkriterien

#### 3.6.5.1 Alter



**Abbildung 36:** Box-Plot über das Alter (Jahre) zum Unfallzeitpunkt sortiert nach Geschlecht: **m** = Median 41,5, 25 %: 26, 75 %: 47; **w** = Median 34, 25 %: 24, 75 %: 45, Ausreißer **w** = 86.

Es zeigte sich ein Altersgipfel zwischen 41 und 50 Jahren (42 %), ein zweiter im jungen Erwachsenenalter zwischen dem 20. und 30. Lebensjahr (25 %). Das mittlere Alter betrug 37 Jahre. Der jüngste Patient erlitt eine Beckenfraktur im Alter von einem Jahr und der älteste im Alter von 86 Jahren. In beiden Peaks dominiert auch hier das männliche Patientengut – 50 % im Alter zwischen 41 und 50 Jahren und 27,8 % im Alter zwischen 20 und 30 Jahren.

### 3.6.5.2 Neurologie

Nervenläsionen im Bereich des kleinen Beckens wie bspw. im Bereich des Plexus lumbosacralis und die Beeinträchtigung der peripheren Nerven zur Versorgung der unteren Extremitäten geben Hinweise auf eine knöcherne Beckenverletzung wie Reithosenanästhesie oder Pudendusläsion.

### 3.6.6 Patientenbeispiele anhand des Göttinger Becken-Scores

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Untersuchungsbefund</li> <li>• Kinetik</li> <li>• Weichteildefekt</li> </ul>	1/1 0/1 0/1
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Katecholamine</li> <li>• Verschlechterung der Hämodynamik unter laufender Therapie</li> <li>• CPR</li> </ul>	0/1 0/1 0/1
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neurologie</li> <li>• Alter</li> </ul>	0/1 0/1

**Summe: 1/8, Ergebnis: Eine peripelvine Blutung liegt nicht vor.**

**Abbildung 37:** Beispielpatient ohne peripelvine Blutung nach Anwendung des GBS.

Mit diesem Score, einen von acht möglichen zu erreichenden Punkten, kann eine peripelvine Blutung bei diesem Patienten ausgeschlossen werden. Folgend liegt durch das erfüllte Kriterium „Untersuchungsbefund“ präklinisch mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Beckenverletzung/-fraktur vor, die allerdings stabil und ohne lebensbedrohliche Blutung triagiert werden kann.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Untersuchungsbefund</li> <li>• Kinetik</li> <li>• Weichteildefekt</li> </ul>	<p>1/1 1/1 1/1</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Katecholamine</li> <li>• Verschlechterung der Hämodynamik unter laufender Therapie</li> <li>• CPR</li> </ul>	<p>1/1 1/1 1/1</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neurologie</li> <li>• Alter</li> </ul>	<p>1/1 0/1</p>

**Summe: 7/8, Ergebnis: Eine peripelvine Blutung liegt vor.**

**Abbildung 38:** Beispielpatient mit peripelvine Blutung nach Anwendung des GBS.

Bei diesem Patienten liegt sowohl eine instabile Beckenfraktur mit Weichteildefekt und neurologischen Ausfallerscheinungen als auch das Risiko für eine vital bedrohte Blutung, die bereits präklinisch mittels Katecholamingabe versucht wurde zu stabilisieren, vor. Der Notarzt bzw. Rettungsdienst kann hier bereits die nötigen Stabilisierungsmaßnahmen und die Anlage eines Beckengurtes sowie die Wahl eines geeigneten Traumazentrums veranlassen.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Untersuchungsbefund</li> <li>• Kinetik</li> <li>• Weichteildefekt</li> </ul>	<p>1/1 1/1 0/1</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Katecholamine</li> <li>• Verschlechterung der Hämodynamik unter laufender Therapie</li> <li>• CPR</li> </ul>	<p>1/1 1/1 1/1</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neurologie</li> <li>• Alter</li> </ul>	<p>0/1 0/1</p>

**Summe: 5/8, Ergebnis: Eine peripelvine Blutung liegt wahrscheinlich vor.**

**Abbildung 39:** Beispielpatient mit wahrscheinlicher peripelviner Blutung nach Anwendung des GBS.

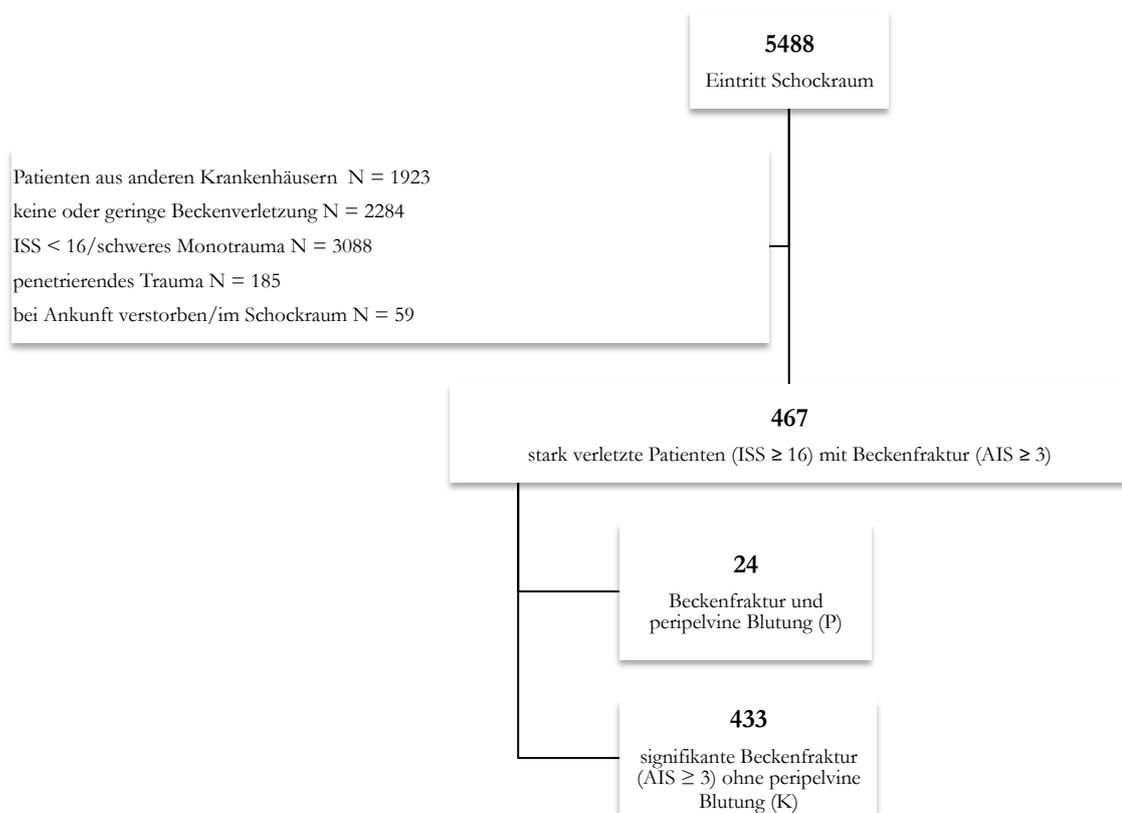
Aufgrund des Untersuchungsbefundes konnte klinisch eine Beckeninstabilität am Unfallort festgestellt werden. Zusätzlich erlitt der Patient einen Autounfall von über 60 km/h, so dass man von einem Hochrasanztrauma ausgehen kann. Der Patient musste am Unfallort durch den Notarzt reanimiert werden und seine Hämodynamik verschlechterte sich trotz Katecholamin- und

Volumengabe. Dementsprechend kann hier bereits von einem aktiven Blutungsgeschehen mit Beckenfraktur ausgegangen und der Patient an ein Notfallkrankenhaus überwiesen werden.

### 3.6.7 Datenauswertung der Kohorte mit peripelviner Blutung mit der Kontrollgruppe

5488 Patienten wurden von Januar 2008 bis Dezember 2015 über den Schockraum der Universitätsmedizin Göttingen aufgenommen. Um den Score validieren zu können, wurden die insgesamt 467 Patienten mit einer Beckenfraktur für den o. g. Zeitraum (ISS  $\geq$  16, AIS  $\geq$  3) identifiziert.

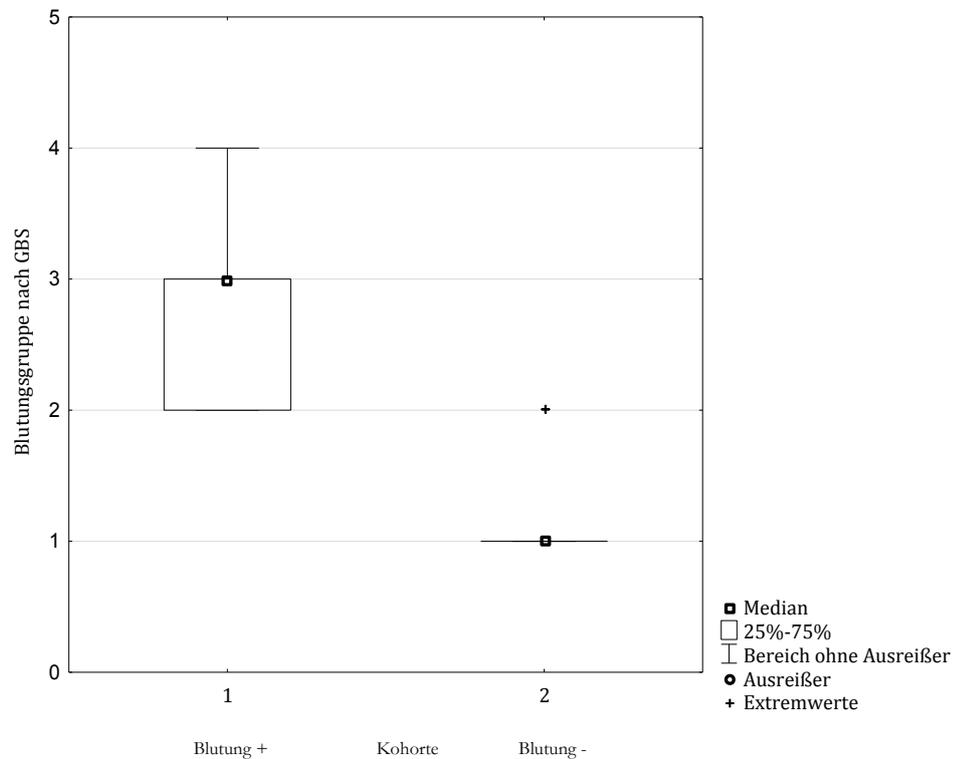
Die Kohorte wurde unterteilt in Patienten mit peripelviner Blutung (n = 24) und der Kontrollgruppe ohne pelvine Blutung (n = 443). Die Mortalität der Blutungsgruppe war signifikant höher (16,6 %) im Vergleich zur Kontrollgruppe (10,3 %) (p < 0.03).



**Abbildung 40:** Flussdiagramm über die eingeschlossenen Patienten der Studie. P = Beckenfraktur mit peripelviner Blutung; K = Kontrollgruppe mit Beckenfraktur ohne peripelvine Blutung; AIS =Abbreviated Injury Scale; ISS = Injury Severity Score

Stichprobenartig wurden in dieser Studie 23 Patienten aus dem Jahr 2015 im Göttinger Becken-Score bepunktet. In der folgenden Abbildung wurde die Gruppe 1 (Kohorte mit periplepviner Blutung, 2008 – 2015) mit dem Vergleichskollektiv, der Gruppe 2 (Beckenfraktur ohne peripelvine

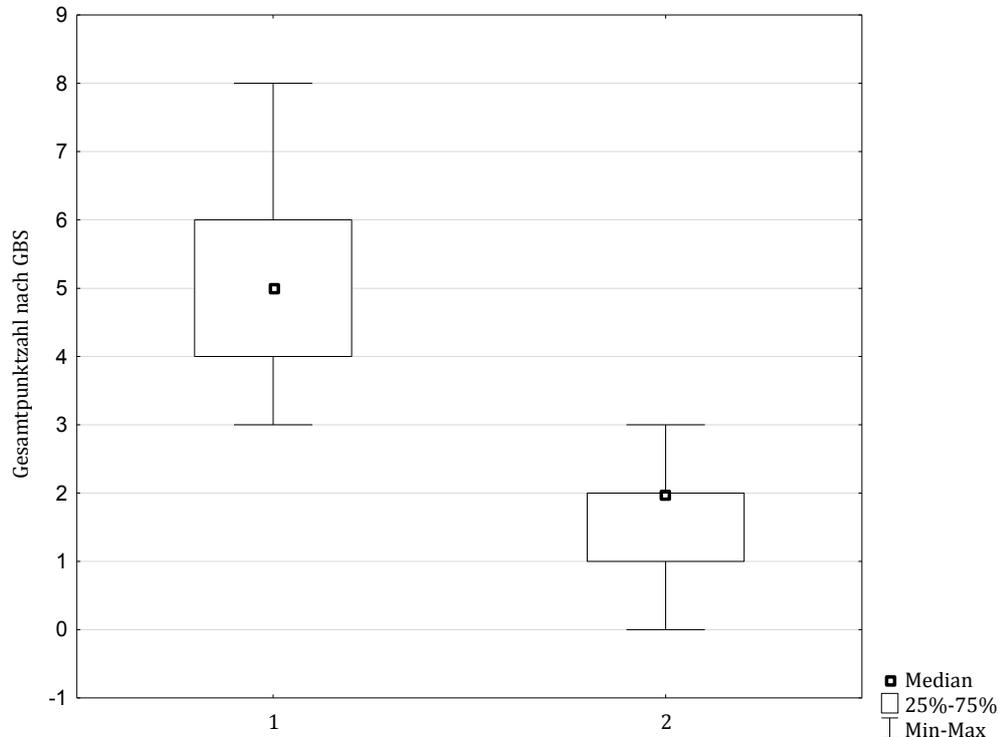
Blutung, 2015) dargestellt. Die Blutungsgruppen eins bis vier spiegeln den Punktescore in Form eines Box-Plots wider.



**Abbildung 41:** Box-Plot über die Blutungswahrscheinlichkeit peripelvin sortiert nach Kohorten. **Kohorte 1 mit peripelviner Blutung: 2008-2015** (n = 24), Häufigkeit: m = 18, w = 6. Median 3, 25 %: 2, 75 %: 3. **Kohorte 2 ohne peripelvine Blutung: 2015** (n = 23), Häufigkeit: m = 13 w = 10. Median 1, 25 %: 1, 75 %: 1. GBS: Göttinger Becken-Score.

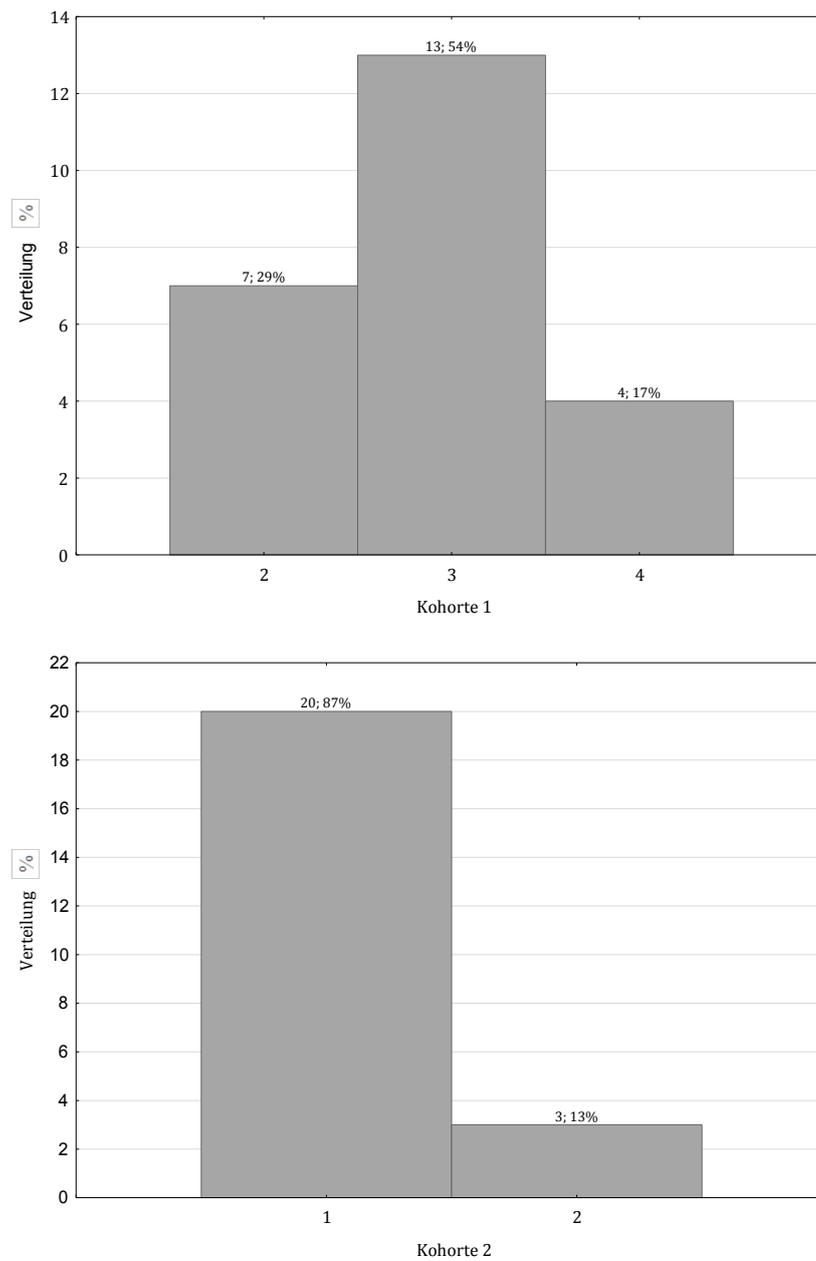
Der Median der Kohorte 1 liegt bei drei nahe der oberen Grenze der Box, dementsprechend sind die Daten möglicherweise nicht normalverteilt. Da wir hier eine Rangordnung an geraden Zahlen (24 Patienten) dieser Kohorte vorzuliegen haben, liegt der Median bei der Blutungsgruppe bei drei. Der kleinste Wert liegt hier im Göttinger Becken-Score bei 3 Punkten. 25 % der Patienten, entsprechend dem ersten unteren Quartil, der bei zwei liegt (29,2 %), dem Median des Medians. In dem linken Box-Blot entspricht dem oberen Quartil zufällig auch dem Median, so dass man davon ausgehen kann, dass sich mindestens 50 % der Patienten eine mögliche Blutung vorweisen. (54,16 %). Der obere Whisker besitzt hier sein Maximum bei Blutungsgruppe vier, durch den Score konnten 16,6% mit einer definitiven Blutung detektiert werden konnten. 70,76 % haben zusammenfassend eine wahrscheinliche bis definitive Blutung. Da es sich hierbei um schwerstverletzte Patienten handelt, können „keine Blutungen“ ausgeschlossen werden, hier dargestellt als Blutungsgruppe 1. In dem Interquartilsabstand, dem 50 % der Patienten der Gruppe 1 entspricht.

In der Kohorte 2 liegen 87 % der Patienten in der Blutungsgruppe 1 und 13 % in der Zweiten. Das Minimum entspricht dem ersten Quartil und gleichzeitig dem Median. Hier liegt eine ungerade Anzahl an Patienten des Vergleichskollektives (23) vor. Dem Punktescore entsprechend findet man keine Patienten mit einer wahrscheinlichen oder definitiven Blutung.



**Abbildung 42:** Box-Plot über die Gesamtpunktzahl im Göttinger Becken-Score sortiert nach Kohorten. **Kohorte 1 mit peripelviner Blutung: 2008-2015** (n = 24), Häufigkeit: m = 18, w = 6. Median 5, 25 %: 4, 75 %: 6 **Kohorte 2 ohne periplevine Blutung: 2015** (n = 23), Häufigkeit: m = 13 w = 10. Median 2, 25 %: 1, 75 %: 2. GBS: Göttinger Becken-Score

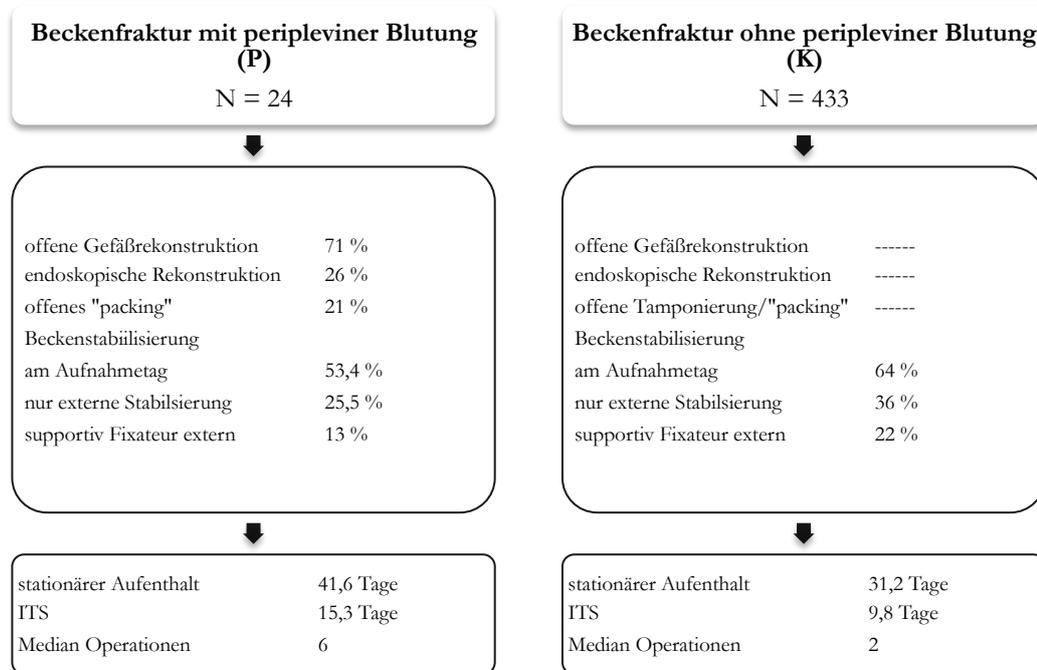
Auch in diesem Boxplot sehen wir eine ähnliche Übersicht über die Lage und Streuung der Daten, sortiert nach dem Göttinger Becken-Score. Der maximale Punktwert der Gruppe 1 liegt bei acht, hingegen bei Gruppe 2 bei drei Punkten. Dies verifiziert die Annahme einer möglichen oder keiner Blutung in der Kontrollgruppe. Bei allen Patienten liegt eine definitive Beckenverletzung vor. Auch die Kriterien aus dem Bereich der Vitalparameter sind im Mittel aussagekräftig und zeigen eine deutliche Kreislaufinstabilität mit Blutungssignifikanz der ersten Gruppe an.



**Abbildung 43:** graphische Darstellung über die Häufigkeit der **Blutungsgruppen 1-4** im Göttinger Becken-Score sortiert nach Kohorten. **Kohorte 1: 2008 – 2015:** ( $n = 24$ ) Die Signifikanzanalyse wurde mittels Kolmogorov-Smirnov-Test zur Überprüfung der Abweichung von der Normalverteilung überprüft:  $n = 24$ , Häufigkeit:  $m = 18$ ,  $w = 6$ . Deskriptive Statistik: Stdabw. = 0,678, **Kohorte 2: 2015** ( $n = 23$ ), Häufigkeit:  $m = 13$   $w = 10$ . Deskriptive Statistik: Stdabw. = 0,34

### 3.6.8 operative Versorgung bei peripelviner Blutung im Vergleich zur Kontrollgruppe

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Unterschied in der operativen Versorgung und des intensivmedizinischen Aufenthaltes in dem überregionalen Traumazentrum der Universitätsmedizin Göttingen der beiden o. g. Kohorten.



**Abbildung 44:** Graphische Darstellung über die operative Versorgung von Beckenfrakturen und deren peripelvinen Gefäße und den Aufenthalt auf der Intensivstation (ITS) der Blutungsgruppe (P) im Vergleich zur Kontrollgruppe (K).

Eine offene chirurgische Versorgung der peripelvinen Blutung wurde in 71 % der Patienten durchgeführt, während endoskopisch nur 26 % der Fälle behandelt wurden. Ein „Packing“ des Beckens mit Bauchtüchern war in 21 % der Fälle zur Blutungskontrolle indiziert, bevor der Patient stabil genug war, um sich einer operativen Gefäßversorgung zu unterziehen. Im Vergleich zur Kontrollgruppe wurde die interne Osteosynthese am Aufnahmetag weniger in der Blutungsgruppe verwendet, supportiv kam es hier insbesondere zum Einsatz eines Fixateurs extern und der Beckenzwinde. Insgesamt ist die Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation für Patienten mit peripelviner Blutung signifikant länger.

## 4 Diskussion

Beckentraumata sind nach Auswertung dieser retrospektiven Studie selten Monoverletzungen, sondern meist mit diversen Begleitverletzungen assoziiert, die eine vitale Bedrohung für den Patienten darstellen können. Beckenverletzungen treten im Vergleich zu Frakturen anderer Körperpartien seltener auf (20-37 pro 100.000 Einwohner und Jahr) (Kälicke et al. 2000). In Konklusion aller hier erhobenen Befunde kann eine adäquate Therapieentscheidung für den Patienten und eine Triagierung in das entsprechende Krankenhaus erfolgen. Bei Beckenverletzungen verursacht durch eine hohe Kinetik, muss dringend an eine Gefäßverletzung gedacht werden. Sie stellt eine der gefährlichsten Verletzungen in der Traumatologie dar. Hohe Energie führt zur Zerreißen von Gefäßen und Organlazerationen (Siegmetz et al. 2000). Häufig muss bei den Begleitverletzungen auch an zerebrale und pulmonale Verletzungen gedacht werden (ca. 50 %). Hierbei zeigt sich häufig ein Hämato- oder Pneumothorax, erklärbar durch die stumpfe Kinetik und den Anprallmechanismus, insbesondere bei Verkehrsunfällen verursacht durch PKW oder Motorrad.

### 4.1 Die Kohorte mit peripelviner Blutung

Das Patientenkollektiv mit peripelvinen Gefäßverletzungen ist ein kleines Kollektiv. Insbesondere Männer (75 %) zeigten das Verletzungsmuster einer vertikal instabilen Becken C-Fraktur im Zeitraum von 2008 – 2015. Auf Grundlage dessen zeigte sich eine häufig primäre Verlegung in ein überregionales Traumazentrum (UMG Göttingen) in Notarztbegleitung. Auffällig ist der stumpfe Verletzungsmechanismus durch Hochrasanztrauma sowie Sprung aus hoher Höhe – hier als Hauptursache des Instabilitätsfaktors zu werten.

### 4.2 Die Präklinik

Wie die retrospektive Studie zeigt, gehen vaskuläre Begleitverletzungen mit einer hohen Mortalitätsrate (16,6 %) einher. Initiale Anämie (33,3 %), gestörte Gerinnung (75 %) sowie nachfolgende Massentransfusionen und Volumensubstitution konnten beobachtet werden, so dass eine frühe Diagnostik, klinische Interventionen und operative Maßnahmen als Vorbereitung in der Klinik unabdingbar sind.

Insbesondere arterielle und venöse Blutungen im Bereich des Beckens können bei rapidem Blutverlust lebensbedrohlich sein, so dass die Entscheidungszeit für die entsprechende Behandlung kurz ist. Eine zeitnahe Gabe von Erythrozyten und Kristalloiden sollte in Erwägung gezogen werden.

58 % der Patienten, die bereits vor Ankunft im Schockraum Katecholamine erhielten, wiesen bereits einen Schockzustand auf. Hämoglobinwert als Marker für den Blutverlust sowie Quickwert und partielle Thromboplastinzeit (PTT) waren signifikant auffällig in der Gruppe mit peripelvinen Blutungen und Frakturen der unteren Extremitäten mit einhergehendem Blutverlust. Trauma induzierte Gerinnungsstörungen sind als Komorbidität zu werten. Eine schnelle Durchführung einer Blutgasanalyse lenkt den Fokus schnell auf eine vaskuläre Verletzung.

In der präklinischen Untersuchung sollten vorrangig Kopf, HWS, Thorax, Abdomen, Becken und Extremitäten untersucht werden. Eine wichtige Rolle spielt insbesondere die Anwendung der eFast-Sonographie im Schockraummanagement bzw. im Rettungsdienst zur Detektierung freier Flüssigkeit. Allerdings ist diese untersucherabhängig. Die Notfallsonographie in der Präklinik ermöglicht eine schnelle zielorientierte Therapie bei akutmedizinisch relevanten Krankheitsbildern (Heller et al. 2006). Retroperitoneale Blutungen sind wesentlich schwieriger zu erkennen und bedürfen einem höheren Zeitaufwand. Insbesondere bei Patienten mit eingeschränkter Bewusstseinslage kann die Sonographie schnell Aufschluss über die Begleitverletzungen geben. Präklinisch sollte es bei anamnestisch stattgehabten stumpfen Thorax- und Abdomentrauma, bei Kontusionen sowie Flanken- und Abdominalschmerz sowie Dyspnoe und Schock angewandt werden (Blank et al. 2014).

Unabdingbar müssen während des Transportes in das Zielkrankenhaus und im Schockraum die Vitalparameter regelmäßig kontrolliert werden, um eine Verbesserung oder Verschlechterung der Kreislaufdynamik zu erkennen (Källicke et al. 2000).

### 4.3 Die Klinik

Bei Aufnahme im Schockraum bzw. in der präklinischen Phase zeigten beide Kollektive weitgehende Unterschiede im systolischen Blutdruck, der Schockindizes, dem Base Excess (BE) und dem Hämoglobinwert, jeweils zum Nachteil der Kohorte mit Hochrasanztrauma und peripelviner Blutung. Präklinisch fiel auf, dass der systolische Blutdruck von komplexen Beckentraumen deutlich niedriger und die Herzfrequenz deutlich höher war und im Vergleich zu den nicht komplexen Beckentraumen auch mehr Patienten einen Kreislaufschock aufwiesen. Auch in der frühen Schockraumphase müssen Vitalparameter stetig reevaluiert werden.

Der Base Excess hier als Indikator ( $< 6$  mmol/l) und der Hb ( $< 8$  g/dl) sind ebenfalls zu betrachten und sprechen für ein Schockgeschehen (Pfeifer und Pape 2016). Auch primär erhöhte Laktatwerte sprechen für ein traumatologisches Ereignis. Azidose, Verbrauchschoagulopathie sowie Hypothermie verschlechtern das Outcome nach schweren Beckentraumata nachweislich. Hier müssen Thrombozyten und Quick-Wert kontrolliert werden (Burkhardt et al. 2015).

Es hat sich gezeigt, dass durch die frühzeitige Gabe von Fresh-Frozen-Plasma im Schockraum der Quickwert stabilisiert werden kann. Bei Verdacht auf eine Beckenfraktur und gleichzeitig bestehender Indikation einer Katecholamintherapie oder persistierender Schockzeichen oder Hämaturie sollte direkt eine Klinik mit interventioneller Radiologie und ausreichend Erythrozytenkapazitäten angefahren werden. Bei persistierender Blutung trotz externer Stabilisierung wurde die Beckentamponade in dieser Kohorte bevorzugt durchgeführt.

Die Analyse zeigte ebenfalls, dass man das Actetabulum ausreichend in der Bildgebung betrachten sollte, da dies mit 54 % mit C3-Beckenverletzungen vergesellschaftet ist. Hier stellt das CT die Diagnose dar. Bei allen Unfallverletzten sollte zwingend eine kontrastmittelgestützte CT-Diagnostik zur Struktur der Becken- und hüftnahen Begleitverletzungen bereits im Schockraum erfolgen, um das anschließende Therapiekonzept zu optimieren. Insbesondere Fehlerquellen durch die eFast-Sonografie bzw. falsch-negative Analysen zeigten anschließend im CT das Vorhandensein von Parenchymverletzungen sowie intrathorakale oder abdominelle freie Flüssigkeit. Das CT konnte in diesem Patientenkollektiv 62,5 % der freien Flüssigkeit im Becken, Abdomen und Thorax detektieren. Insbesondere der Algorithmus zur Anwendung von Kontrastmittel-CT und CT-Angiographie stellen den Goldstandard in der Diagnostik von Blutungsquellen bei Beckentraumata dar, auf konventionelles Röntgen sollte im Schockraum bei dem Schweregrad der Verletzung verzichtet werden (Gilbert et al. 2018).

Bei instabilem Beckenring und hämodynamischer Instabilität sollte frühzeitig von extern stabilisiert werden. Es besteht die Gefahr der Unterversorgung bei falsch-negativem klinischen Testergebnis bezüglich der Beckenstabilität (Wohlrath et al. 2016). Retrospektiv zeigte sich in der Kohorte von 2008 bis 2015 eine zu geringe Anwendung des Beckengurts (25 %) im präklinischen Setting oder im Schockraum. Im Gegensatz zu der operativen Stabilisierung kann dieser schon häufig vor abgeschlossener Bildgebung angewendet werden. Bei persistierender Blutung trotz externer Stabilisierung wurde die Beckentamponade bevorzugt genannt.

Der stationäre Aufenthalt dieser Schwerstverletzten ist mit ca. 42 Tagen bei primären Aufenthalt nach stattgehabten Polytrauma lang. Die Ressourcen für die Überwachung auf Intensivstation oder Intermediate Care müssen vorab gegeben sein. Dies ist vor allem mit den diversen Komplikationen und nachfolgenden Eingriffen und Begleitverletzungen zu erklären. Insbesondere schwere thorakale und zerebrale Organbeteiligung resultieren in einer respiratorischen Begleit- oder Globalinsuffizienz oder Koma und erschweren die Heilungschance.

#### **4.4 Ursachen und Lokalisation von periplewinen Blutungen**

Die begleitenden intra- und periplewinen Gefäßverletzungen können bei Massenblutungen zum Tod führen (Siegmetth et al. 2000; Burkhardt et al. 2015).

In der Kohorte zeigten 100 % eine retroperitoneale Blutung durch Zerreißung der Kompartimente im Becken, in der eine Eigentamponade nicht mehr möglich war. Neben dem spongiösem Knochen als Hauptblutungsquelle aufgrund des Polytraumas sind der venöse präsakrale und prävesikale Plexus, als auch Blutungsquellen aus dem Stromgebiet der A. iliaca interna sowie der A. iliolumbalis und A. glutea superior und insbesondere der Mesenterialgefäße anzusprechen (Kälcke et al. 2000).

## **4.5 Der Göttinger Becken-Score**

### **4.5.1 Einsatzmöglichkeiten**

Der Göttinger Becken-Score ist ein neues Klassifikations- bzw. Punktesummensystem, welches die Wahrscheinlichkeit einer peripelvinen Blutung bei vorliegender Beckenfraktur ermitteln kann, um das nachfolgende Procedere positiv zu beeinflussen. Er soll neben den bekannten Traumascores aus der Unfallchirurgie und Orthopädie wie beispielsweise ISS oder AIS ein etabliertes Instrument im präklinischen Setting, insbesondere im Rettungsdienst zur Risikoabschätzung von lebensbedrohlichen Beckenfrakturen mit hämodynamischer Instabilität, darstellen.

Die Wahl der Scorevariablen wurde hauptsächlich durch die Analyse der Kohorte mit peripelviner Blutung ausgewählt. Die Herausforderung ist es zu erkennen, dass es sich einerseits um Schwerverletzte mit einer Beckenfraktur handelt und ob eine Blutung im Bereich des Beckens vorliegt und nicht durch andere Organsysteme wie Thorax oder Abdomen hervorgerufen wird.

### **4.5.2 Die Kriterien des Göttinger Becken-Scores**

Zur Detektierung einer generellen Verdachtsdiagnose einer Beckenfraktur inkludiert der Score u. a. den Untersuchungsbefund im Bereich des Beckens wie Kompressions- und Stauchungsschmerz. Im präklinischen Setting sollte auf klinische Zeichen wie Beckeninstabilität, Prellmarken und Hämatome, offene Wunden, Beinlängendifferenz, Blutungen aus dem Urogenitaltrakt unter Zuhilfenahme des Göttinger Becken-Scores geachtet werden. Weiterhin muss in der Unfallkinetik ein „Low-Energy-“ von einem „High-Energy-Trauma“ unterschieden werden. Der hypovolämische Schock kann nach akuten Blutungen ein abrupt auftretendes Zeichen sein, mit signifikanter Hypotension ( $< 100$  mmHG) und kompensatorisch eintretender Tachykardie ( $> 100$ /min). Bei starken Blutverlusten sollte demnach die präklinische Gabe von Katecholaminen bepunktet werden, da diese eine Normotension und eine verringerte Acidämie bewirken kann. Außerdem sollte man die Dynamik bzw. Stabilisierung unter laufender Therapie nachfolgend beurteilen oder evaluieren, ob der Patient reanimationspflichtig wurde.

Die Kriterien Verletzungsmechanismus, Weichteilschaden, Alter und Neurologie stellen weitere unabdingbare Faktoren neben den oben genannten Faktoren zur Gradeinteilung der Beckenfraktur in der Anwendung des Scoring-Systems dar. Insgesamt 71 % der Verunfallten unterlagen einem Hochrasanztrauma und resultierend erlitten 58,3 % einen Weichteilschaden höherer Klassifikation nach Tscherne und Oestern (1987) im Beckenbereich. Zum Vergleich konnte bei dem Patientenkollektiv aus dem Jahr 2015 nur bei 26,1 % ein Hochrasanztrauma und keine signifikanten Weichteilschäden verifiziert werden. Weichteilverletzungen im Bereich des Beckens sind prognostisch entscheidend, da sie eine Infektion und eine potentielle Sepsisquelle hervorrufen können und die Heilung nach der Beckenstabilisierung behindern können (Kälicke et al. 2000). Somit ist diese Variable entscheidend für die Kalibrierung des Göttinger Becken-Scores.

Auffallend in der Analyse sind die Altersgipfel zwischen 20 und 30 sowie zwischen 40 und 50 Jahren. In der erstgenannten Gruppe treten Frakturen nur bei sehr hoher Energieübertragung auf. Durch die hohe Energie sind hier Gefäß- und Nervenverletzungen neben Beeinträchtigungen intraabdomineller Strukturen sehr häufig. In der zweiten Gruppe (> 80 Jahren) reichen u.a. bereits einfache Stürze oder osteoporotisch veränderter Knochen. Aufgrund der derzeitigen demographischen Entwicklung des Alters steigt die Zahl von Beckenfrakturen bei älteren Menschen zügig an. Beckenfrakturen des älteren Menschen sind durch Niedrigenergietraumata gekennzeichnet. Die Behandlung ist im Vergleich zur Beckenverletzung bei Hochrasanztraumata eher weniger invasiv und eine operative Therapie wird vor allem bei Beteiligung des hinteren Beckenrings vorgenommen (Rommens et al. 2018).

Zu Bedenken ist allerdings auch der fragile Gefäßstatus von älteren Patienten, so dass im Göttinger Becken-Score Patienten  $\geq 80$  Jahren einen Punkt erhalten, da hier die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer peripelvine Blutung steigen könnte.

Mit Verletzungen von peripelvinen Nerven ist bei instabilen Beckenfrakturen, Sakrumfrakturen und Acetabulumfrakturen in bis zu 38 % der Fälle zu rechnen. Die Gefahr einer neurologischen Schädigung steigt mit der Schwere der Beckenfraktur, insbesondere bei Instabilität des hinteren Beckenrings (Kälicke et al. 2000). Bedeutung erlangen diese Begleitverletzungen, die am Häufigsten die Segmente L4 – S2 betreffen, vorrangig bei hoher Gewalteinwirkung (Kälicke et al. 2000). Empfehlenswert ist eine komplette neurologische Untersuchung in der Betrachtung des GBS bei jedem Patienten mit einer Beckenverletzung (Siegmetz et al. 2000).

#### **4.5.3 Die Effizienz des Göttinger Becken-Scores**

Für die Praktikabilität dieser Skala ist der möglichst geringe Aufwand entscheidend, der mit der Erhebung der Daten am Unfallort verbunden ist. Anhand eines konzipierten Prüfbogens können alle Parameter eingetragen und kontrolliert werden. Durch die Punktevergabe kann die Qualität der präklinischen Versorgung sichergestellt und gemessen werden.

Dementsprechend werden zur Messung objektive Variablen herangezogen, die eine Aussage über die Wahrscheinlichkeit über das Vorhandensein einer Blutung wiedergeben. Dementsprechend wurden überschaubare Kriterien, die einen Vorhersagewert haben, ausgewählt.

Ziel ist die unverzügliche Festlegung von Behandlungsprioritäten, Wahl der geeigneten Zielklinik und ggf. Mobilisation von Ressourcen zur Blutungskontrolle in der jeweiligen Zielklinik mit entsprechendem Vorlauf, indem bereits präklinisch die wichtigsten Maßnahmen eingeleitet und in die Zielklinik kommuniziert werden. Dazu zählt bei Blutungen die unverzügliche Versorgung von instabilen Beckenfrakturen mittels Beckengurt am Unfallort.

Nur ein Viertel der Patienten erhielt laut Aktenlage in der ersten Kohorte mit 66,6 % klinisch instabilen Beckenfrakturen einen Beckengurt. Die häufigere Anwendung der Stabilisierungsmaßnahmen unter Anwendung des GBS würde die schnelle und effiziente Patientenversorgung verbessern. Durch Anlage des Beckengurtes kann durch die Reduktion des intrapelvinen Volumens die hämodynamische Instabilität des Patienten positiv beeinflusst werden.

Um eine Blutung im Notfall diagnostizieren zu können, sollte neben der Sonographie des Beckens auch unbedingt das Abdomen und der Thorax präklinisch beurteilt werden, da Gefäßverletzungen nicht nur peripelvin, sondern auch abdominal, thorakal und retroperitoneal auftreten können (Källicke et al. 2000; Ambacher T. et al. 2000). Allerdings ist die Sonographie in der Präklinik noch nicht flächendeckend verfügbar und das notärztliche Personal auf die Verwendung eines Sonographie-Geräts zur sicheren Detektion und Ausschluss von Pathologien in Thorax und Abdomen noch nicht flächendeckend geschult (Gilbert et al. 2018). Die Durchführung ist untersucherabhängig. Präklinisch ist der GBS, was die Lokalisation der Blutung betrifft, jedoch nicht eindeutig und wirkt hier als limitierender Faktor.

Wichtig ist die präklinische Auswahl des Krankenhauses. Die Universitätsmedizin Göttingen gehört zu den zertifizierten überregionalen Traumazentren der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU)<sup>®</sup>. Jährlich werden rund 950 potentiell Schwerverletzte über den Schockraum aufgenommen und durch das interdisziplinäre und interprofessionelle Team versorgt. Zu den Fachbereichen des Basis-Teams und des bedarfsgerecht erweiterten Schockraum-Teams zählen neben der Unfallchirurgie die Anästhesiologie, die Radiologie, die Neuroradiologie, die Neurochirurgie, die Allgemein Chirurgie und die Thorax-Herz-Gefäß-Chirurgie. Unabhängig von den Daten aus der vorliegenden Studie, wird an der UMG ein aus Präklinik kommuniziertes ressourcen- und bedarfsangepasstes Alarmierungssystem umgesetzt (Spring et al., 2018). Ziel ist es dabei dem in der Präklinik erhobenen Status des Patienten anhand des GBS das Schockraum-Team mit adäquater Kompetenz aufzustellen, um eine Untertriage zu vermeiden und gleichzeitig eine potentiell ressourcenverschwendende Übertriage möglichst gering zu halten.

Die Kommunikation aus der Praklinik in das Zielkrankenhaus erlaubt eine schnelle Entscheidung ber die potentielle Notwendigkeit zur operativen oder interventionell-radiologischen Gefversorgung.

Die notfallmigen radiologisch-interventionellen Manahmen stellen eine suffiziente Therapieoption bei Verletzungen kleinerer Gefe dar. Bei Verletzung grerer Gefe sollte ein offenchirurgisches Vorgehen gewhlt und eine zustzliche unverzugliche Laparotomie durchgefhrt werden, da u. a. die Darmperforation eine hufige Begleitverletzung ist (Siegmetz et al. 2000; Ambacher T. et al. 2000). Es empfiehlt sich die Kompetenz und die Ressource fur derartige Eingriffe vor der Anfahrt der Zielklinik abzufragen und den Bedarf entsprechend zu kommunizieren.

#### **4.5.4 Die Limitation des Gttinger Becken-Scores**

Limitierend zeigt sich die Anwendung des Gttinger Becken-Scores bei Strungen der Bewusstseinslage beispielsweise bei einem GCS < 8. Eine neurologische Evaluation ist in diesem Fall nicht mglich und gibt demnach kein objektives Ergebnis. Trotz dessen sollte der GBS in diesem Zusammenhang angewandt werden, denn ein neurologisches Defizit kann ein Indikator fur eine Beckenverletzung sein, ist aber nicht zwingend beweisend, da umliegende Strukturen auch durch andere Organsysteme wie beispielsweise bei Wirbelsulenverletzungen beeintrchtigt sein knnen. Ebenso muss das Alter des Patienten als Zusatzkriterium kritisch betrachtet werden. Bei Patienten > 80 Jahren knnen auch osteoporotisch induzierte Beckenfrakturen zu periplevischen Blutungen fhren, unabhngig vom Unfallmechanismus und -kinetik.

Weiterhin stellt sich die e-Fast-Sonographie im prklinischen Setting als noch nicht gengend zur Verfgung stehend dar und birgt bei nicht ausreichend geschultem Personal Anwendungsfehler. Die Blutungsdetektierung im kleinen Becken stellt dementsprechend prklinisch eine weitere Herausforderung dar.

## 5 Zusammenfassung

Die Einführung dieses objektiven Messinstruments könnte dazu beitragen, die Notfallmedizin in Deutschland weiter zu strukturieren und die Triagierung der Patienten zu optimieren. Kritisch Kranke könnten zielsicher identifiziert werden. In einer prospektiven multizentrischen Analyse sollte der Göttinger Becken-Score nachfolgend seine klinische Relevanz im präklinischen Setting beweisen. Die frühzeitige Beurteilung des Schweregrades ist trotz Entwicklung verschiedener Score-Systeme schwierig. Ziel sollte es sein, den prädiktiven Wert des Göttinger Becken-Scores für die Entwicklung posttraumatischer Komplikationen zu vergleichen. Von den untersuchten Parametern scheint der GBS mit seiner Kombination aus anatomischen und physiologischen Parametern geeignet für die Vorhersage des Outcomes beim polytraumatisierten Patienten mit begleitendem Beckentrauma.

Weiterhin sollte der Score auf traumaassoziierte Blutungen den Begleitverletzungen entsprechend ausgeweitet werden, so dass man einen generellen Trauma-Blutungs-Score bei schweren Polytraumata entwickeln könnte. Es sollte ein Score sein, der das Blutungsrisiko des Patienten einschätzt. Ein Ziel ist es u. a. Patienten zu identifizieren, die dringend stabilisiert werden können („High-Risk-Patienten“). So können schwere Blutungskomplikationen besser vorhergesagt und therapiert werden.

## 6 Literaturverzeichnis

- Alwaal A, Zaid UB, Blaschko SD, Harris R, Gaither TW, Mc Aninch JW, Breyer BN (2015): The incidence, causes, mechanism, risk factors, classification, and diagnosis of pelvic fracture urethral injury. *Arab journal of urology* 13, 1-5
- Ambacher T, Esenwein SA, Muhr G (2000): Diagnostisches und therapeutisches Management von Begleitverletzungen beim komplexen Beckentrauma. *Trauma und Berufskrankheiten* 2, 28-38
- Blank W, Mathis G, Osterwalder J: *Kursbuch Notfallsonografie (E-Fast)*. Thieme, Stuttgart 2014, 20
- Burkhardt M, Culemann P, Seekamp A, Pohlemann T (2005): Operative Versorgungsstrategien beim Polytrauma mit Beckenfraktur. *Der Unfallchirurg* 108, 812-820
- Burkhardt M, Nienaber U, Krause J, Pizanis A, Moersdorf P, Culemann U, Aghayev E, Paffrath T, Pohlemann T (2015): Das komplexe Beckentrauma. *Der Unfallchirurg* 118, 957-962
- Culemann U, Oestern HJ, Pohlemann T (2013): Aktuelle Behandlung der Beckenringfraktur. *Der Chirurg* 84, 809-826
- Culemann U, Günther KP, Pohlemann T, Rüter A, Thielemann F: Beckenring und Hüftgelenk. In: Scharf HP, Rüter A (Hrsg.): *Orthopädie und Unfallchirurgie*. 2. Auflage; Elsevier GmbH Urban Fischer, München 2011, 767
- Döhler JR: *Lexikon Orthopädische Chirurgie: Standardterminologie für Orthopäden und Unfallchirurgen*. Springer 2013, 241-250
- Emser E, Derst P, Schulz M, Siekmann H, Delank KS (2015): Einfluss der externen Beckenstabilisierung bei hämodynamisch instabilen Beckenfrakturen. *Der Unfallchirurg* 4, 1-8
- Euler E, Heining SM, Kotsianos D, Müllrt-Gerbl M (2000): Anatomie und Biomechanik des Beckens. *Trauma und Berufskrankheiten* 2, 2-10.
- Felix S, Hanschen M, Biberthaler P (2016): Blutungskontrolle bei Beckenverletzungen. *Trauma und Berufskrankheiten* 2, 173-180
- Galanski M (2006): Verletzungen des Beckenrings und der Beckenorgane. *Der Chirurg* 77, 800-808
- Gänsslen A, Pohlemann T, Krettek C (2005): Der einfache supraacetabuläre Fixateur externe für die Behandlung von Beckenfrakturen. *Operative Orthopädie und Traumatologie* 17, 296-312

- Gilbert F, Schneemann C, Scholz CJ, Kickuth R, Meffert RH, Wildenauer R, Lorenz U, Kellersmann R, Busch A (2018): Clinical implications of fracture-associated vascular damage in extremity and pelvic trauma. *BMC Musculoskeletal Disorders* 19, 404
- Heller G, Dörge V (2006): Stellungnahme zur „präklinischen Sonographie“. *Notfall + Rettungsmedizin* 8, 1-5
- Hierholzer G: Anatomische und biomechanische Grundlagen des Beckens, Definition stabiler und instabiler Verletzungen. In: Böhm HJ, Böhmer G, Hierholzer G (Hrsg.): *Gutachtenkolloquium 10*. Springer, Berlin, Heidelberg 1995, 117-125
- Janku DH: Vergleichende biomechanische Untersuchungen zur internen Stabilisierung der Symphyse am Beckenring: Bringen winkelstabile Osteosynthesen Vorteile? *Med. Diss. Hamburg* 2011
- Kälicke T, Ambacher T, Muhr G, Arens S (2000): Diagnostik und Klassifikation von Beckenfrakturen. *Trauma und Berufskrankheiten* 2, 11-18
- Lang P, Schnegelberger A, Riesner HJ, Stuby F, Friemert B, Palm HG (2016): Einfluss von operativ versorgten Beckenring- und Azetabulumfrakturen auf posturale Kontrolle. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* 1, 1-99
- Lippert H: *Lehrbuch Anatomie*. 8. Auflage; Elsevier GmbH Urban & Fischer, München 2006, 28-156
- Möller T: Ala- und Obturatoraufnahme. In: Möller T (Hrsg.): *Röntgennormalbefunde*. 4. Auflage; Thieme, Stuttgart 2003, 64-65
- Müller E (1995): Classification of pelvis and acetabulum fracture. *Orthoforum* (8) 2, 61
- Neugebauer R, Nothofer W (2003): Sakrumfrakturen. *OP-Journal* 19, 140-146
- Niethard FU: Becken. In: Niethard FU, Pfeil J (Hrsg.): *Orthopädie Duale Reihe*. 5. Auflage; Thieme, Stuttgart 2005, 456-457
- Oberkircher L, Ruchholtz S, Rommens PM, Hofmann A, Bücking B, Krüger A (2018): Osteoporose-assoziierte Fragilitätsfrakturen des Beckenrings. *Deutscher Ärzteverlag OUP* 7, 156-158
- Pfeifer R, Pape HC (2016): Diagnostik Und Versorgungsstrategien beim polytraumatisierten Patienten. *Der Chirurg* 87, 165-175
- Pohlemann T, Gänsslen A, Tscherne H (2000): Die Sakrumfraktur. *Der Unfallchirurg* 103, 769-786

- Putz R, Müller-Gerbl M (1992): Anatomische Besonderheiten des Beckenrings. *Der Unfallchirurg* 4, 164-167
- Putz R, Pabst R: *Sobotta-Anatomie des Menschen*. 22. Auflage; Urban und Fischer, München 2007, 5-106
- Rieger H, Winde G, Brug E, Senninger N (1998): Die offene Beckenfraktur – eine Indikation zur Laparotomie. *Der Chirurg* 69, 278-283
- Rommens PM, Drees P, Thomczyk S, Betz U, Wagner D, Hofmann A (2018): The fragility fracture of the pelvis is a fracture indicating osteoporosis. *Osteologie* 27, 144-153
- Rüedi T, Buckley ER, Moran G: *AO Prinzipien des Frakturenmanagements*. 2. Auflage; Thieme Stuttgart 2008, 696
- Rüter T, Trentz O, Wagner M: *Unfallchirurgie*. 2. Auflage; Elsevier GmbH, München 2004, 50-115
- Schiebler TH: Becken und untere Extremität. In: Schiebeler TH (Hrsg.): *Anatomie, Histologie, Entwicklungsgeschichte, makroskopische und mikroskopische Anatomie, Topographie*. 9. Auflage; Springer, Heidelberg 2005, 304-374
- Schmitt KU, Niederer PF, Cronin DS, Muser MH, Walz F: *Trauma-Biomechanik: Einführung in die Biomechanik von Verletzungen*. 2. Auflage; Springer, Heidelberg 2014, 171-195
- Schwemmler K, Schultheis KH (1985): Abdominelle Begleitverletzungen der Beckenfrakturen. *Der Unfallchirurg* 11, 7-11
- Seekamp A, Burkhardt M, Pohlemann T (2004): Schockraummanagement bei Verletzungen des Beckens. *Der Unfallchirurg* 107, 903-910
- Siegmeth A, Müllner T, Kukla C, Vécsei V (2000): Begleitverletzungen beim schweren Becken trauma. *Der Unfallchirurg* 103, 572-581
- Siekman H, Böhme, Josten C: Beckenring und Acetabulum. In: Siekman H, Irlenbusch L (Hrsg.): *Operationsberichte Unfallchirurgie*, Springer, Berlin 2012, 46-62
- Siewert JR, Pichlmayr R: *Das traumatisierte Abdomen*. Springer International Publishing, Cham 2013, 3-93
- Spring C, Roessler M, Kurlemann T, Dresing K, Stürmer KM, Lehmann W, Sehmisch S (2018): Optimized resource mobilization and quality of treatment of severely injured patients through a structured trauma room alarm system. *Der Unfallchirurg* 121, 893-900
- Texhammar R, Colton C: *AO-Instrumente und -Implantate: Technisches Handbuch*. 2. Auflage; Springer, Berlin 2013, 217-225

- Tiemann AH, Schmidt C, Gonschorek O, Josten C (2004): Notfallbehandlung Instabiler Beckenfrakturen – Stellenwert der Beckenzwinge. Zentralblatt für Chirurgie 129, 245-251
- Tschauner C, Wirth CJ, Zichner L: Orthopädie und Orthopädische Chirurgie: Becken, Hüfte. Thieme, Stuttgart 2008, 460-473
- Tscherne H, Pohlemann T, Gänsslen A (2000): Klassifikation, Einstufung, Dringlichkeit und Indikation bei Beckenverletzungen. Zentralblatt Chirurgie 125, 717-724
- Wohlrath B, Trentzsch H, Hoffmann R, Kremer M, Schmidt-Horlohè K, Schweigkofler U (2016): Präklinische und klinische Versorgung der instabilen Beckenverletzung. Der Unfallchirurg 119, 755

## Danksagung

Ohne die Unterstützung zahlreicher Personen und Institutionen hätte diese Doktorarbeit in dieser Form nicht realisiert werden können. Für die vielfältige Hilfe möchte ich mich an dieser Stelle sehr herzlich bedanken.

Mein besonderer Dank gilt zunächst meinem Doktorvater Prof. Dr. med. Schmisch, der meine Arbeit stets mit viel Verständnis unterstützt hat.

Für die inhaltliche Ausrichtung und die thematische Eingrenzung sei meinem Betreuer Dr. med. Spring sehr gedankt, der meine Arbeit über einen längeren Zeitraum begleitet hat. Durch sein großes Engagement, fachliche Hinweise und professionelle Anleitung hat er wesentlich zum erfolgreichen Abschluss der Arbeit beigetragen.

## Lebenslauf

Mein Name ist Stefanie Möller (geb. Weber), ich bin verheiratet und wurde am 05. April 1988 in Saalfeld an der Saale als jüngstes Kind von Vater Andree Weber und Mutter Manuela Weber geboren.

Meinen schulischen Werdegang begann ich im September 1993 an der Grundschule IV in Saalfeld an der Saale, auf der ich mit sehr guten Leistungen überzeugte, so dass ich ab August 1998 das Heinrich-Böll-Gymnasium in Saalfeld an der Saale besuchte. Durch das Angebot einer sportlichen Profilierung konnte ich dort besonders meinen Neigungen und Talenten nachgehen.

Meine weiteren schulischen Schwerpunkte legte ich auf Sprachen und Naturwissenschaften. Meine Allgemeine Hochschulreife erlangte ich dann im Juni 2006 mit einer Durchschnittsnote von 1,8.

Nach meinem Abitur absolvierte ich ein Freiwilliges Soziales Jahr im Altenpflegeheim der Diakonie Bad Blankenburg. Nachfolgend erlernte ich ab Februar 2007 den Beruf der Medizinisches Fachangestellten und arbeitete nach der zweijährigen Berufsausbildung bis März 2011 in einer medizinischen Gemeinschaftspraxis für Allgemeinmedizin, Dermatologie, Orthopädie und Rehabilitative und Physikalische Medizin in der Praxisgemeinschaft Mälzer in Berlin.

Im April 2011 begann ich mit dem Medizinstudium an der Georg-August-Universität in Göttingen. Nach dem Bestehen des ersten Abschnitts der ärztlichen Prüfung im März 2013 famulierte ich in den Semesterferien insbesondere in den chirurgischen Fachdisziplinen wie beispielweise in der Plastischen Chirurgie der Universität Aachen und in der Unfallchirurgie der Universität Göttingen. Von September 2014 bis April 2015 absolvierte ich Auslandssemester im Rahmen des ERASMUS-Programmes in Valencia (Spanien). Durch den mehrmonatigen Aufenthalt konnte ich nicht nur mein Spanisch perfektionieren, sondern auch die Kultur und deren Menschen sowie ein anderes medizinisches System kennen lernen.

Neben dem Studium setzte ich mich vor allem für die studentischen Interessen meiner Kommilitonen für eine bessere universitäre Lehre und bessere Studienbedingungen ein. Von Juli 2014 bis Oktober 2016 war ich als Vorsitzende der Medizinstudierenden im Marburger Bund auf Bundesebene tätig. Hier verfolgte ich insbesondere faire Bedingungen und freie Wahlmöglichkeiten für das Praktische Jahr. Zusätzlich organisierte ich im Rahmen des Deutschen Kongresses für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU) den „Tag der Studierenden“ in Berlin.

Hier ermöglichten wir im Rahmen des „Jungen Forums O und U“ den Studierenden jährlich einen Einblick in die Fachdisziplin für Orthopädie und Unfallchirurgie zu erlangen. Neben dem großen Kongress in Berlin richtete ich jährlich den „Tag der Vorklinik“ auf der Frühjahrstagung

in Baden-Baden (VSOU) für Studierende der jüngeren Semester aus. Durch diese ehrenamtliche Aktivität publizierte ich einige Artikel zum Thema Nachwuchsförderung in der Orthopädie und Unfallchirurgie. Dementsprechend entschied ich mich 2015 meine Dissertation in der Abteilung für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie zum Thema „Gefahren von Gefäßverletzungen bei schwerem Beckentrauma“ unter der Leitung von Prof. Dr. med. Sehmisch zu beginnen.

Mein schriftliches Examen legte ich November 2016 mit der Note „gut“ ab. Mein chirurgisches Tertial verbrachte ich an einer Privatklinik in der Abteilung für Allgemeinchirurgie in Buenos Aires/Argentinien. Innere Medizin absolvierte ich neben der Geriatrie im Weender Krankenhaus in Göttingen für acht Wochen in Galle/Sri Lanka und abschließend durfte ich vier Monate in Zürich/Schweiz an der Schulthess-Privatklinik für Orthopädie verbringen. Nach meiner Rückkehr erfolgte die mündliche Prüfung meines Staatsexamens, welches ich erfolgreich mit der Gesamtnote „gut“ im November 2017 ablegte.

Von April 2018 bis September 2019 war ich als Assistenzärztin am Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité Berlin (Virchow Campus) angestellt. Seit dem 15.09.2019 arbeite ich als Assistenzärztin im vierten Weiterbildungsjahr an der BG Unfallklinik in Frankfurt am Main.