

# **Der Einfluss des Unfallmechanismus auf kniegelenksnahe Frakturen**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Hohen Medizinischen Fakultät

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

Bonn

**Aysenur Küster, geb. Demir**

Aus Brühl

2025

Angefertigt mit der Genehmigung  
der Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: PD Dr. Sebastian Scheidt

2. Gutachter: Prof. Dr. Daniel Wittschieber

Tag der Mündlichen Prüfung: 17.01.2025

Aus der Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie

## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>6</b>
1.1 Die Anatomie des Kniegelenks	8
1.2 Kniegelenksnahe Frakturen	12
1.2.1 Epidemiologie	12
1.2.2 Ätiologie	13
1.2.3 Klassifikationssysteme	14
1.3 Fragestellungen	18
<b>2. Material und Methoden</b>	<b>19</b>
2.1 Patientenkollektiv	19
2.2 Datenerfassung	20
2.3 Unfalltypen	23
2.4 Inter- und Intraraterreliabilität	23
2.5 Statistische Auswertung	25
<b>3. Ergebnisse</b>	<b>26</b>
3.1 Distale Femurfrakturen	26
3.1.1 Demographie	26
3.1.2 Unfallgruppen	26
3.1.3 AO-Trauma-Klassifikation	27
3.2 Patellafrakturen	28
3.2.1 Unfallgruppen	28
3.2.2 AO-Trauma-Klassifikation	30
3.3 Tibiakopffrakturen	32

3.3.1	Demographie	32
3.3.2	Körpergröße und -gewicht	32
3.3.3	BMI	33
3.3.4	Unfallgruppen	33
3.3.5	Kniebinnenschaden	34
3.3.6	Zehn-Segmente-Klassifikation des Tibiakopfes	35
3.3.7	Inter- und Intraraterreliabilität der 10SK und AO-Trauma-Klassifikation	37
3.3.8	Glucocorticoideinnahme	42
3.3.9	AO-Klassifikation	43
<b>4.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>45</b>
4.1	Diskussion der Ergebnisse	45
4.2	Diskussion der Methodik	58
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>60</b>
<b>6.</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>61</b>
<b>7.</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>63</b>
<b>8.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>64</b>

## Abkürzungsverzeichnis

10SK	10-Segmente-Klassifikation
AC	antero-central
ALC	antero-latero-central
ALL	antero-latero-lateral
AMC	antero-medio-central
AMM	antero-medio-medial
AO	Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese
M.	Musculus
MW	Mittelwert
OR	Odds Ratio
PC	postero-central
PLC	postero-latero-central
PLL	postero-latero-lateral
PMC	postero-medio-central
PMM	postero-medio-medial
StAbw.	Standardabweichung
Tab.	Tabelle
UT	Unfalltyp
VU	Verkehrsunfall

## 1. Einleitung

Knöcherner Verletzungen des Tibiakopfes gehören zu den operativ anspruchsvollsten Frakturen und stellen aufgrund der komplexen Anatomie und begrenzter Zugangsoptionen eine Behandlungsherausforderung in der Orthopädie und Unfallchirurgie dar.

Rupp et al. zufolge lag im Jahr 2019 die Inzidenz stationär in Deutschland behandelter Tibiakopffrakturen bei 28,7 pro 100 000 Einwohner. Absolut gesehen waren es 19 455 Fälle und 2,8 % aller stationär behandelten Frakturen. Im Verlauf der letzten Dekade zeigte sich ein Zuwachs der registrierten Behandlungen um 9 %. Im Vergleich dazu lag die Inzidenz der distalen Femurfrakturen im Jahr 2019 bei 13,4 Fällen pro 100 000 Einwohner, welches insgesamt 9077 stationär behandelte Fälle und einen Anteil von 1,3 % auf alle Frakturen ausmachte. Bei den distalen Femurfrakturen stieg die Inzidenz um 30 % über die letzten zehn Jahre. Patellafrakturen wurden deutschlandweit mit 9077 Fällen und mit einer Inzidenz von 14,1 auf 100 000 Einwohner (1,4 % aller Frakturen) in den Jahren 2009 bis 2019 registriert. Alle kniegelenksnahen Frakturen zeigen einen Geschlechterbias und treten häufiger bei Frauen auf ((69 % zu 31 % (Rupp et al., 2021)).

Eine Hauptursache für den Anstieg kniegelenksnaher Frakturen stellt der demografische Wandel dar. Durch die Steigerung des Durchschnittsalters der Bevölkerung in vielen Industrienationen, steigt der Anteil an älteren Menschen. Diese sind insbesondere durch Faktoren wie Polypharmazie und hieraus resultierender Nebenwirkungen wie Schwindel, Gangunsicherheit, Muskelschwäche, Visusminderung und Erkrankungen des zentralen Nervensystems oder kardiale Erkrankungen prädisponiert für Stürze und hierdurch verursachte Frakturen (Morfitt, 1983; Rubenstein und Josephson, 2002).

Zur Einordnung der Frakturtypen existieren Klassifikationssysteme, die bei der Beurteilung und Behandlungsableitung, aber auch beim internationalen Diskurs helfen sollen. Die Arbeitsgemeinschaft-Osteosynthese-Trauma-Klassifikation ((AO-Trauma-Klassifikation; (Kellam et al., 2018)) lässt sich auf Frakturen des gesamten Skeletts anwenden und ist das weltweit dominierende Klassifikationssystem. Hierbei wird die Fraktur meist anhand der Röntgenbildgebung klassifiziert. Unterschieden wird bei der

Einteilung nach Lokalisation, Schwere und der Frakturmorphologie (Kellam et al., 2018). Eine weitere in dieser Arbeit angewendete Einteilung ist die Zehn-Segmente-Klassifikation (10SK (Krause et al., 2016)). Diese wurde zur Einteilung der Tibiakopffrakturen entworfen und bedarf einer computertomografischen Schnittbildgebung (CT). Sie wurde entwickelt, um die Dreidimensionalität einer Tibiakopffraktur abzubilden und somit die operative Therapie mit unterschiedlichen Zugangswegen und osteosynthetischen Abstützungen zu planen. Dieses Klassifikationssystem bildet die genaue, dreidimensionale Lage der Frakturlinien ab, gibt jedoch nur indirekt einen Hinweis auf die Schwere der Fraktur durch die Anzahl der betroffenen Segmente (Krause et al., 2016).

Die zahlreichen Unfallmechanismen, die zu den in dieser Studie untersuchten kniegelenksnahen Frakturen führten, wurden in Anlehnung an die S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletztenversorgung sieben Unfalltypen zugeteilt (Rixen et al., 2012). Zum Unfalltyp (UT) 1 gehören der Sturz aus dem Stand, dem UT 2 der Sturz aus unter drei Metern und dem UT 3 der Sturz aus über drei Metern an. Verkehrsunfälle (VU) bei einer Geschwindigkeitsdifferenz von unter 30 km/h gehören dem UT 4 an, Verkehrsunfälle bei einer Geschwindigkeitsdifferenz von über 30 km/h dem UT 5. Direkte Anpralltraumen ohne Verkehrsunfall werden dem UT 6 und Distorsionstraumen dem UT 7 zugeordnet. Die Einschätzung des zugrundeliegenden Traumamechanismus erfolgt aufgrund des retrospektiven Charakters der Untersuchung der vorliegenden Dokumentation des Rettungsdienstes respektive dem Notfallprotokoll des aufnehmenden Arztes. Eine diversifizierte Zuteilung der Verkehrsunfälle in manuell betriebene (Fahrrad, Elektrofahrrad) und motorisierte Fahrzeuge (PKW, LKW, Kraftrad) erfolgte entsprechend der rettungsdienstlichen und ärztlichen Dokumentation in die Gruppen UT 4 und UT 5, wobei die VU als Insasse/Fahrer <30 km/h in dieser Studie Fahrräder sowie Elektrofahrräder und die VU als Insasse/Fahrer >30 km/h Motorfahrzeuge beinhalten. In direkter Anlehnung an die Versorgungsempfehlungen der oben genannten Leitlinie wurden die Unfalltypen Sturz aus über drei Metern und Verkehrsunfälle über 30 km/h Geschwindigkeitsdelta als Hochrasanzunfälle kategorisiert (Rixen et al., 2012).

## 1.1 Die Anatomie des Kniegelenks

Das Kniegelenk besteht aus dem Femorotibial- und dem Femoropatellargelenk. In ersterem artikulieren die Femurkondylen mit dem Tibiaplateau. In letzterem artikuliert die Facies patellaris femoris mit der Facies articularis patellae. Beim Kniegelenk handelt es sich um eine besondere Form des transportablen Drehscharniergelenks (Moriggl, 2014). Im Kniegelenk sind in der Neutralnullstellung nur zwei Bewegungen ausführbar: die Flexion und die Extension. Bei der Flexion ist der Bewegungsradius abhängig von der Stellung des Hüftgelenks. Bei extendiertem Hüftgelenk beträgt sie 120 Grad, bei flektiertem aufgrund der reduzierten Vorspannung der kniestreckenden Muskulatur 140 Grad. Passiv lässt sich das Kniegelenk auch bei gestrecktem Hüftgelenk um bis zu 160 Grad flektieren. Ist das Kniegelenk flektiert, lässt es sich auch rotieren, nach außen um bis zu 40 ° und nach innen um bis zu 30 ° (Kapandji, 2009).

Die proximale Tibia setzt sich aus zwei Kondylen zusammen, wobei der mediale Teil oval und der laterale rund geformt ist (Goldblatt und Richmond, 2003). Lateral ist das Tibiaplateau konkav geformt, medial konvex (Flandry und Hommel, 2011). Dazwischen befinden sich die anteriore und posteriore interkondylären Fossae, welche als Ansatzflächen für die Menisken und Kreuzbänder fungieren (Mcleod et al., 1977).

Die Mikroarchitektur des Tibiakopfes unterscheidet sich in den verschiedenen Segmenten. Das trabekuläre Knochenvolumen (entspricht dem Anteil des mineralisierten Knochens am gesamten Knochengewebe) ist im medialen Tibiaplateau höher als in allen anderen Segmenten, jedoch sinkt im Laufe des Alterungsprozesses das trabekuläre Knochenvolumen hier auch am stärksten ab (Krause et al., 2018).

Das distale Femur wird von zwei Kondylen gebildet, die eine konvexe Form aufweisen. Die mediale Kondyle ist größer als die laterale (Goldblatt und Richmond, 2003) und auf deren vorderer Seite befindet sich die Gelenkfläche, Trochlea femoris, die mit der Patella artikuliert (Flandry und Hommel, 2011).

Bei der Patella handelt es sich um einen flächigen, beinahe dreieckigen Knochen, dessen Spitze nach distal zeigt. Sie fungiert als Sesambein des Streckapparates und ist

eingebettet in die Quadrizepssehne und Patellarsehne. Die im Patellofemoralgelenk artikulierende Fläche ist überzogen von einem bis zu 70 mm dicken Gelenkknorpel (Loudon, 2016).

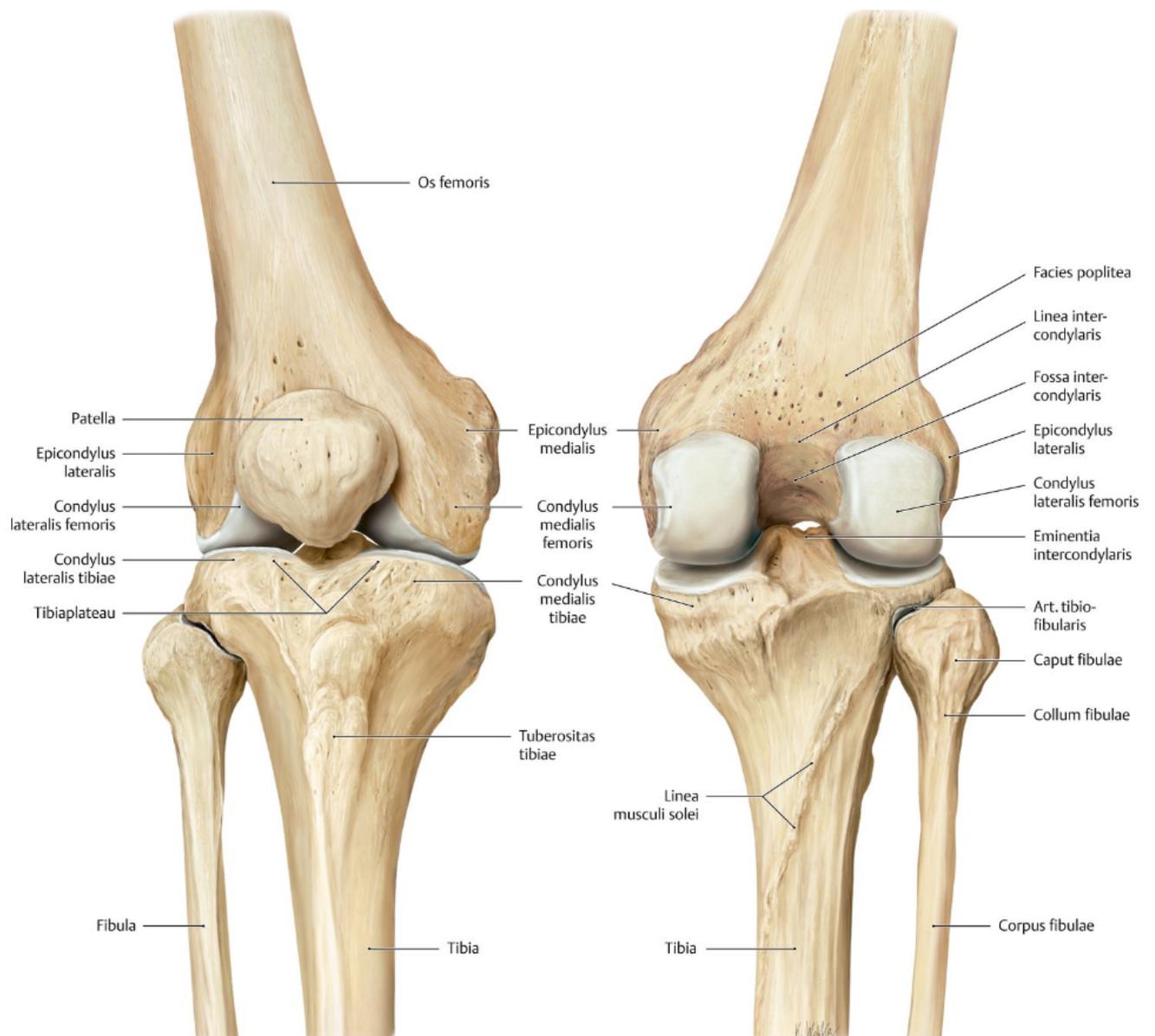
Die Menisken liegen als c-förmige Strukturen dem Tibiaplateau auf (Moriggl, 2014). Der laterale Meniskus ist durch seine eher kreisförmige Formgebung und geringer ausgeprägte Fixation beweglicher und hierdurch weniger verletzungsanfällig. Der mediale Meniskus stellt sich sichelförmig dar und ist durch seine rigidere Befestigung und dem größeren Abstand seiner Befestigungsstellen anfälliger für Verletzungen (Moriggl, 2014). Die Menisken gleichen die Inkongruenz zwischen Tibia- und Femurkondylen aus und übertragen die axialen Druckkräfte vom Femur auf die Tibia (Kapandji, 2009). Darüber hinaus unterstützen sie die Rotation und stabilisieren die Translationsbewegungen (Flandry und Hommel, 2011). Zudem schützen sie den Gelenkknorpel, dienen der Propriozeption und unterstützen die Gleitbewegung durch ihre Verformbarkeit (Moriggl, 2014).

Die Kollateralbänder verleihen dem Kniegelenk seitliche Stabilität. Das Ligamentum collaterale tibiale hat die Form eines Dreiecks und ist eine Verstärkung der medialen Capsula fibrosa. Das Ligamentum collaterale fibulare läuft lateral am Kniegelenk entlang (Moriggl, 2014). Bei gestrecktem Kniegelenk sind beide Bänder angespannt und verleihen ihm in dieser Position besonders viel Stabilität und schützen somit vor Verletzungen. Bei flektiertem Kniegelenk entspannen die Bänder und verleihen dem Gelenk somit mehr Bewegungsfreiheit (Kapandji, 2009).

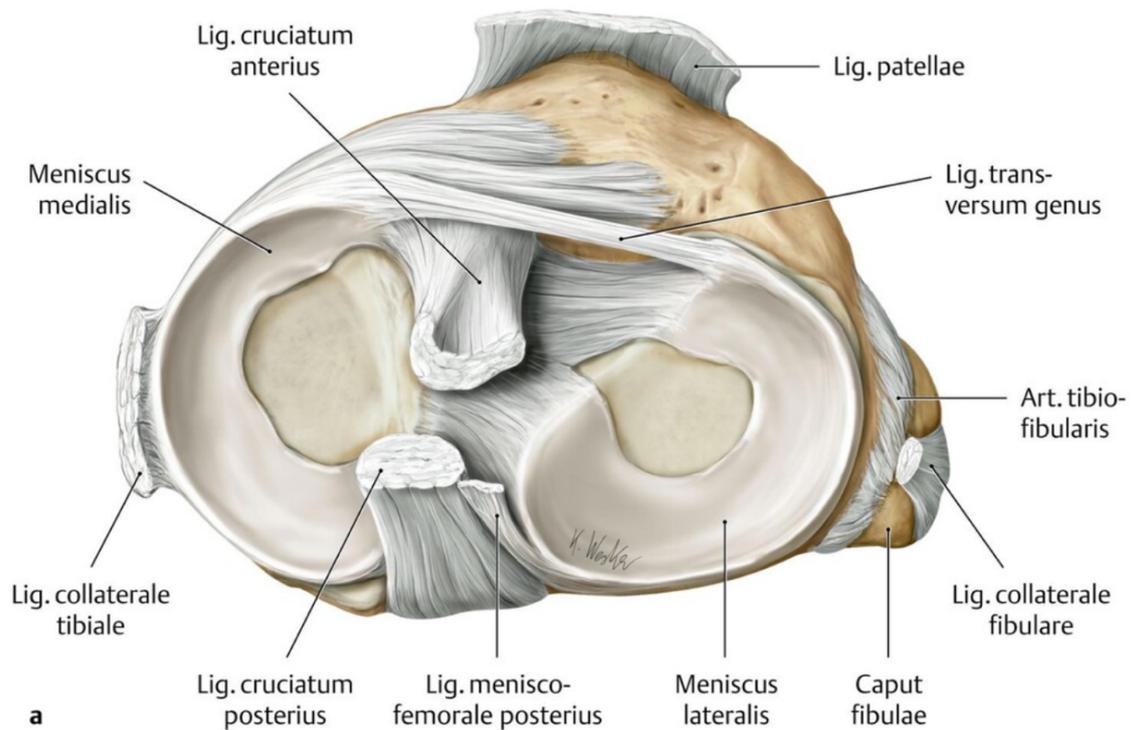
Die Kreuzbänder sind ein weiterer Bestandteil des Bandapparats des Kniegelenks. Das vordere Kreuzband hat seinen kranialen Ansatzpunkt an der dorsalen Innenfläche der lateralen Femurkondyle und erstreckt sich bis zur Area intercondylaris anterior tibiae (Moriggl, 2014). Es setzt sich zusammen aus einem anteromedialen und einem posterolateralen Bündel. Das anteromediale Bündel ist besonders bei Extension, wohingegen das posterolaterale Bündel insbesondere bei Flexion angespannt ist, sodass sich zu jeder Position des Kniegelenks Anteile unter Spannung befinden (Flandry und Hommel, 2011). Die wesentliche Funktion des vorderen Kreuzbandes ist die Reduktion der Translation der Tibia nach vorn und somit eine Stabilisation des Kniegelenks in dieser

Ebene (Moriggl, 2014). Darüber hinaus beschränkt es die Innenrotation und Hyperextension des Kniegelenks (Goldblatt und Richmond, 2003).

Das hintere Kreuzband hat seinen kranialen Ansatzpunkt an der ventral innenseitigen Fläche der medialen Femurkondyle und erstreckt sich bis zur Area intercondylaris posterior tibiae (Moriggl, 2014). Analog zum vorderen Kreuzband gibt es auch hier zwei Bündel: das anterolaterale und das posteromediale. Letzteres ist bei Extension stärker angespannt, Ersteres bei Flexion (Flandry und Hommel, 2011). Das hintere Kreuzband ist der wichtigste Bestandteil zur Beschränkung der Translation nach posterior im extendierten Kniegelenk. Auch beschränkt es die Außenrotation (Goldblatt und Richmond, 2003). Die Kniegelenkscapsel, welche das Kniegelenk als fibröse Struktur umhüllt, wirkt ebenfalls verstärkend auf die Kreuzbänder (Kapandji, 2009). Zusätzlich zur Stabilisierung des Gelenks, tragen beide Kreuzbänder durch ihre Mechanorezeptoren zur Gelenkführung und zum Schutz bei, da die Rezeptoren zu einer exakten Abstimmung jeder Bewegung verhelfen (Moriggl, 2014).



**Abb. 1:** Knöchernes Kniegelenk, links von ventral und rechts von dorsal (Schünke et al., 2014)



**Abb. 2:** Transversalschnitt durch das Kniegelenk. Blick von oben (kranial) auf das Tibiaplateau (Schünke et al., 2014). Zu sehen sind knöcherner Strukturen, Bänder und Menisken.

## 1.2 Kniegelenksnahe Frakturen

### 1.2.1 Epidemiologie

In einer epidemiologischen Untersuchung aus Schweden ließ sich eine zunehmende Inzidenz kniegelenksnaher Frakturen zeigen, insbesondere Frauen über 55 Jahren fielen in dem Kollektiv mit einer Häufung auf (Bengner et al., 1986). Die Inzidenz osteoporotischer kniegelenksnaher Frakturen bei Frauen stieg zwischen 1970 und 1999 um 214 %. Darüber hinaus zeichnete sich ein steigendes Durchschnittsalter der Patientinnen über denselben Zeitraum von 70,5 auf 75,7 Jahren ab. Bei den männlichen Patienten ließ sich im gleichen Zeitraum kein Anstieg feststellen. Von einer ähnlichen Entwicklung wird in der aktuellen Dekade bis 2030 ausgegangen (Kannus et al., 2001). Ein Anstieg kniegelenksnaher Frakturen bei Frauen über 60 Jahren ließ sich

insbesondere in der Gruppe der niederenergetischen Unfälle verzeichnen (Kannus et al., 2016).

In einer dänischen Kohortenstudie, bei welcher 60 823 Patienten in einem Zeitraum von 20 Jahren (1998-2017) untersucht wurden, lag die durchschnittliche Inzidenz von kniegelenksnahen Frakturen bei 63 pro 100 000 Einwohner. Zwischen 2010 und 2017 stieg die Inzidenzrate um 12 %. Tibiakopffrakturen machten dabei einen Anteil von 51 % aus und waren die häufigsten aller drei Frakturtypen. Patellafrakturen hatten einen Anteil von 31 % und 18 % der kniegelenksnahen Frakturen waren am distalen Femur lokalisiert. Behandelt wurden insgesamt 68 419 Frakturen, davon 34 % operativ und 66 % konservativ. Männer erlitten kniegelenksnahe Frakturen gehäuft im Alter unter 50 Jahren, wobei Frauen besonders im Alter über 50 Jahren betroffen waren (Vestergaard et al., 2019). Ähnliche Entwicklungen konnten in anderen Untersuchungen bestätigt werden (Kolmert und Wulff, 1982; Pietu et al., 2014).

### 1.2.2 Ätiologie

Die Studiendaten von Elsoe et al. sprechen dafür, dass Frakturen des distalen Femurs vorrangig (97 %) durch niederenergetische Unfälle verursacht wurden, hierbei ca. 61 % durch ebenerdige Stürze (Elsoe et al., 2018). Hingegen zeigte sich bei Tibiaplateaufrakturen, dass in 40,2 % der Fälle Stürze aus großer Höhe und in 52,3 % Verkehrsunfälle ursächlich sind (Albuquerque et al., 2013). Männer tendierten in jedem Alter dazu, sich bei hochenergetischen Unfällen zu verletzen. Frauen weisen diese Tendenz nur bis zu ihrem vierzigsten Lebensjahr auf, anschließend verletzten sie sich eher bei niederenergetischen Unfällen (Elsoe et al., 2015).

Ein Vergleich der Unfälle jüngerer Patienten mit Tibiaplateaufaktur mit den Unfällen von Patienten über 65 Jahren zeigte, dass bei der jüngeren Kohorte lediglich Unfälle mit Zweirädern signifikant häufiger waren als bei der älteren Gruppe. Bei Betrachtung der gesamten Kohorte unabhängig vom Alter, machten 26,7 % der Unfälle Verkehrsunfälle aus, wobei 21,2 % der Patienten mit Zweirädern verunfallten. Insgesamt resultierten 20,3 % der Verletzungen durch Stolperstürze, 16,2 % durch Stürze aus großer Höhe, 5,3 %

durch Verkehrsunfälle als Fußgänger und 10,3 % durch sonstige Unfälle (Oladeji et al., 2019).

Gerade im Rahmen von PKW-Unfällen ist das Kniegelenk durch die sitzende Passagierposition im Fahrzeuginneren durch Anschläge am Armaturenbrett eine häufige Verletzungslokalität und somit die am häufigsten betroffene Region der unteren Extremität bei Frontalzusammenstößen im PKW (Fildes et al., 1997).

Ungefähr die Hälfte der durch PKW-Unfälle entstehenden Knieverletzungen sind Prellungen, weniger als 2,5 % aller Patienten weisen jedoch Frakturen auf. Erst mit höheren Geschwindigkeitsdifferenzen zum Zeitpunkt der Kollision, steigt die Wahrscheinlichkeit einer Fraktur. Am häufigsten sind diese um ca. 45 km/h Geschwindigkeitsdelta, wobei es sich zumeist um Frontalzusammenstöße handelt (Atkinson und Atkinson, 2000).

Daten zu Autounfällen in Deutschland aus den Jahren 1985-1993 und 1995-2003 zeigten, dass Patienten ohne Knieverletzung im Mittel bei einer Geschwindigkeitsdifferenz von 29,4 km/h verunfallten und jene mit kniegelenksnaher Fraktur bei ca. 46,1 km/h. Jene Patienten mit isolierten oder additiven Kniebinnenschäden verunfallten bei einer mittleren Geschwindigkeitsdifferenz von 60,3 km/h. Patellafrakturen traten zu einem Drittel auf, Tibiakopffrakturen in 22,1 % der Fälle und Frakturen des distalen Femurs in weniger als zehn Prozent. Ein knappes Viertel dieser Verletzungen entfielen auf isolierte Bandverletzungen (Haasper et al., 2008).

### 1.2.3 Klassifikationssysteme

Zu den in dieser Arbeit aufgeführten Klassifikationssystemen gehören die AO-Trauma-Klassifikation und die 10-Segmente-Klassifikation des Tibiakopfes.

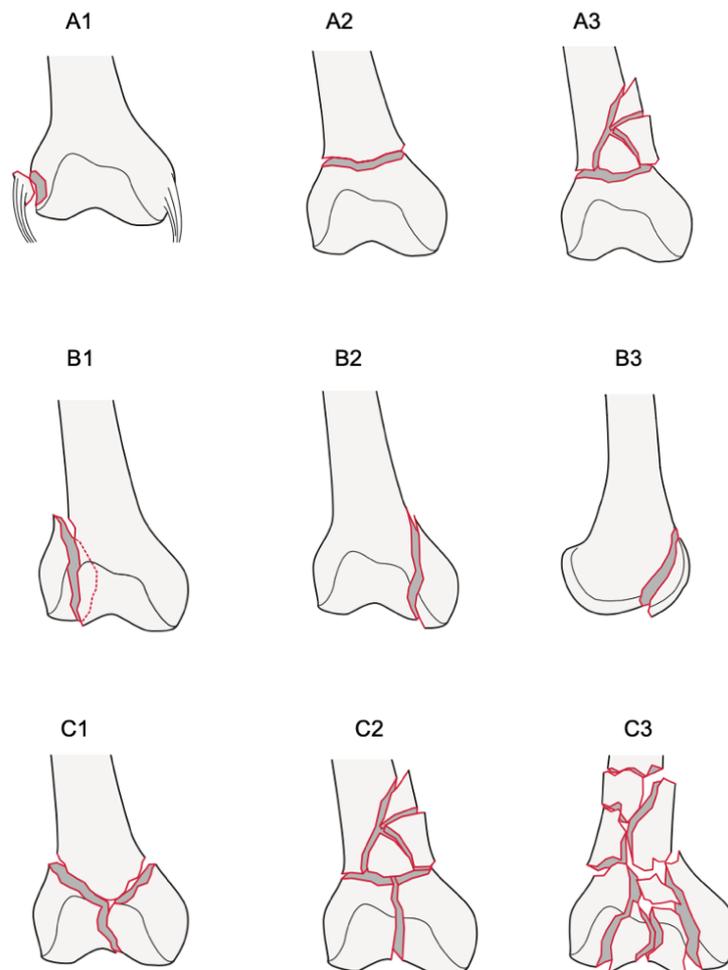
#### Die AO-Trauma-Klassifikation

Mit der AO-Trauma-Klassifikation (Kellam et al., 2018) lassen sich Frakturen jedes Knochens durch einen Code klassifizieren. Die erste Stelle des Codes steht für das betroffene Körperareal, wobei jedem Areal eine Ziffer zugeordnet wird – so z.B. die „drei“ für das Femur und die „vier“ für den Unterschenkel. Darauf folgt eine weitere Ziffer von

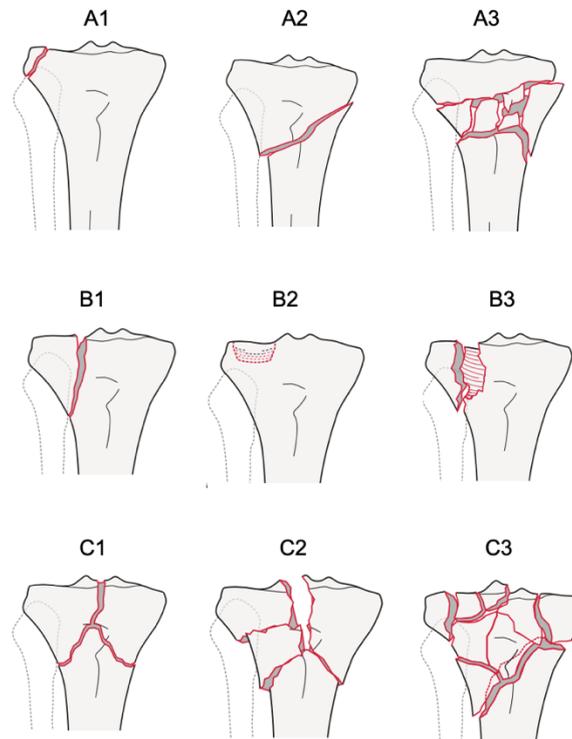
„eins“ bis „drei“, wobei „eins“ für eine proximale und „drei“ für eine distale Lokalisation steht. Eine „zwei“ steht für eine diaphysäre Fraktur im Bereich des Knochenschaftes.

Die Buchstaben beziffern bei Schaftfrakturen jeweils eine einfache Frakturlinie (A), eine Keilfraktur (B) und eine Mehrfragmentfraktur (C). Bei gelenknahen Frakturen steht A für eine extraartikuläre, B für eine teilweise artikuläre und C für eine vollständig intraartikuläre Fraktur. Zuletzt wird die Fraktur in einfach („eins“) bis schwerwiegend („drei“) eingeteilt (Kellam et al., 2018).

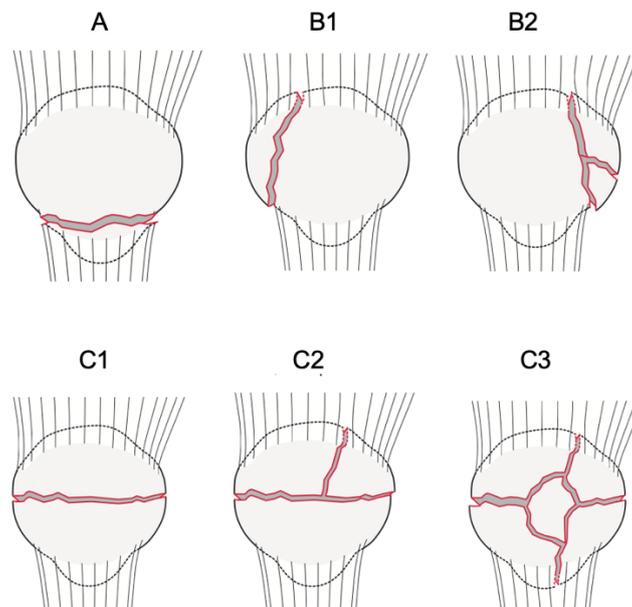
Die folgenden Abbildungen zeigen die Einteilungen der für diese Arbeit relevanten Frakturen des distalen Femurs (Abb. 3), der proximalen Tibia (Abb. 4) und der Patella (Abb. 5) nach der AO-Trauma-Klassifikation.



**Abb. 3:** AO-Trauma-Klassifikation der distalen Femurfrakturen (Kellam et al., 2018)



**Abb. 4:** AO-Trauma-Klassifikation der proximalen Tibiafrakturen (Kellam et al., 2018)

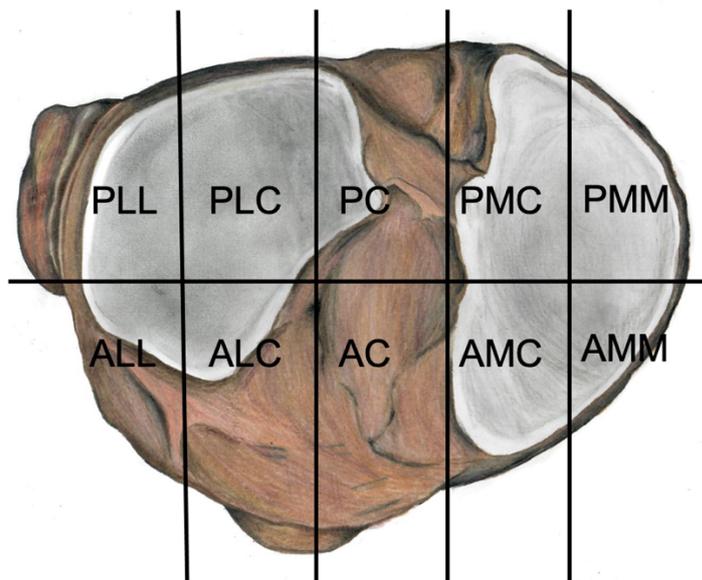


**Abb. 5:** AO-Trauma-Klassifikation der Patellafrakturen (Kellam et al., 2018)

### Die 10-Segmente-Klassifikation des Tibiakopfes

Bei der 10-Segmente-Klassifikation (Krause et al., 2016) handelt es sich um eine anatomische Einteilung der Tibiakopffrakturen mit Gelenkbeteiligung. Sie wurde entwickelt, um eine optimierte Planung der operativen Herangehensweise zu ermöglichen. Bei der Einteilung werden alle Frakturausläufer gezählt, die in den axialen CT-Schnitten von der Gelenklinie ausgehend bis zu maximal 30 mm distal verlaufen. Die Einteilung in zehn Segmente ist wie folgt (s. Abb. 6; (Krause et al., 2016)):

- antero-medio-medial (AMM)
- antero-medio-central (AMC)
- postero-medio-medial (PMM)
- postero-medio-central (PMC)
- antero-central (AC)
- postero-central (PC)
- antero-latero-lateral (ALL)
- antero-latero-central (ALC)
- postero-latero-lateral (PLL)
- postero-latero-central (PLC)



**Abb. 6:** Zehn-Segmente-Klassifikation proximaler Tibiafrakturen, eigene Darstellung in Anlehnung an Krause et al. (Krause et al., 2016)

### 1.3 Fragestellungen

In dieser retrospektiven Analyse von Traumapatienten der Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie des Universitätsklinikums Bonn wurden ossäre Verletzungen des Kniegelenks, deren zugrunde liegender Unfallmechanismus, sowie die Einteilung in gängige Klassifikationssysteme und deren Beurteilungsstärke nebst demographischer Daten untersucht und in den Kontext der internationalen Literatur gesetzt.

Die Zielsetzung beinhaltete, inwieweit ein statistischer Zusammenhang zwischen dem Unfallmechanismus und der Verletzungsausprägung herstellbar war.

Hypothese 1: Ein hochrasanter Unfallmechanismus führt im Gegensatz zu einem niedrigrasanten Mechanismus zu einer nach AO-Trauma höherklassigen Verletzungsfolge.

Hypothese 2: Ein hochrasanter Unfall führt im Gegensatz zu einem niedrigrasanten Mechanismus zu einer nach 10SK höherklassigen Verletzung.

Hypothese 3: Adipöse Patienten erleiden sowohl bei niedrigrasanten als auch bei hochrasanten Unfällen höherklassige Verletzungen nach AO-Trauma und 10SK als Patienten mit normwertigem BMI.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Patientenkollektiv

Das hier untersuchte Patientenkollektiv wurde im Zeitraum von 2007 bis 2021 im Universitätsklinikum Bonn stationär an 235 Einzelverletzungen behandelt. In die Auswertung konnten 65 Patienten mit einer Fraktur der Patella (32 Frauen und 33 Männer), 130 Patienten mit einer Tibiakopffraktur (61 Frauen und 69 Männer) und 40 Patienten mit einer distalen Femurfraktur (16 Frauen und 24 Männer) eingeschlossen werden.

Einschlusskriterien waren eine ossäre Verletzung des Kniegelenks mit notwendiger stationärer Behandlung bei einem Patientenalter von mindestens 18 Jahren, auch im Rahmen einer Mehrfachverletzung, eine mit Röntgen und Computertomographie vollständig vorliegende radiologische Diagnostik sowie die Dokumentation des Unfallmechanismus auf dem Aufnahmeprotokoll. Ausgeschlossen werden mussten Fälle, bei denen die Bildgebung, gegebenenfalls im Rahmen einer Verlegung an das Notfallzentrum des Universitätsklinikums Bonn, nunmehr retrospektiv nicht vollständig vorlag oder der Unfallmechanismus nicht dokumentiert wurde.

Das mediane Alter der 40 Patienten mit Frakturen des distalen Femurs betrug 55,5 (Standardabweichung (StAbw.)  $\pm$  19,65) Jahre und das mediane Körpergewicht 77 ( $\pm$  25,92) kg. Die Patienten waren im Mittel (MW) 174 ( $\pm$  16,33) cm groß und hatten einen durchschnittlichen BMI von 27,00 ( $\pm$  7,14) kg/m<sup>2</sup>.

Die Patienten (n=130) mit Tibiakopffrakturen waren im Median 51,2 ( $\pm$  18,45) Jahre alt, 69 waren männlichen und 61 weiblichen Geschlechts. Die mittlere Körpergröße betrug 170,0 ( $\pm$  30,87) cm und das mittlere Körpergewicht betrug 82,25 ( $\pm$  23,45) kg. Der BMI lag im Mittel bei 26,5 ( $\pm$  5,97) kg/m<sup>2</sup>.

Die untersuchte Kohorte mit Patellafrakturen (n=65) mit einem Altersmedian von 52 Jahren (11-95), war im Mittel 169,5 ( $\pm$  24,6) cm groß und wog 79,56 ( $\pm$  22,2) kg mit einem BMI von 26,2 ( $\pm$  5,8) kg/m<sup>2</sup>. Davon waren 33 männlich und 32 weiblich (s. Tabelle (Tab.) 1).

**Tab. 1:** Demografische Daten zu den untersuchten Frakturarten. Alter als Median in Jahren, Gewicht als Mittelwert in kg, BMI als Mittelwert in kg/m<sup>2</sup>, Körpergröße als Mittelwert in cm, in Klammern jeweils die Standardabweichung.

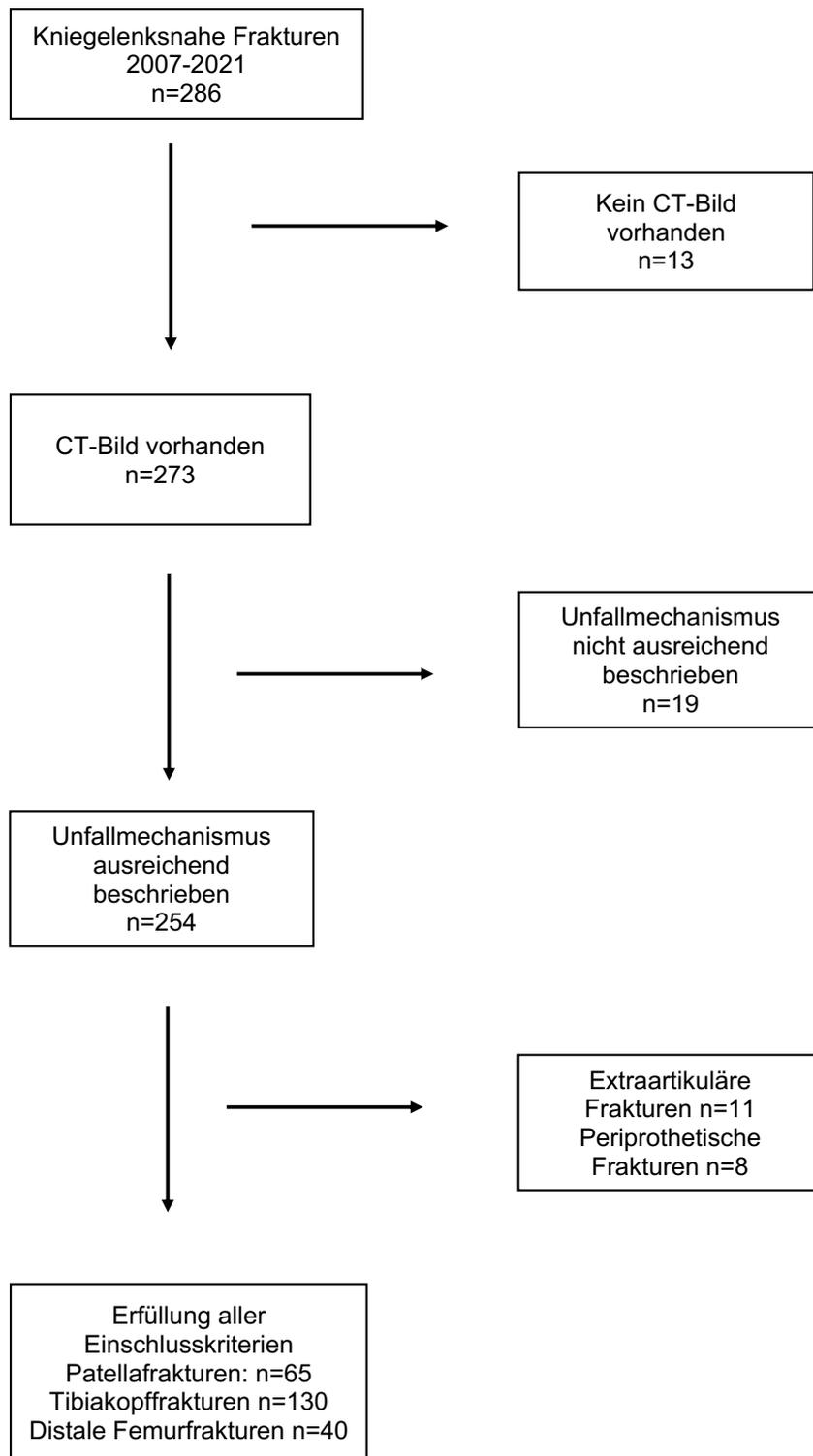
Variable	Patellafrakturen	Tibiakopffrakturen	Distale Femurfrakturen
Alter	52 (11-95)	51,2 (±18,45)	55,5 (±19,65)
Männlich	33	69	24
Weiblich	32	61	16
Gewicht	79,56 (±22,2)	82,25 kg (±23,45)	80,3 (±25,92)
BMI	26,2 (±5,8)	26,5 (±5,97)	27,83 (±7,14)
Körpergröße	169,5 (±24,6)	170,0 (±30,87)	173,78 (±16,33)

## 2.2 Datenerfassung

Folgende Daten wurden retrospektiv aus den digitalisierten Patientenakten des Universitätsklinikums Bonn erhoben:

- Allgemeine Patientendaten
  - Geburtsdatum
  - Alter bei Verletzung
  - Geschlecht
  - BMI
  - Nebendiagnosen
  - Voroperationen am betroffenen Knie
  - Medikation
    - Glucocorticoide
    - Marcumar
    - Protonenpumpeninhibitoren
    - Medikamente zur Behandlung einer Osteoporose
- Diagnose/Grund der Behandlung

- Frakturklassifikation nach AO-Trauma (Patellafrakturen, Tibiakopffrakturen und distale Femurfrakturen) und der 10-Segmente-Klassifikation (Tibiakopffrakturen)
- Mono- oder Polytraumatisierung
- Begleitverletzungen im Sinne eines Kniebinnenschadens
- Unfallmechanismus und Unfalltyp
  - Einteilung in sieben Unfalltypen
    - 1=Sturz aus dem Stand
    - 2=Sturz aus <3 m
    - 3=Sturz aus >3 m
    - 4=Verkehrsunfall bei <30 km/h
    - 5=Verkehrsunfall bei >30 km/h
    - 6= Direkter Anprall ohne Verkehrsunfall
    - 7=Distorsionstrauma
  - Unfalltypen 3 und 5 sind definiert als Hochrasanzunfälle
- Therapie
  - Primäre, sekundäre oder konservative Versorgung der Fraktur
  - Antibiotische Behandlung
  - Dauer des stationären Aufenthaltes
  - Aufenthalt auf der Intensivstation



**Abb. 7:** Flowchart zur Vorgehensweise bei der Datenerhebung

### 2.3 Unfalltypen

Die zahlreichen Unfallmechanismen, die bei der Sichtung der Patientenakten erfasst wurden, wurden in Anlehnung an die S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletztenversorgung sieben Unfalltypen zugeteilt (Rixen et al., 2012). Unfalltyp 1 entspricht hierbei dem ebenerdigen Sturz aus dem Stand. Dem Unfalltypen 2 wurden Patienten zugeordnet, die aus einer Höhe von unter drei Metern gestürzt sind. Dem Unfalltyp 3 entsprechen Stürze aus über drei Metern Höhe. Verkehrsunfälle mit unter 30 km/h Geschwindigkeitsdifferenz entsprechen dem Unfalltypen 4. Dazu gehören Fahrer von Fahrrädern oder Elektrofahrrädern und Fußgänger, die von solchen angefahren wurden. Verkehrsunfälle mit über 30 km/h Geschwindigkeitsdifferenz entsprechen dem Unfalltypen 5. Zu den Verkehrsunfällen mit über 30 km/h Geschwindigkeitsdifferenz wurden im Rahmen dieser Untersuchung alle Unfälle gezählt, bei denen Patienten als Insasse oder Fahrer eines PKWs, LKWs, Busses oder Kraftrades verunfallten, aber auch Fußgänger oder Fahrradfahrer, die von Motorfahrzeugen angefahren worden sind. Diese Einteilung wurde in direkter Orientierung an die S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletztenversorgung gewählt (Rixen et al., 2012). Hier werden, wie in der vorliegenden Studie, Verunfallte im Straßenverkehr in lediglich zwei Gruppen eingeordnet. Dies kommt dadurch zustande, dass sich allein daran orientiert wird, ob ein Unfallmechanismus vorliegt, der zu einer Alarmierung eines Schockraumteams führt. Verkehrsunfälle über 30 km/h und Stürze aus über drei Metern Höhe führen zu eben dieser Alarmierung und sind als unmittelbare Notfälle zu behandeln, wohingegen alle anderen Unfallmechanismen im Rahmen der allgemeinen Patientenbehandlung im Notfallzentrum eines Klinikums behandelt werden können (Rixen et al., 2012). Der Unfalltyp 6 entspricht einem direkten und isolierten Anpralltrauma ohne höherwertige Eigenbewegung des Unfallindividuums, wie es am ehesten bei Arbeitsunfällen entsteht. Isolierte Distorsionstraumen wurden dem Unfalltypen 7 zugeordnet.

### 2.4 Inter- und Intraraterreliabilität

Die Interraterreliabilität beschreibt die Reproduzierbarkeit von Ergebnissen zwischen verschiedenen Untersuchern bei der Auswertung desselben Sachverhalts. Die

Intraraterreliabilität beschreibt die Reproduzierbarkeit von Ergebnissen desselben Untersuchers, nachdem er denselben Sachverhalt mehrmals in einem zeitlichen Abstand zueinander ausgewertet hat (LeBreton und Senter, 2008).

Um die Güte der untersuchten Klassifikationssysteme abzubilden, wurden die Inter- und Intraraterreliabilität mittels Cohens/Fleiss' Kappa mit Ratern unterschiedlichen Ausbildungsstandes untersucht und miteinander verglichen. Zwei Untersucher (Rater) sind Studierende der Humanmedizin im klinischen Studienabschnitt. Sechs Untersucher sind Ärzte in Weiterbildung in der Orthopädie und Unfallchirurgie mit über drei Jahren Berufserfahrung. Bei vier Ratern handelt es sich um Fachärzte für Orthopädie und Unfallchirurgie und zwei Rater sind Fachärzte für Radiologie. Insgesamt wurden 50 Fälle beurteilt. Zur Bestimmung der Interraterreliabilität wurden die Rater dazu aufgefordert, alle 50 Tibiakopffrakturen nach der AO-Trauma und der 10SK zu klassifizieren. Um die Intraraterreliabilität zu bestimmen, sollten die Rater in einem Abstand von zwei bis acht Wochen die Frakturen erneut klassifizieren, jedoch ohne ihre vorherigen Ergebnisse erneut einzusehen. Anschließend wurden die Ergebnisse mittels Bestimmung des Cohens/Fleiss' Kappa ausgewertet.

Bei der Betrachtung der einzelnen Kappa-Werte wurden die Mittelwerte der Ergebnisse der Rater des gleichen Ausbildungsstandes gebildet und mit den Ratern anderen Ausbildungsstandes verglichen, um herauszustellen, ob die Inter- und Intraraterreliabilität der beiden Klassifikationssysteme vom Ausbildungsstand und somit der Erfahrung des Untersuchers abhängt. Bei der AO-Trauma-Klassifikation wurden die Einteilung in die AO-Gruppe und die AO-Untergruppe getrennt voneinander betrachtet, da die Einordnung in die AO-Gruppe (AO-Klasse A, B oder C) weniger komplex ist als die Einordnung in die AO-Untergruppe (A1-A3, B1-B3 und C1-C3).

Darüber hinaus haben die Untersucher den operativen Zugangsweg zur Behandlung der jeweiligen Fraktur nach alleiniger Einordnung der Fraktur in die AO-Klasse angegeben. Anschließend wurde die Fraktur durch die Untersucher nach der 10SK klassifiziert und erneut der operative Zugangsweg für dieselbe Fraktur bestimmt. Hierdurch sollte der Einfluss der 10SK auf die Herangehensweise bei der operativen Versorgung der Fraktur herausgestellt werden.

Kappa-Werte zwischen 0,00 und 0,20 bedeuten eine leichte Übereinstimmung, zwischen 0,21 und 0,40 eine ausreichende, Werte zwischen 0,41 und 0,60 stehen für eine moderate

Konkordanz und eine substantielle Übereinstimmung wird bei Werten zwischen 0,61 und 0,80 erreicht. Eine perfekte Übereinstimmung liegt bei Werten zwischen 0,81 und 1,00 vor (Landis und Koch, 1977).

## 2.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit der Software IBM SPSS Statistics Version 25 (SPSS Inc., IBM), sowie GraphPad Prism 9 (GraphPad Software, LLC). In der folgenden Arbeit wurde zweiseitig getestet und ein Signifikanzniveau von 5 % ( $p < 0,05$ ) angelegt. Die a priori Poweranalyse erfolgte mit Unterstützung der Software G\*Power (Universität Düsseldorf). Eine Alpha-Adjustierung für multiples Testen fand nicht statt, somit haben die Ergebnisse einen deskriptiven und explorativen Wert. Die demographischen Parameter wurden anhand des Mittelwertes, der Standardabweichung, Minimum, Maximum und Quartilen deskriptiv beschrieben. In den zu vergleichenden Gruppen wurde die Normalverteilung graphisch mittels Histogramm und analytisch mittels Kolmogorov-, Smirnov- und Shapiro-Wilk-Test überprüft. Eine Normalverteilung war nicht vorhanden, sodass nicht-parametrische Tests zur Analyse angewendet wurden. Somit erfolgte der Einsatz des Mann-Whitney-U-Test für den Vergleich von zwei unabhängigen Gruppen und für mehrere unabhängige Stichproben erfolgte die Auswertung mittels Kruskal-Wallis-Test. Je zwei Größen wurden in Kontingenztafeln gegenübergestellt und anhand von Chi-Quadrat-Test auf Abhängigkeiten analysiert. Korrelationen, sofern zutreffend, wurden mittels der Korrelation nach Spearman berechnet. Die Rateranalysen und deren Bewertung erfolgte mittels Berechnungsvarianten nach Cohens respektive Fleiss' Kappa bei mehr als zwei zu untersuchenden Gruppen. Die Ergebnisse sind in Balkendiagrammen (Boxplots) mit Fehlerbalken inklusive Erfassung der 95 % Konfidenzintervalle, sowie Streudiagrammen (Scatterplot) mit Regressionsgerade dargestellt (Faul et al., 2007).

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Distale Femurfrakturen

##### 3.1.1 Demographie

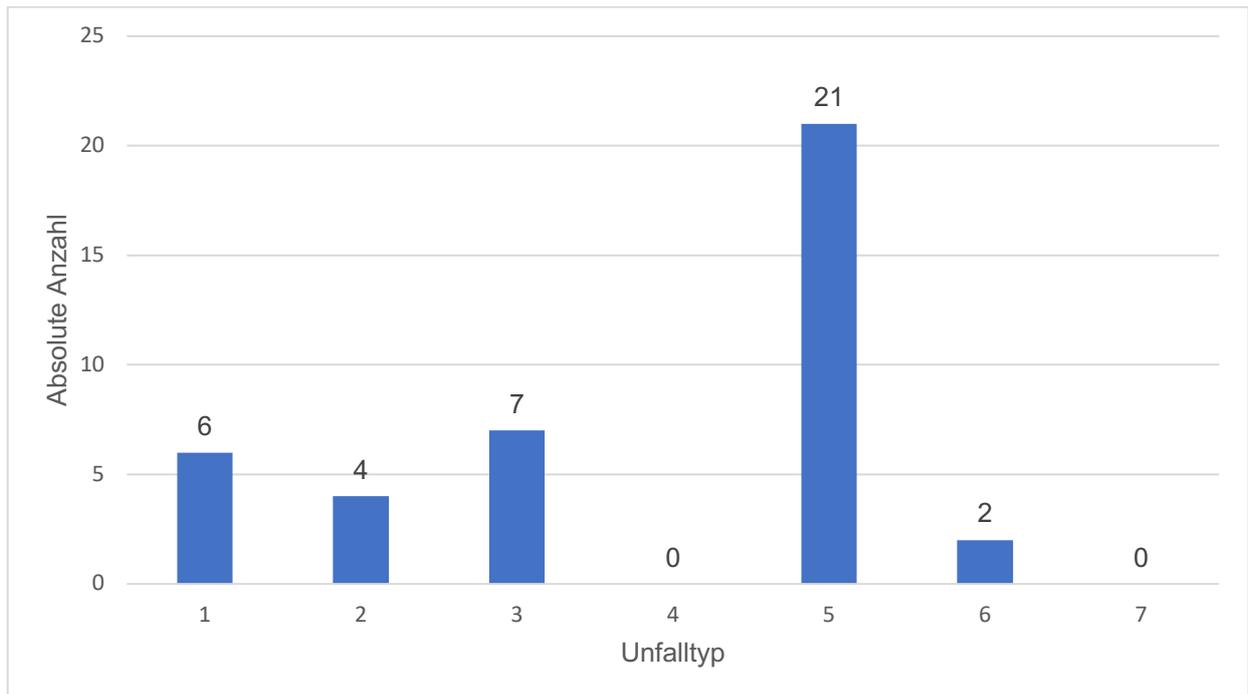
Patientinnen mit einer distalen Femurfraktur waren signifikant älter (69,5 Jahre im Median), als die männliche (50 Jahre im Median) Vergleichsgruppe ( $r=0,510$ ;  $p<0,001$ ). In Bezug auf den BMI, die Zuteilung zu einzelnen Unfallgruppen, die AO-Trauma-Klassifikation oder Mono-/Polytraumatisierung ließ sich kein Unterschied zwischen den Geschlechtern verzeichnen.

Weder Alter noch BMI, Geschlecht, Körpergröße oder Körpergewicht hatten einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Frakturmorphologie nach AO-Trauma ( $p>0,05$ ).

##### 3.1.2 Unfallgruppen

Über die Hälfte ( $n=21$ ) der Patienten ließen sich dem UT 5 (Verkehrsunfall mit einem Geschwindigkeits-Delta über 30 km/h) zuordnen. Davon waren elf PKW-Insassen, zwei Radfahrer, die von einem PKW angefahren wurden, sechs waren Motorrad- oder Mofafahrer und zwei waren Fußgänger, die von einem PKW angefahren wurden. Darauf folgten mit 17,5 % aller Frakturen der Sturz aus >3 Metern (UT 3) und mit 15 % der Sturz aus dem Stand (UT 1). Für nur 10 % aller Frakturen war der Sturz aus unter 3 m (UT 2) und für 5 % das direkte und isolierte Anpralltrauma (UT 6) ursächlich. Hochrasanztraumen machten 70 % aus, Niedrigrasanztraumen lediglich 30 %. Von den 40 untersuchten Frakturen gehörte keine den Unfalltypen 4 (Verkehrsunfall <30 km/h) oder 7 (Distorsionstrauma) an (s. Abb.8).

In der Gesamtbetrachtung der Unfallgruppen zeigte sich bei zunehmender Unfallschwere eine Häufung mehrfachverletzter/polytraumatisierter Patienten ( $r=0,558$ ;  $p=0,014$ ). Ein monotraumatisches Verletzungsmuster erlitten 42,5 % der Patienten, wohingegen 57,5 % der Patienten von einer Mehrfachverletzung betroffen waren.

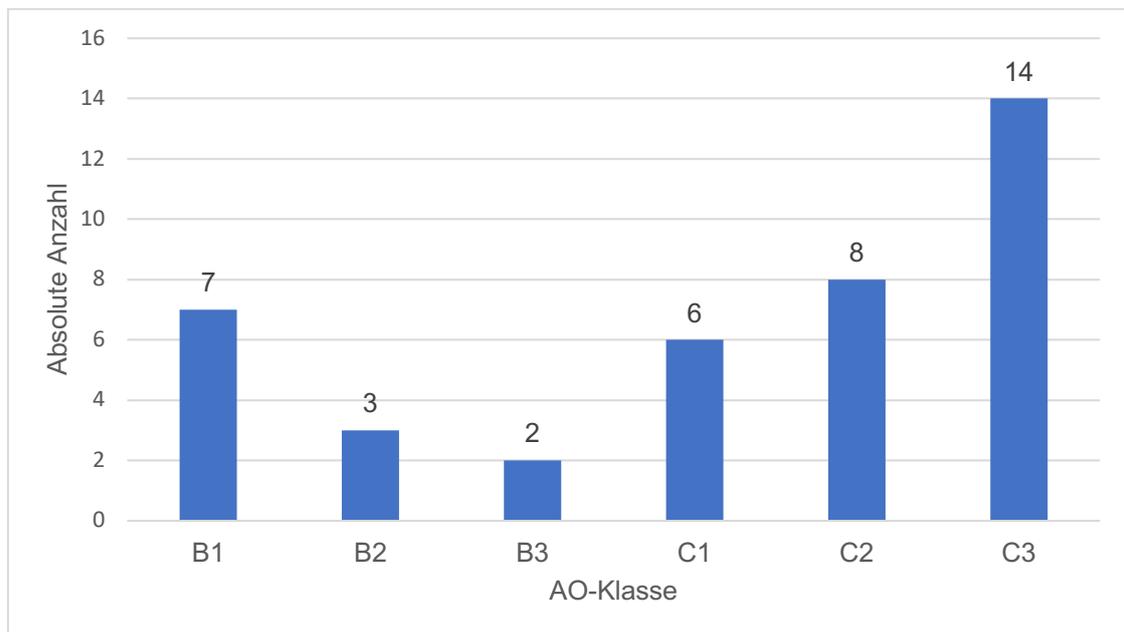


**Abb. 8:** Balkendiagramm zur Verteilung der UT der distalen Femurfrakturen in absoluten Zahlen

### 3.1.3 AO-Trauma-Klassifikation

Die meisten distalen Femurfrakturen ließen sich dem Typ AO C3 zuordnen (35 %). Darauf folgten mit 20 % der Typ C2 und mit 17,5 % der Typ B1. C1-Frakturen machten 15 % aus, B2-Frakturen 7,5 % und B3-Frakturen lediglich 5 % (s. Abb. 9).

Bei mehrfachverletzten/polytraumatisierten Patienten fanden sich häufiger B2-Verletzungen (AO 33B2) als bei den monotraumatisch Verletzten ( $r=0,331$ ;  $p=0,036$ ).



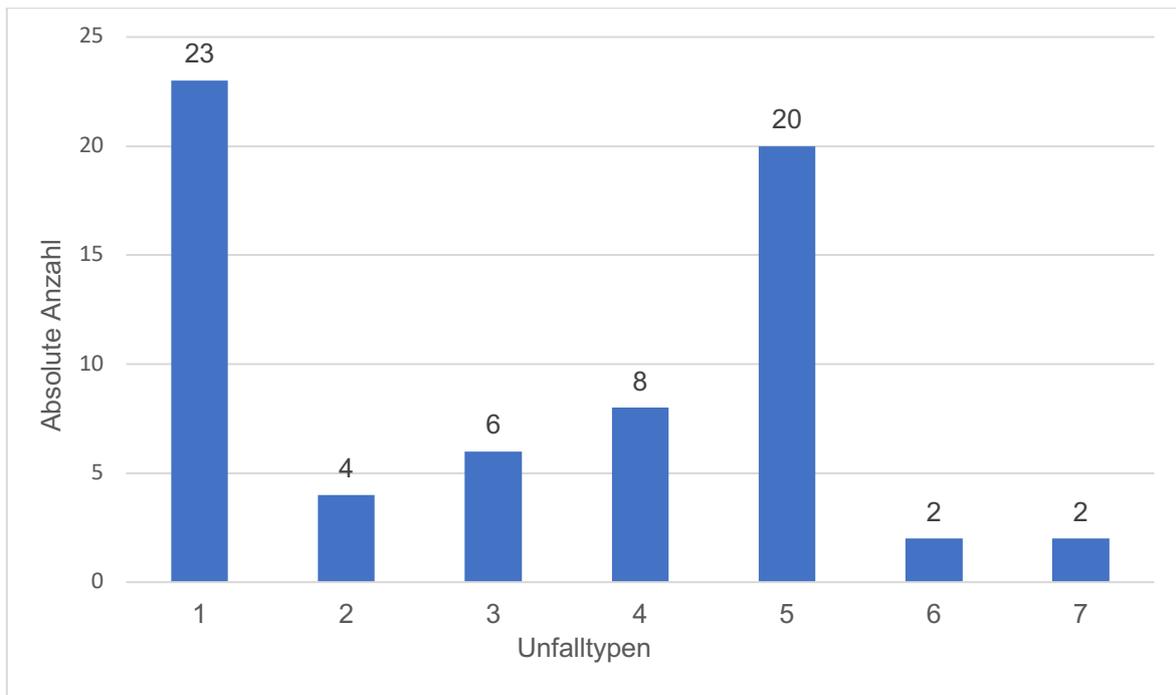
**Abb. 9:** Balkendiagramm zur Verteilung der Frakturklassen der distalen Femurfrakturen nach AO-Trauma in absoluten Zahlen

## 3.2 Patellafrakturen

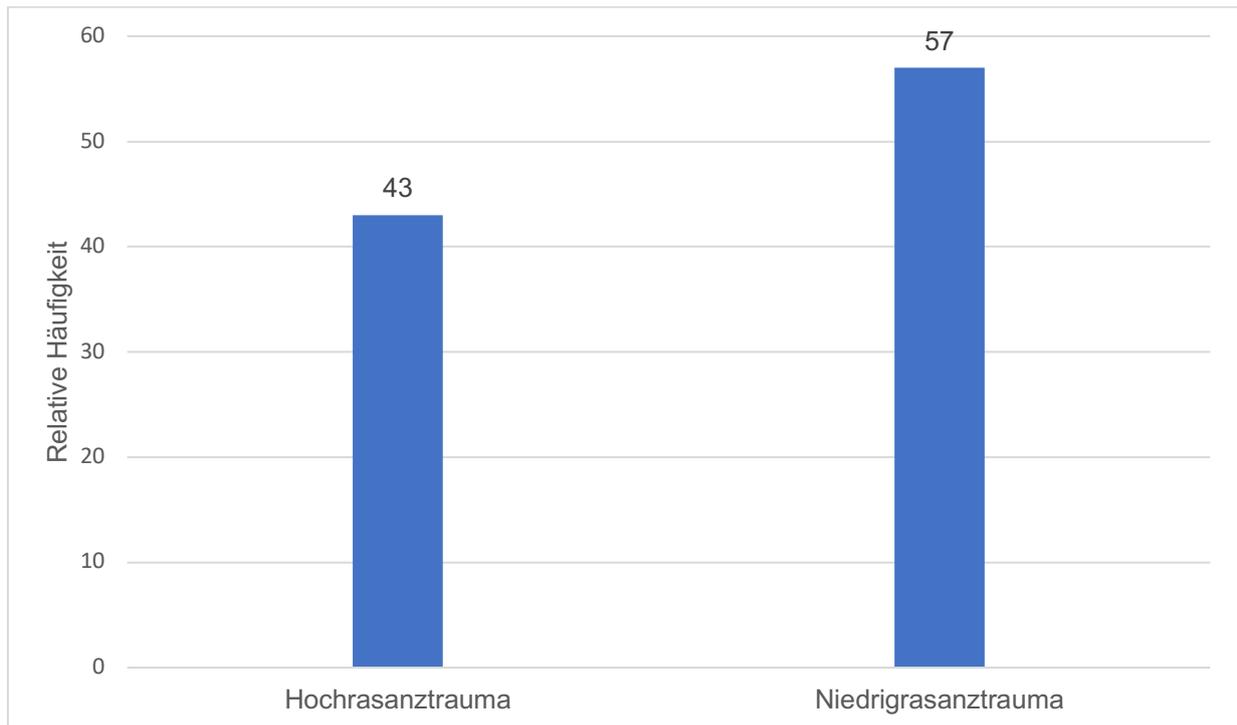
### 3.2.1 Unfallgruppen

Bei der Betrachtung der Patienten, die aufgrund einer Patellafraktur stationär behandelt werden mussten, waren 46 von insgesamt 65 Patienten mehrfachverletzt oder polytraumatisiert, wohingegen in nur 29 Fällen eine isolierte Verletzung der Patella vorlag. Aufgeteilt nach den Unfallgruppen resultierten Patellafrakturen zu 35,4 % aus einem Sturz aus dem Stand (UT 1), zu 30,8 % aus einem Verkehrsunfall mit einem Geschwindigkeits-Delta von >30 km/h (UT 5). Bei den Verkehrsunfällen mit einem Geschwindigkeitsdelta >30 km/h (n=20) handelte es sich bei neun der Verunfallten um PKW-Insassen, zwei waren LKW-Fahrer, sieben waren Motorrad- oder Mofafahrer, einer war ein Fußgänger, der von einem PKW angefahren wurde und einer war ein Fahrradfahrer, der von einem PKW angefahren wurde. Seltener Unfalltypen waren der Sturz aus unter drei Metern (UT 2), der Sturz aus über drei Metern (UT 3), der Verkehrsunfall bei unter 30 km/h Geschwindigkeitsdelta (UT 4) und das isolierte Anpralltrauma (UT 6) mit 6,2 %, 9,2 %, 12,3 % und 3,1 % aller Patellafrakturen (s. Abb. 10). Bei allen acht Verunfallten, die dem

Unfalltyp 4 zugeordnet wurden, handelt es sich um Fahrradfahrer, die im Straßenverkehr ohne Kollision mit einem anderen Fahrzeug gestürzt sind. Somit waren 56,9 % der Fälle (n=37) auf ein Niedrigrasanztrauma zurückzuführen, wohingegen 43 % (n=28) einen Hochrasanzunfall als Ursache hatten (s. Abb. 11).



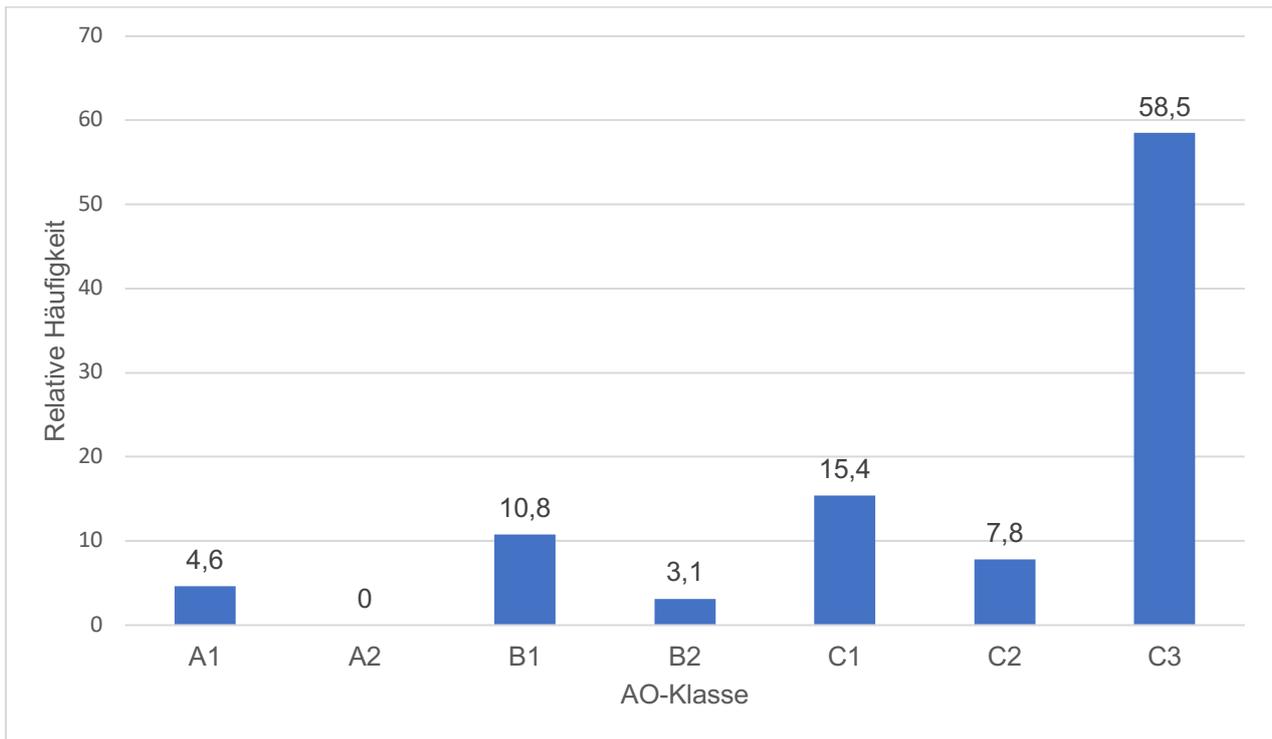
**Abb. 10:** Balkendiagramm zur Verteilung der Unfalltypen der Patellafrakturen in absoluten Zahlen



**Abb. 11:** Balkendiagramm zur Aufteilung der Patellafrakturen in Niedrig- und Hochrasanztraumen in Prozent

### 3.2.2 AO-Trauma-Klassifikation

Aufgeteilt nach der AO-Trauma-Klassifikation ließen sich drei Frakturen (4,6 %) dem Typ A1, keine Fraktur dem Typ A2, sieben dem Typ B1 (10,8 %), und zwei dem Typ B2 (3,1 %) zuordnen. Frakturen der Klasse C1 machten 15,4 % aus (n=10), während nur fünf der Klasse C2 zugehörig waren (7,8 %). Der AO-Klasse C3 gehörten 38 Frakturen (58,5 %) an (s. Abb. 12).

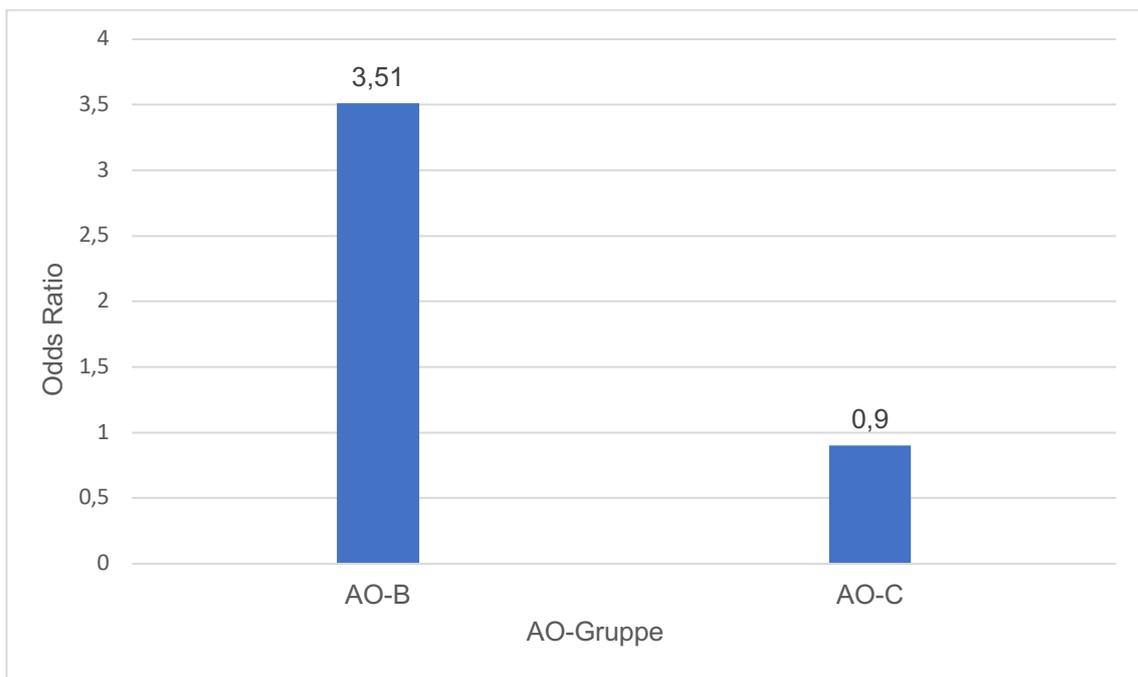


**Abb. 12:** Relative Häufigkeit der jeweiligen Frakturklassen der Patellafrakturen nach AO-Trauma in Prozent

Es zeigte sich, dass A-Frakturen vor allem bei Hochrasanzunfällen auftraten ( $p < 0,05$ ,  $r = 0,13$ ) und dass B-Verletzungen häufiger bei Unfällen niedrigerer Energie (niedrigere Unfalltypen) auftraten ( $p = 0,035$ ,  $r = 0,41$ ).

Es fiel zudem auf, dass mehrfragmentäre Patellafrakturen (Typ C) bei hochenergetischen Unfällen mit einer Odds Ratio (OR)=0,9 und B-Frakturen mit einer OR=3,51 (s. Abb. 13) einhergingen.

Die Patellafrakturen dieser Kohorte waren zu 57 % auf Niedrigrasanztraumen und zu 43 % auf Hochrasanzunfälle zurückzuführen.



**Abb. 13:** Balkendiagramm zum Risiko (Odds-Ratio) einer Patellafraktur bei einem Hochrasanztrauma nach der AO-Trauma-Klassifikation

### 3.3 Tibiakopffrakturen

#### 3.3.1 Demographie

In der in dieser Studie untersuchten Patientenkohorte zeigte sich kein Einfluss des Geschlechts auf die Segmentbeteiligung nach der 10SK ( $p=0,29$ ). Mit zunehmendem Patientenalter waren signifikant mehr an der Fraktur beteiligte Tibiakopfsegmente in den CT-Schichten nachweisbar ( $p<0,001$ ,  $r=0,64$ ). Patienten über 50 Jahren erlitten insbesondere bei Niedrigrasanzunfällen eine Tibiakopffraktur ( $r=0,54$ ;  $p=0,006$ ), wohingegen Patienten unter 50 Jahren sich bei Hochrasanzunfällen verletzten ( $r=0,69$ ;  $p=0,0071$ ).

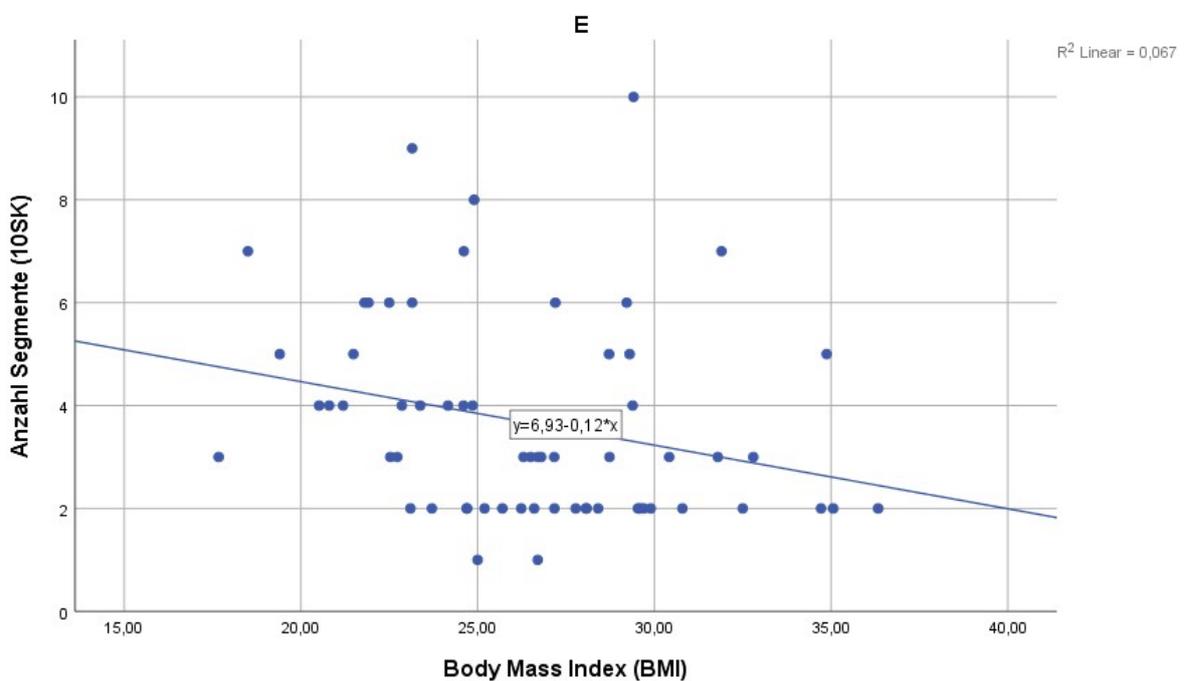
#### 3.3.2 Körpergröße und -gewicht

Größer gewachsene Patienten zeigten eine größere Anzahl an der Fraktur beteiligter Segmente des Tibiakopfes als körperlich kleinere Patienten ( $p=0,023$ ,  $r=0,69$ ).

### 3.3.3 BMI

In der Betrachtung des BMI und der Anzahl verletzter Tibiakopfsegmente zeigte sich bei Männern eine verringerte Anzahl an beteiligten Fraktursegmenten mit zunehmendem BMI ( $r=-0,340$ ,  $p<0,007$ ; s. Abb. 14).

In der von uns untersuchten Patientenkohorte ließ sich kein statistischer Zusammenhang zwischen der AO-Klassifikation und dem BMI feststellen ( $p=0,731$ ).



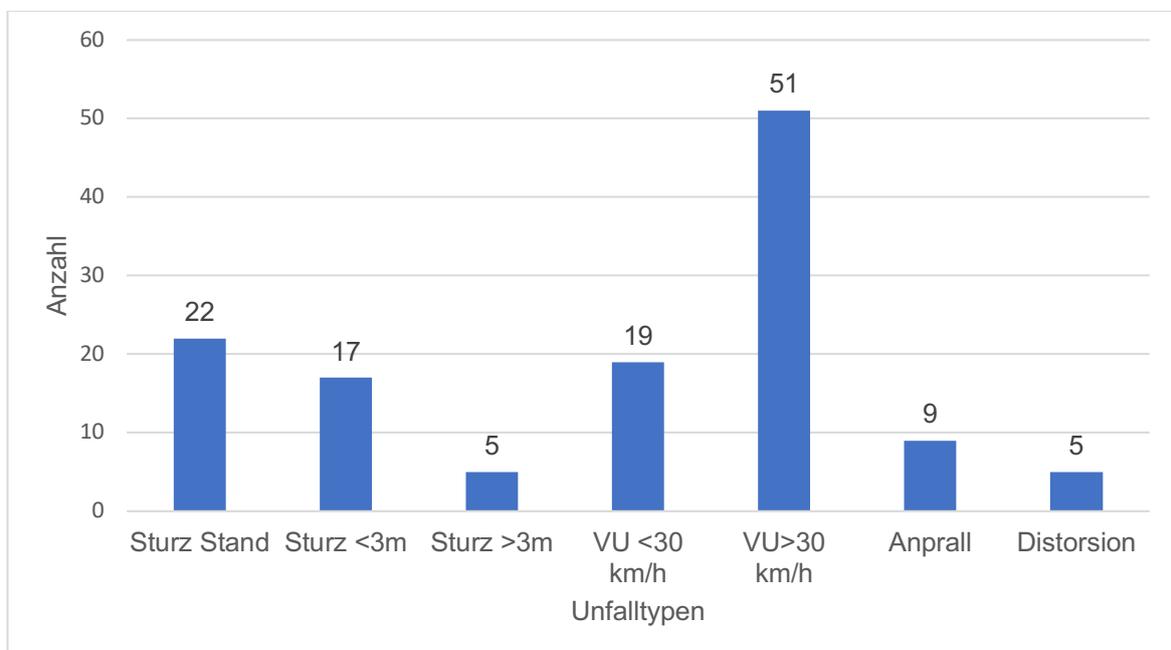
**Abb. 14:** Streudiagramm zum Zusammenhang zwischen BMI und Anzahl beteiligter Segmente nach der 10SK ( $r=-0,340$ ,  $p<0,007$ ). Korrelationskoeffizient berechnet nach Spearman.

### 3.3.4 Unfallgruppen

In die Gruppe der Niedrigrasanzunfälle ließen sich 72 und zu den Hochrasanzunfällen 58 Frakturen zuordnen.

22 Patienten verletzten sich bei einem Sturz aus dem Stand (UT 1; 18 %), weitere 17 bei einem Sturz  $<3$  m (UT 2; 13 %), fünf bei einem Sturz  $>3$  m (UT 3; 4 %), 19 bei einem Verkehrsunfall mit  $<30$  km/h Geschwindigkeitsdelta (UT 4; 15 %), 51 bei einem

Verkehrsunfall mit >30 km/h Geschwindigkeitsdelta (UT 5; 39 %), neun bei einem direkten und isolierten Anpralltrauma (UT 6; 7 %) und fünf bei einem Distorsionstrauma (UT 7; 4 %; s. Abb. 15). Unter den Patienten, die bei einem Verkehrsunfall mit >30 km/h Geschwindigkeitsdelta verunfallten (n=51), waren zwei Busfahrer, 18 PKW-Insassen, drei LKW-Fahrer, 17 Motorrad- oder Mofafahrer, zwei Radfahrer, die von einem PKW angefahren wurden, ein Quadfahrer und acht Fußgänger, die von einem PKW angefahren wurden. Der Gruppe mit Verkehrsunfällen mit <30 km/h Geschwindigkeitsdelta (n=19) wurden vier Fahrer eines Elektrofahrrads, sechs Fußgänger, die von einem Fahrrad angefahren wurden, zwei Radfahrer, die jeweils mit einem anderen Radfahrer kollidiert waren und sieben Fahrradfahrer, die ohne Kollision stürzten, zugeordnet.



**Abb. 15:** Balkendiagramm zur Verteilung der Unfalltypen der Tibiakopffrakturen in absoluten Zahlen

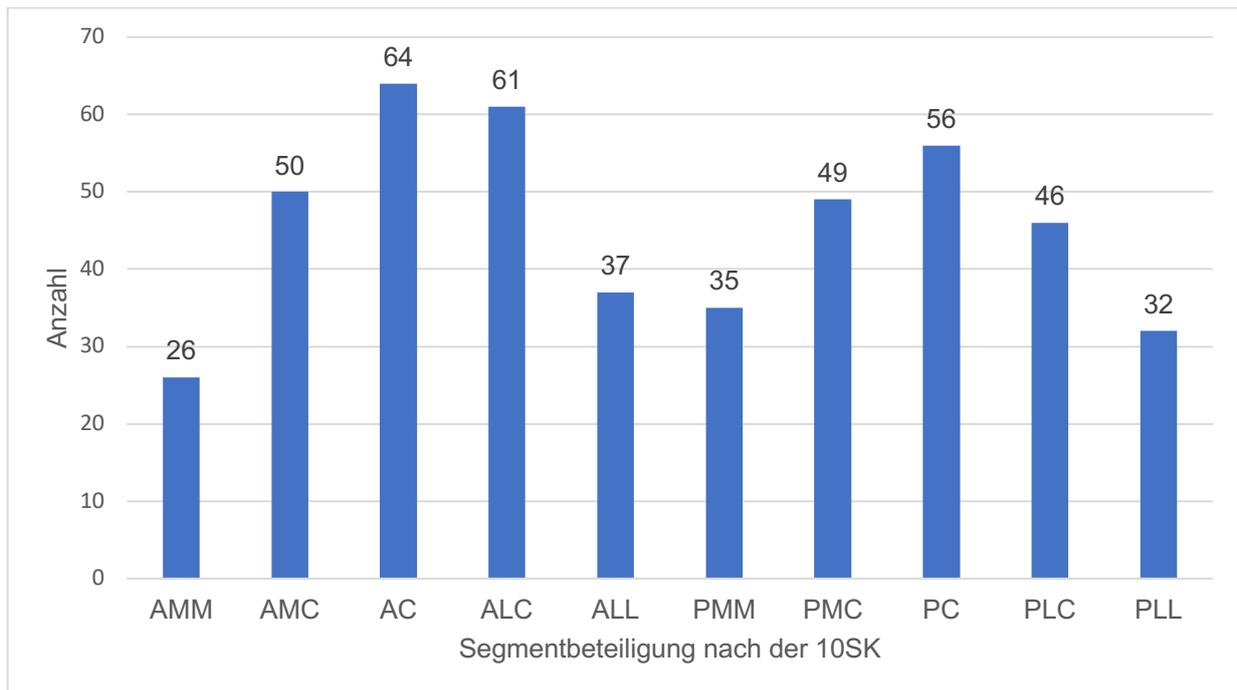
### 3.3.5 Kniebinnenschaden

Bei den elf Patienten mit zusätzlich diagnostiziertem Kniebinnenschaden (n=11) ließ sich ein Zusammenhang mit dem BMI feststellen ( $p < 0,001$ ,  $r = 0,25$ ), das heißt Patienten mit einem höheren BMI zogen sich tendenziell häufiger einen zusätzlichen Kniebinnenschaden zu.

Bei fünf dieser Patienten war eine Kombination von Verletzungen des Knieinnenapparates nachweisbar. Am häufigsten ließ sich eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes (n=5) feststellen. Jeweils drei Mal wurde eine Verletzung des Außenmeniskus, des Außenbandes, des Innenmeniskus und des hinteren Kreuzbandes diagnostiziert. Das Innenband war bei zwei Patienten verletzt.

### 3.3.6 Zehn-Segmente-Klassifikation des Tibiakopfes

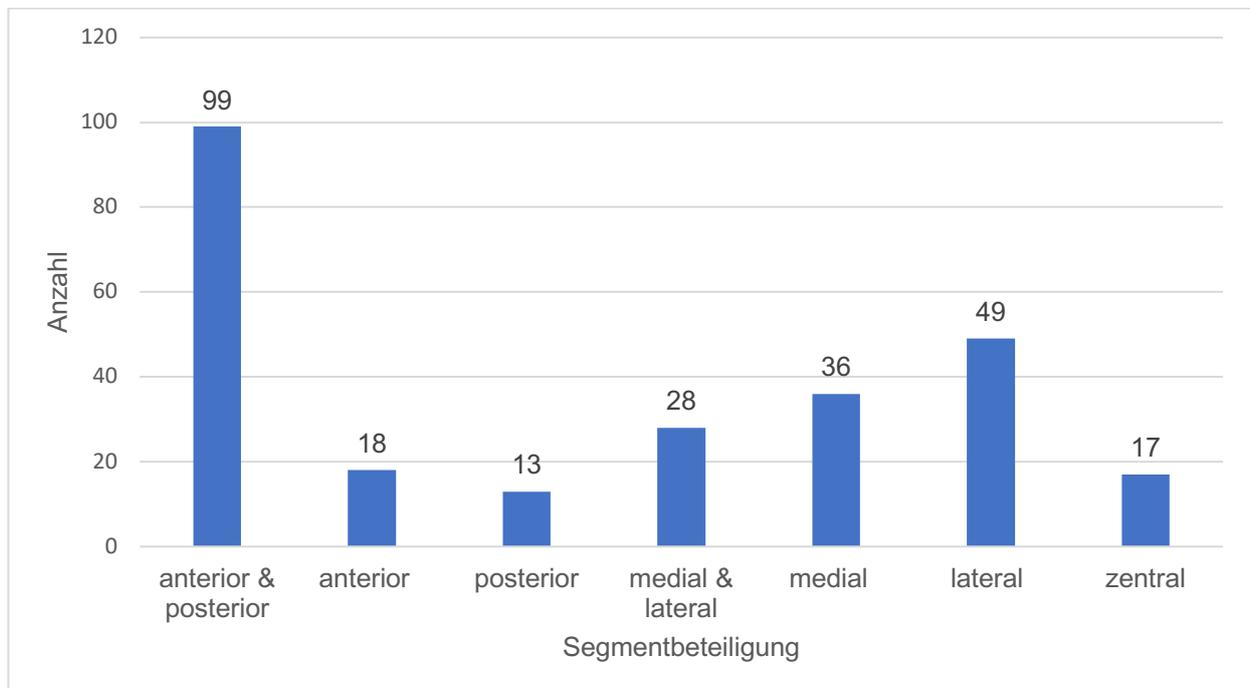
Nach Einordnung in die 10SK fand sich eine Beteiligung des AMM bei 26, des AMC bei 50, des AC bei 64, des ALC bei 61, des ALL bei 37, des PMM bei 35, des PMC bei 49, des PC bei 56, des PLC bei 46 und des PLL bei 32 Patienten. Am häufigsten beteiligt sind die Segmente anterior-zentral und posterior-zentral gefolgt von jeweils medial und lateral angrenzenden Segmenten (s. Abb. 16).



**Abb. 16:** Balkendiagramm zur Segmentbeteiligung von Tibiakopffrakturen nach der 10SK in absoluten Zahlen

Eine Übersicht der Segmentlokalisationen und kombinierten Häufigkeiten bietet Abbildung 17. Die meisten Verletzungen befanden sich kombiniert anterior und posterior

und isoliert lateral. Isolierte Verletzungen der jeweils anterioren, posterioren, medialen und zentralen Segmente machten hingegen nur einen kleinen Anteil an der Gesamtheit aus.

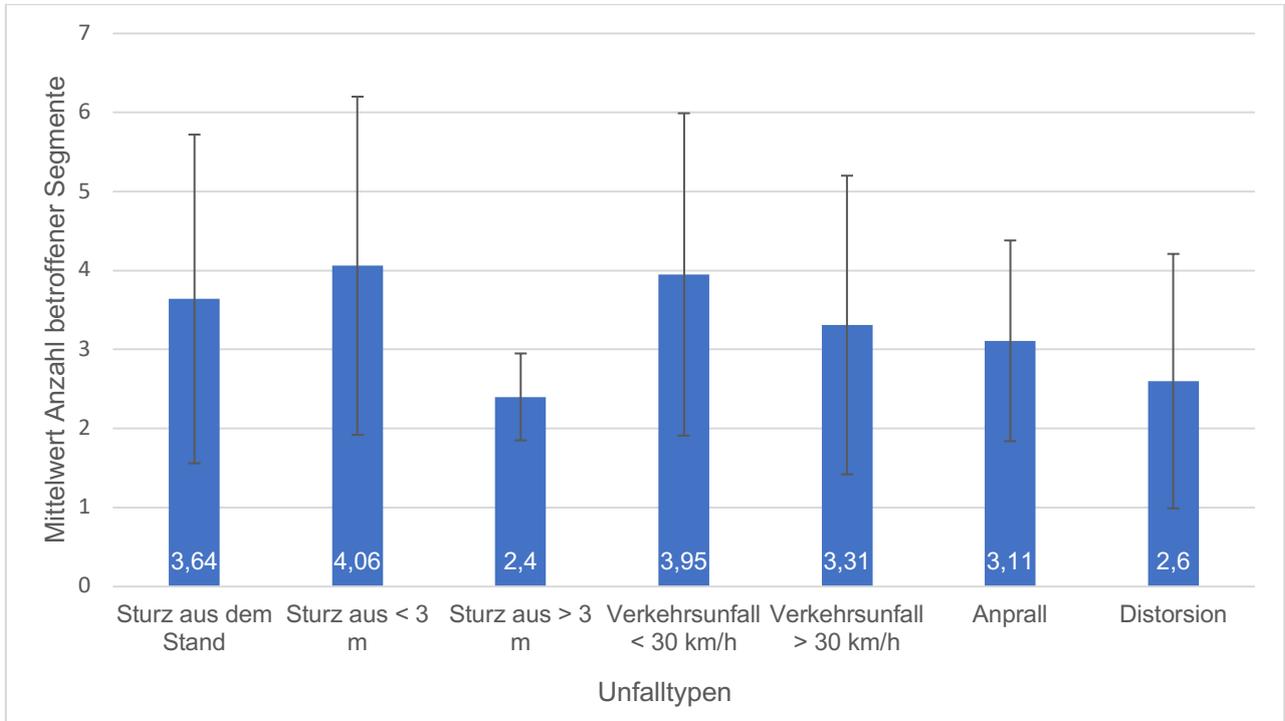


**Abb. 17:** Balkendiagramm zur Segmentbeteiligung der Tibiakopffrakturen aufgeteilt in kombinierte anteriore und posteriore, kombinierte mediale und laterale und jeweils isolierte anteriore, posteriore, mediale, laterale und zentrale Beteiligung in absoluten Zahlen

Abbildung 18 zeigt die Anzahl der betroffenen Segmente in Bezug auf den jeweiligen Unfalltypen. Bei Stürzen aus dem Stand waren im Mittel  $3,64 \pm 2,08$ , bei Stürzen aus einer Höhe unter drei Metern waren  $4,06 \pm 2,14$  und bei Stürzen aus über drei Metern nur  $2,4 \pm 0,55$  Segmente frakturiert. Verkehrsunfälle unter 30 km/h Geschwindigkeitsdifferenz führten zu einer größeren Anzahl verletzter Segmente ( $3,95 \pm 2,04$ ) als Verkehrsunfälle mit einer Geschwindigkeitsdifferenz über 30 km/h ( $3,31 \pm 1,89$ ). Direkte Anprallunfälle ohne VU führten zu einer Verletzung von  $3,11 \pm 1,27$  Segmenten und Distorsionen zur Fakturierung von  $2,60 \pm 1,52$  Segmenten.

In der Betrachtung der hochenergetischen ( $2,25 \pm 0,5$ ) gegenüber den niederenergetischen ( $4,71 \pm 2,138$ ) Traumamechanismen ließ sich eine signifikant geringere Anzahl betroffener Segmente nachweisen ( $p=0,042$ ). Hochrasanztraumen

ließen sich tendenziell mit einer lateralen Segmentbeteiligung in Zusammenhang bringen (0,048,  $r=0,15$ ).



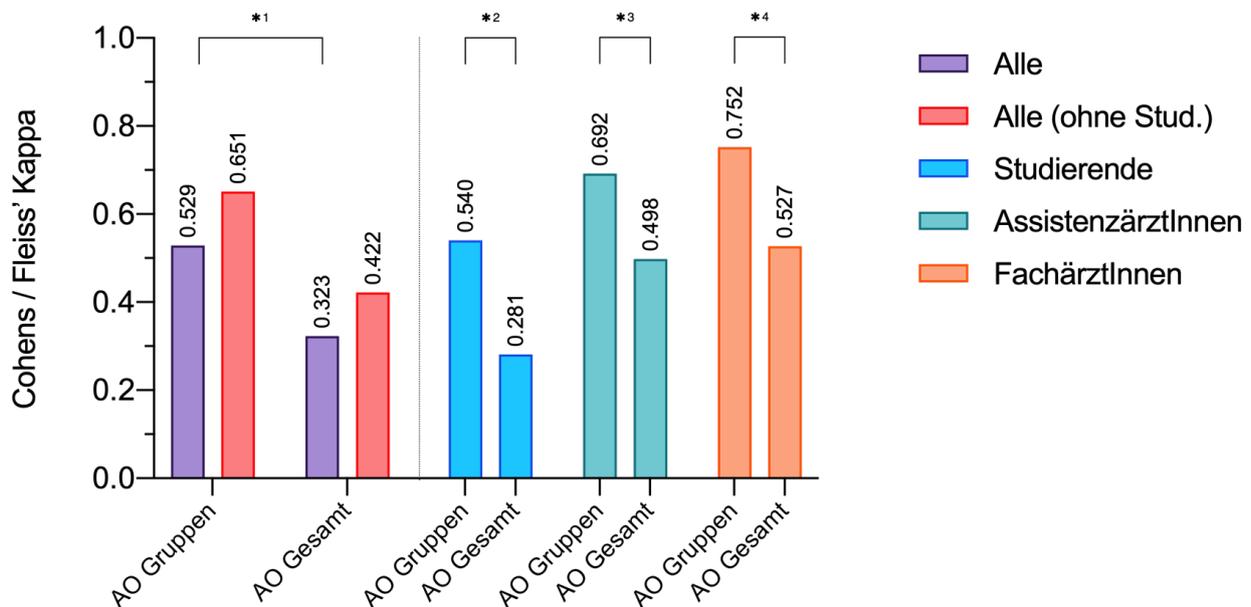
**Abb. 18:** Balkendiagramm mit Fehlerbalken zum Zusammenhang zwischen Unfalltyp und der Anzahl der betroffenen Segmente nach der 10SK. Betroffene Segmente jeweils als Mittelwert angegeben.

### 3.3.7 Inter- und Intraraterreliabilität der 10SK und AO-Trauma-Klassifikation

Die additive Bestimmung der Interraterreliabilität der AO-Trauma-Klassifikation zeigte nach Cohens/Fleiss' Kappa bei der richtigen Zuordnung in die Klasse B oder C nach AO (AO-Gruppen) eine moderate Übereinstimmung ( $\kappa=0,529$ ). Diese reduziert sich, wenn die richtige Zuordnung in die Untergruppe der AO-Typen (AO-Gesamt) betrachtet wird ( $\kappa=0,323$ ). Am höchsten ist die Rater-Übereinstimmung in der isolierten Betrachtung der Gruppe der Fachärzte bei der Einteilung in die AO-Gruppe ( $\kappa=0,752$ ). Eine etwas sinkende und somit nur noch moderate Übereinstimmung ergibt sich bei der Einordnung in die richtige Untergruppe ( $\kappa=0,527$ ).

Niedriger fallen die Kappa-Werte in der Gruppe der Assistenzärzte aus (AO-Gruppen:  $\kappa=0,692$ ; AO-Untergruppen:  $\kappa=0,498$ ).

Eine deutlich geringere Übereinstimmung findet sich in der Gruppe der Studierenden. Die Klassifikation in die AO-Gruppen zeigte eine moderate Übereinstimmung ( $\kappa=0,540$ ), in die AO-Untergruppen lediglich eine leichte Übereinstimmung ( $\kappa=0,281$ ; s. Abb. 19).



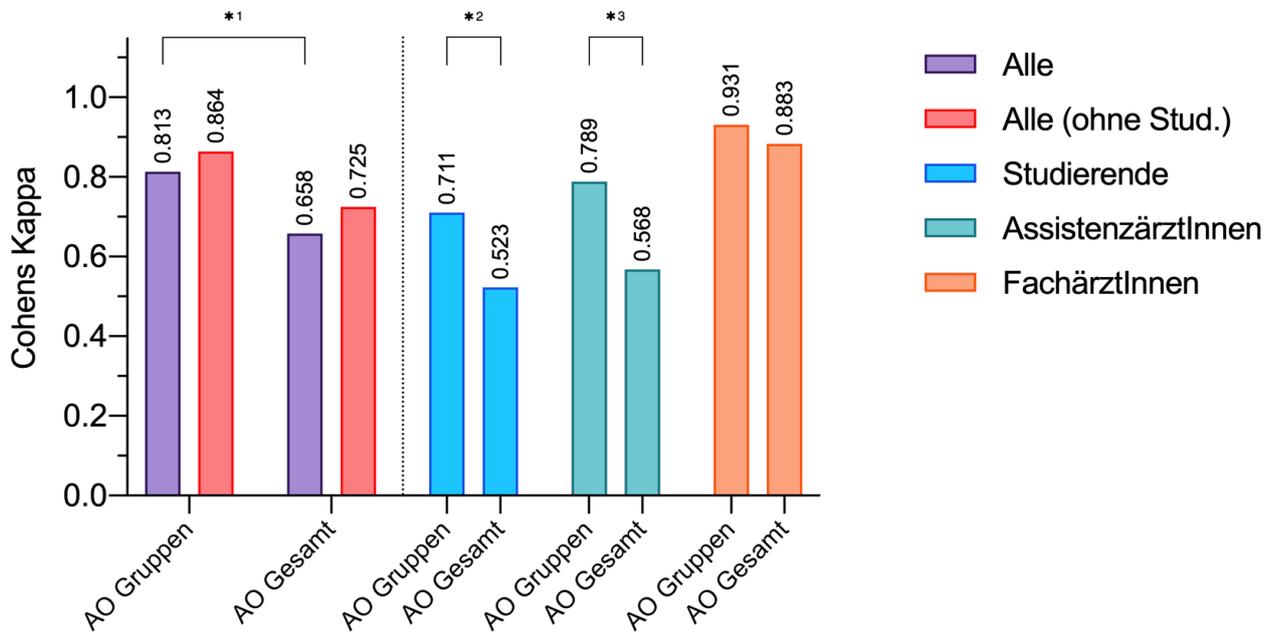
**Abb. 19:** Balkendiagramm zur Interraterreliabilität der AO-Trauma-Klassifikation nach Cohens/Fleiss' Kappa. \*1:  $p=0,042$ ; \*2:  $p=0,038$ ; \*3:  $p=0,046$ ; \*4:  $p=0,041$

Die Bestimmung der Intraraterreliabilität für die AO-Klassifikation zeigte für die Einteilung in die AO-Gruppen im Mittelwert aller Ratergruppen eine nahezu perfekte Übereinstimmung ( $\kappa=0,813$ ) und fiel für die Einteilung in die Untergruppen noch substantiell ( $\kappa=0,658$ ) aus.

Die Fachärzte wiesen in beiden Auswertungen die höchste Übereinstimmung auf ( $\kappa=0,931$  und  $\kappa=0,883$ ). Darauf folgten die Assistenzärzte mit erheblicher Übereinstimmung für die Einteilung in die AO-Gruppen ( $\kappa=0,789$ ) und moderater Übereinstimmung für die AO-Untergruppen ( $\kappa=0,568$ ). Die Studierenden erzielten eine erhebliche Übereinstimmung für die AO-Gruppen ( $\kappa=0,711$ ) und eine moderate Übereinstimmung für die AO-Untergruppen ( $\kappa=0,523$ ; s. Abb. 20).

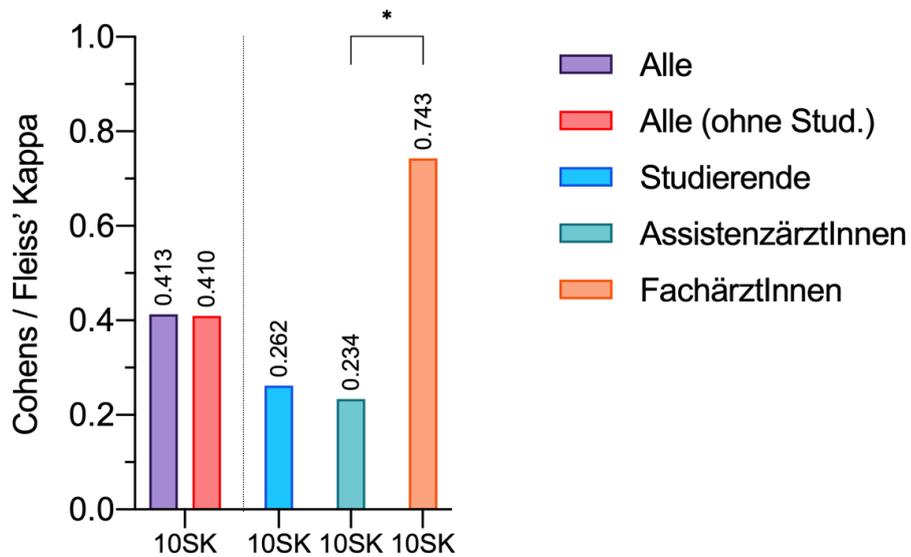
Insgesamt zeigt sich eine statistisch signifikante Abnahme der Interrater- und Intraraterreliabilität für die AO-Untergruppenzuordnung ( $p=0,042$ ;  $r=0,387$ ). Es konnten

besser reproduzierbare Werte erzielt werden, wenn die Fraktur in die übergeordnete AO-Gruppe, anstatt in die AO-Untergruppe zugeordnet wurde.



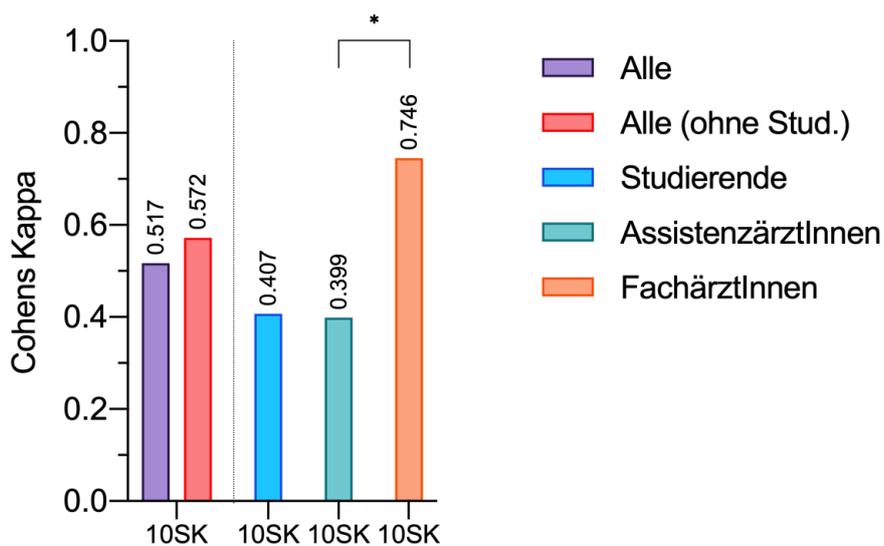
**Abb. 20:** Balkendiagramm zur Intraraterreliabilität der AO-Trauma-Klassifikation nach Cohens/Fleiss' Kappa. \*1:  $p=0,0387$ ; \*2:  $p=0,023$ ; \*3:  $p=0,032$

Die Interraterreliabilität für die 10SK zeigt im Mittelwert aller Rater eine moderate Übereinstimmung ( $\kappa=0,413$ ). Fachärzte erzielen eine erhebliche Übereinstimmung ( $\kappa=0,743$ ). Darauf folgen die Studierenden und Assistenzärzte mit einer leichten Konkordanz ( $\kappa=0,262$  bzw.  $\kappa=0,234$ ; s. Abb. 21).



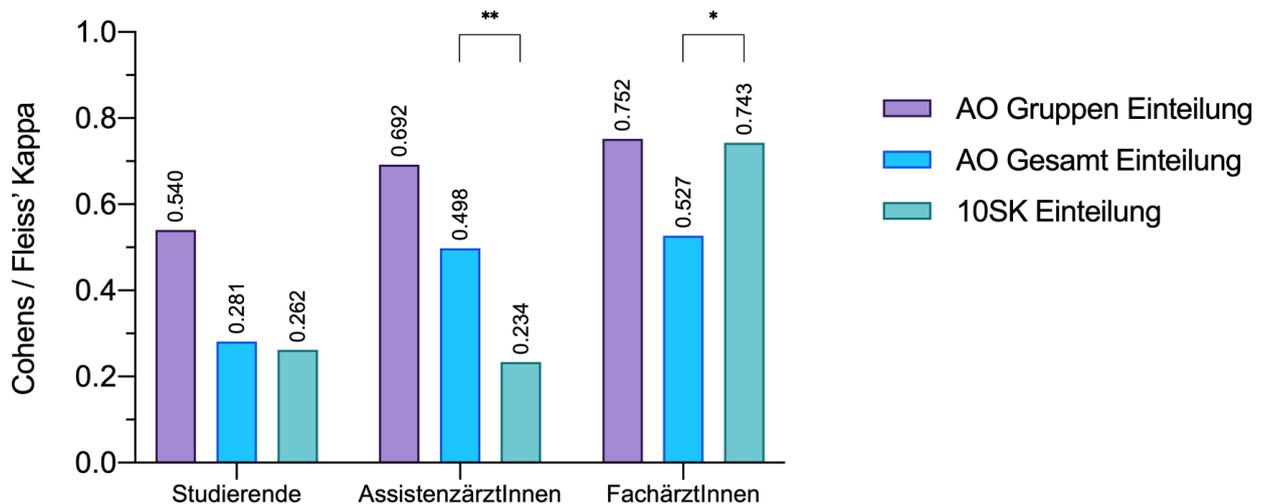
**Abb. 21:** Balkendiagramm zur Interraterreliabilität der 10SK nach Cohens/Fleiss' Kappa.  
\*:  $p=0,009$

Bei der Intraraterreliabilität der 10SK zeigt sich im Mittelwert aller Rater eine moderate Konkordanz ( $\kappa=0,517$ ). Die Fachärzte erreichen eine erhebliche Übereinstimmung ( $\kappa=0,746$ ). Darauf folgend mit nur leichter Übereinstimmung die Gruppe der Studierenden und Assistenzärzte ( $\kappa=0,407$  bzw.  $\kappa=0,399$ ; s. Abb. 22).



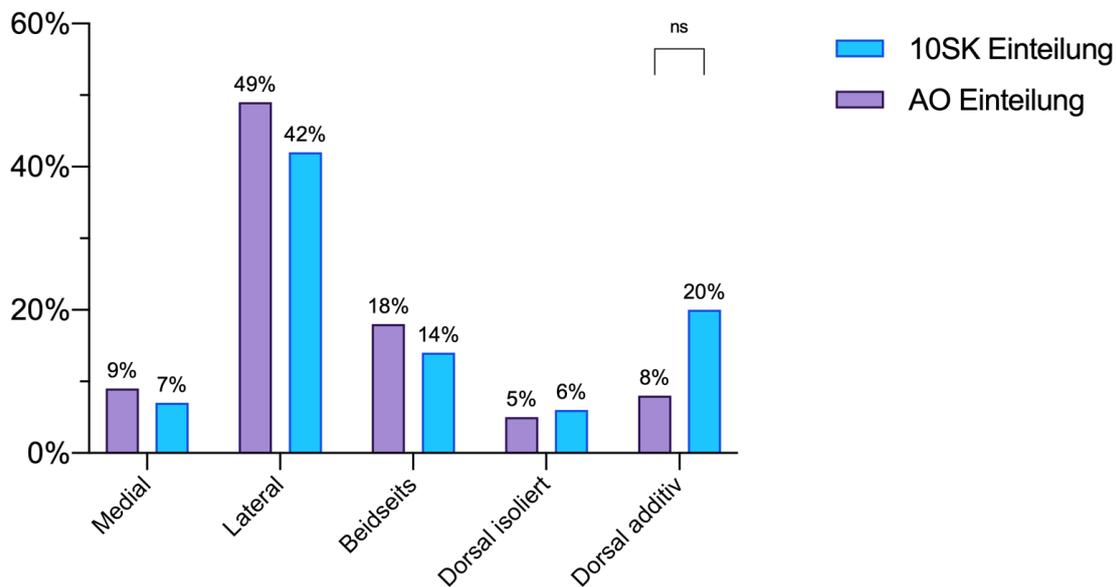
**Abb. 22:** Balkendiagramm zur Intraraterreliabilität der 10SK nach Cohens/Fleiss' Kappa.  
\*:  $p=0,021$

Sowohl die Inter- als auch die Intraraterreliabilität steigt dieser Analyse nach somit mit wachsender Berufserfahrung ( $p=0,009$ ). Je höher der Ausbildungsstand der Untersucher, desto höher ist auch die Zuverlässigkeit bzw. Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Außerdem zeigte sich bei der Gruppe der Fachärzte ein höheres Kappa für die Bewertung der Frakturtypen nach der 10SK im Vergleich zur AO-Klassifikation ( $p=0,043$ ; s. Abb. 23).



**Abb. 23:** Balkendiagramm zum direkten Vergleich der Interraterreliabilität der 10SK und AO-Trauma-Klassifikation nach Cohens/Fleiss' Kappa; \*:  $p=0,043$ ; \*\*:  $p=0,029$

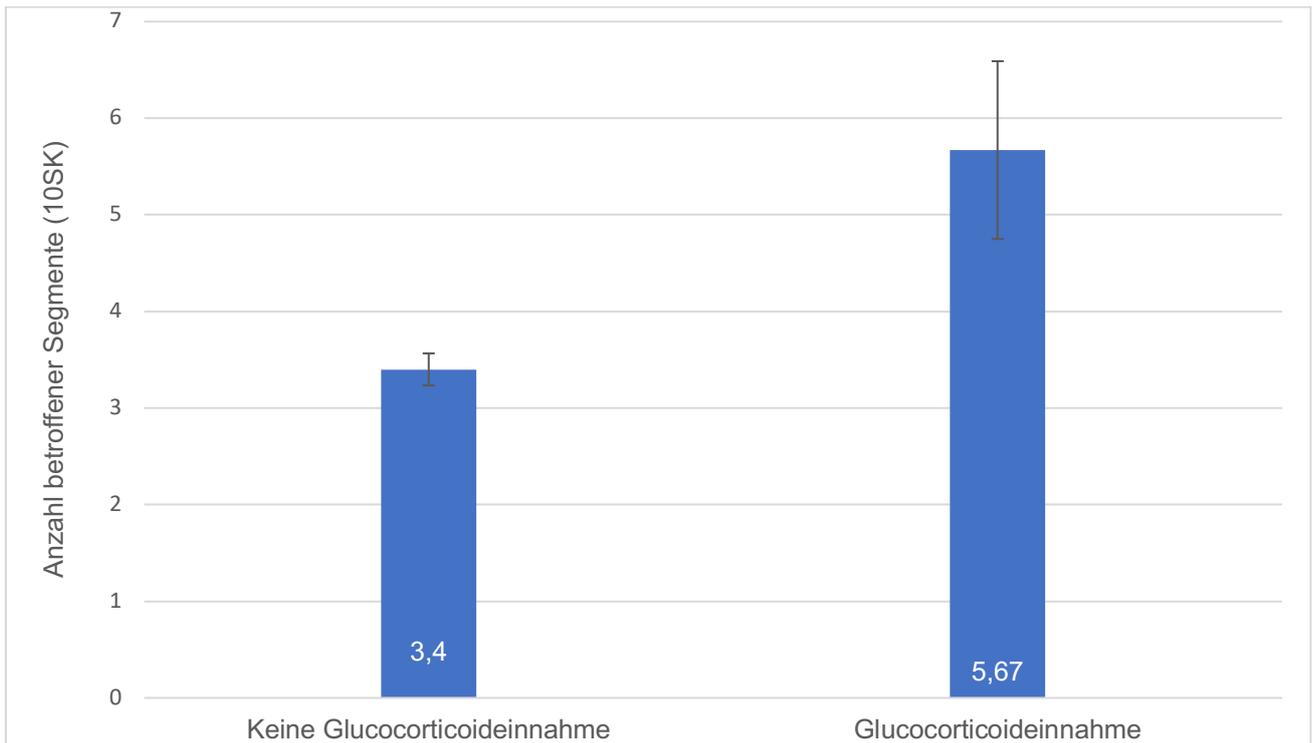
Abbildung 24 verbildlicht, welchen Operationszugang die Rater nach alleiniger Zuordnung der Fraktur zur AO-Trauma-Klasse gewählt haben und welchen Zugang sie nach zusätzlicher Zuordnung zur 10SK gewählt haben. Die Abweichung bei der Wahl der medialen, lateralen, beidseitigen und isoliert dorsalen Zugangswege ist gering, wohingegen der dorsal additive Zugangsweg deutlich öfter nach der Einteilung in die 10SK gewählt wurde (8 % zu 20 %).



**Abb. 24:** Balkendiagramm zur Wahl des OP-Zugangs nach Zuordnung in die AO-Trauma-Klassifikation bzw. in die 10SK in Prozent; ns=nicht signifikant

### 3.3.8 Glucocorticoideinnahme

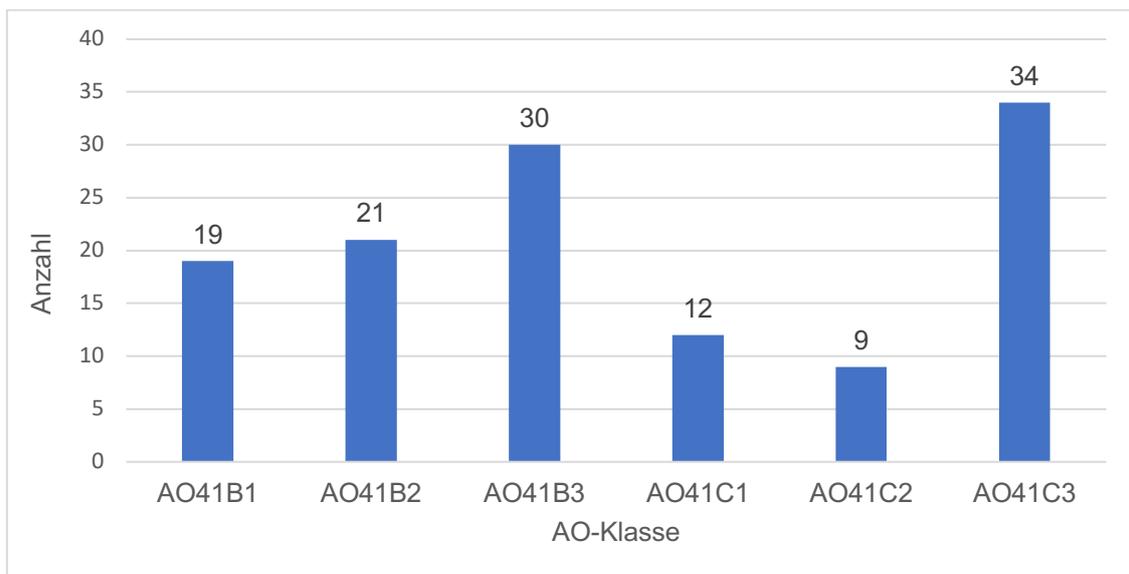
In dem untersuchten Kollektiv zeigte sich eine Glucocorticoideinnahme zum Zeitpunkt des Unfalls mit mehr an der Verletzung beteiligten Tibiakopfsegmenten vergesellschaftet ( $p=0,014$ ,  $r=0,22$ ). Patienten, die Glucocorticoide einnahmen, wiesen somit eine größere Anzahl verletzter Tibiakopfsegmente auf. Dieses Ergebnis zeigt zwar eine statistische Signifikanz, wird aufgrund des geringen statistischen Effektes jedoch nur als Tendenz interpretiert. Im Mittel waren bei Patienten, die Glucocorticoide einnahmen,  $5,67 \pm 0,92$  Segmente frakturiert. Bei Patienten, die keine Glucocorticoide einnahmen, waren es hingegen lediglich  $3,40 \pm 0,166$  Segmente (s. Abb. 25).



**Abb. 25:** Balkendiagramm mit Fehlerbalken zum Zusammenhang zwischen der Glucocorticoideinnahme und der Anzahl der betroffenen Segmente nach der 10SK. Korrelationskoeffizient berechnet nach Spearman ( $p=0,014$ ,  $r=0,22$ ).

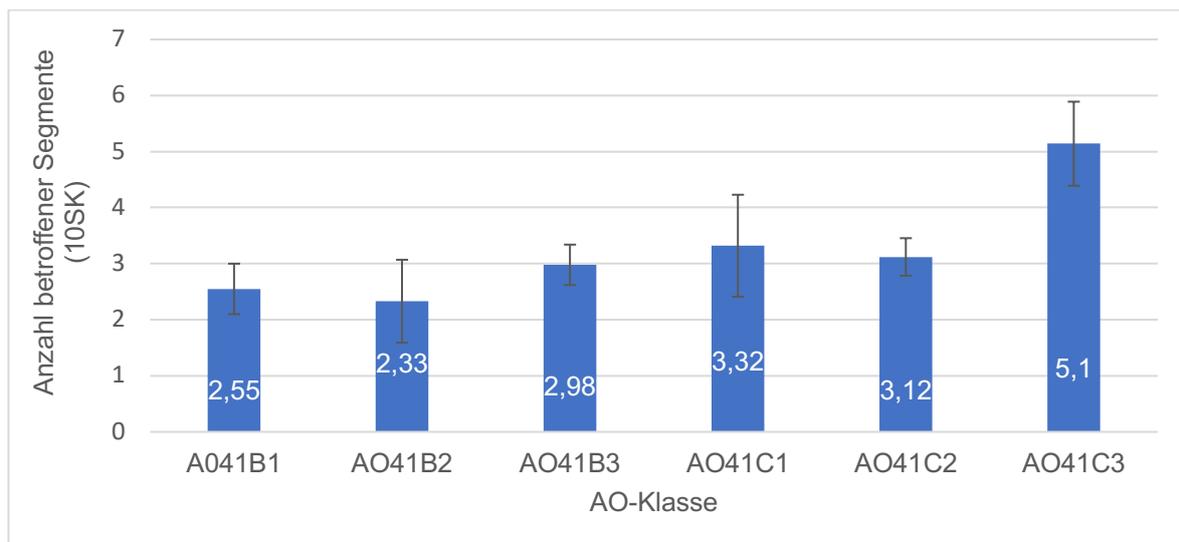
### 3.3.9 AO-Klassifikation

Nach der AO-Klassifikation waren die häufigsten Frakturtypen 41C3 ( $n=34$ ) und 41B3 ( $n=30$ ). Bei Ersteren handelt es sich um mehrfragmentäre intraartikuläre Frakturen, bei Letzteren um eine Kombination aus Spalt- und Depressionsfrakturen. Darauffolgend wies die Kohorte die folgenden Verletzungen in absteigender Reihenfolge auf: 41B2 ( $n=21$ ) und 41B1 ( $n=19$ ). Am seltensten kamen Frakturen des Typs 41C1 ( $n=12$ ) und 41C2 ( $n=9$ ) vor (s. Abb. 26).



**Abb. 26:** Balkendiagramm zur Verteilung der Frakturtypen der Tibiakopffrakturen nach AO-Trauma in absoluten Zahlen

In der näheren Betrachtung findet sich ein erwartbarer statistischer Zusammenhang zwischen dem AO-Klassifizierungsindex und der Anzahl betroffener Segmente des Tibiakopfes. Je höhergradiger die AO-Trauma-Klassifikationsbewertung, desto höher die Verletzungsschwere und desto mehr Segmente nach der 10SK sind frakturiert ( $r=0,508$ ;  $p < 0,001$ ; s. Abb. 27).



**Abb. 27:** Balkendiagramm mit Fehlerbalken zum Zusammenhang zwischen AO-Trauma-Klassifikation und der Anzahl der betroffenen Segmente nach der 10SK. Korrelationskoeffizient berechnet nach Spearman ( $r=0,508$ ;  $p < 0,001$ ).

## 4. Diskussion

### 4.1 Diskussion der Ergebnisse

Diese Studie hat es sich zum Ziel genommen, den Einfluss verschiedener Unfallmechanismen auf kniegelenksnahe Frakturen in Anlehnung an den Aktivierungsalgorithmus eines Schockraums zu untersuchen. Dabei wurden distale Femurfrakturen, Patellafrakturen und Frakturen der proximalen Tibia gesondert untersucht.

Aufgrund heterogener Bildung oder fehlender Unfallgruppen in der Literatur lassen sich die Ergebnisse der Literatur nicht vollumfänglich mit dieser Untersuchung vergleichen.

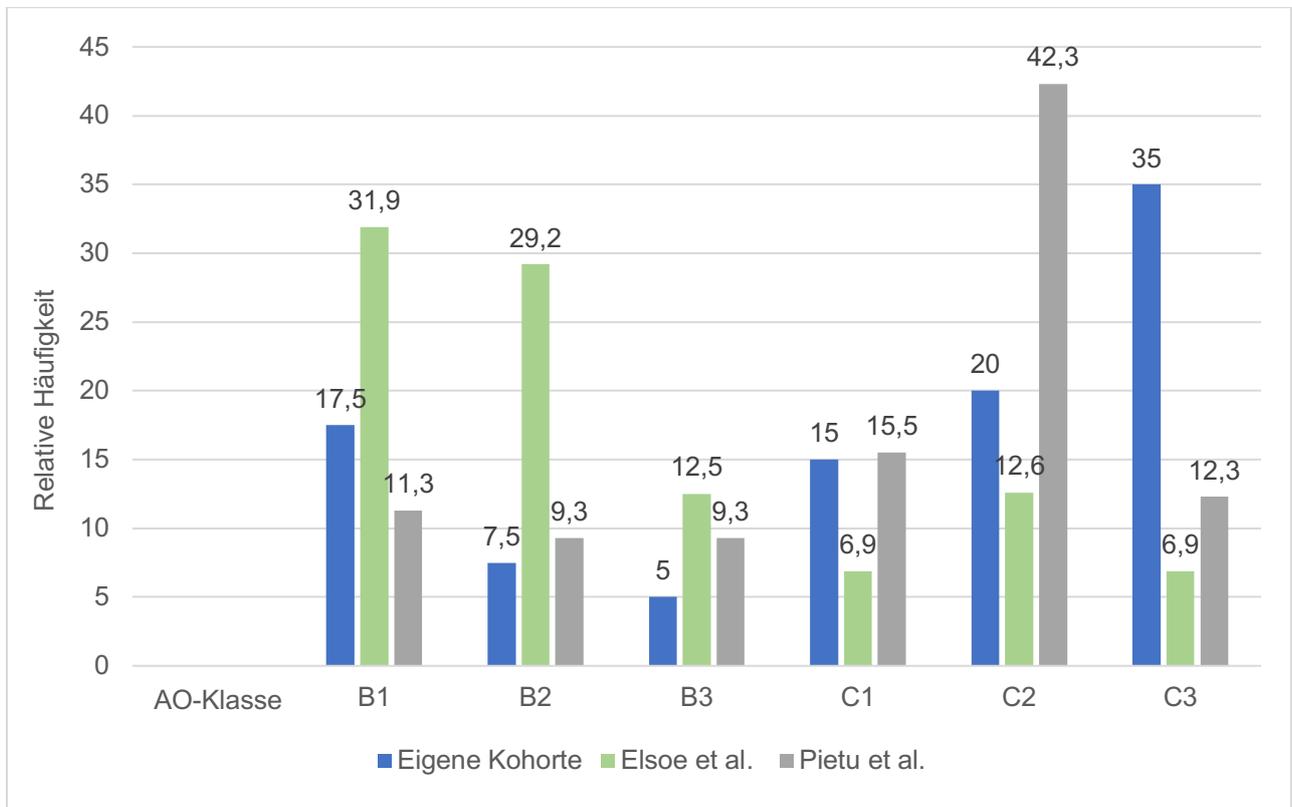
Sowohl in den Daten dieser Untersuchung als auch in der Literatur zeigt sich, dass distale Femurfrakturen mit einem Anteil von bis zu 70 % eher durch ein Niedrigrasanztrauma, als durch ein Hochrasanztrauma verursacht werden. Kolmert und Wulff stellten fest, dass von Hochrasanzunfällen (insbesondere Verkehrsunfälle mit hoher Geschwindigkeit) größtenteils jüngere Patienten (die Autoren nennen hier keine spezifischen Altersgrenzen) betroffen waren, insbesondere traf dies auf Männer zu (Kolmert und Wulff, 1982). Frauen mit distalen Femurfrakturen sind mit einem mittleren Alter von 71,6 bzw. 79 Jahren im Gegensatz zu Männern mit einem mittleren Alter von 44 bzw. 48 (Elsoe et al., 2018; Pietu et al., 2014) sowohl in der bereits vorhandenen Literatur als auch in dieser Untersuchung ( $r=0,510$ ;  $p<0,001$ ), deutlich älter. Zusammengefasst erleiden jüngere Menschen, insbesondere Männer, eher durch Hochrasanzunfälle distale Femurfrakturen, ältere Menschen, insbesondere Frauen, hingegen vor allem durch Niedrigrasanzunfälle. Erklärbar werden könnte dies damit, dass Frauen im postmenopausalen Alter deutlich häufiger an Osteoporose erkranken als Männer (Jackson und Mysiw, 2014; Lane, 2006), wodurch sich das Frakturrisiko bei einem Sturz erhöht. Dass junge Männer häufig durch hochenergetische Unfälle eine distale Femurfraktur erleiden, könnte damit zusammenhängen, dass Männer sich risikoreicher verhalten (Booth und Nolen, 2012; Dohmen et al., 2005) und aus diesem Grund z.B. im Alter unter 50 Jahren bis zu 3,85-mal häufiger an Verkehrsunfällen beteiligt sind als Frauen im selben Alter (Al-Balbissi, 2003).

In der Kohorte dieser Studie zeigte sich, dass je höhergradiger der Unfalltyp war, desto eher ein polytraumatisches Verletzungsmuster bei diesem Patienten vorlag ( $r=0,558$ ;  $p=0,014$ ). Dies ergibt sich am ehesten daraus, dass mit steigendem Unfalltyp die einwirkende Energie zunimmt (ausgenommen UT 6 und 7) und es dadurch eher zu schwerwiegenden Verletzungen, auch anderer Körperteile, kommt. So ist bei einem Verkehrsunfall mit einer hohen Geschwindigkeit, ebenso wie bei einem Sturz aus hoher Höhe, das Potenzial, sich schwerwiegender zu verletzen, deutlich höher. Interessant ist aber auch, dass dieser erwartbare Zusammenhang bei Patellafrakturen nicht zuzutreffen scheint. In der vorliegenden Kohorte zeigte sich ein vermehrtes Auftreten von Typ A-Frakturen bei Hochrasanzunfällen. Ähnliche Zusammenhänge finden sich auch bei distalen Femurfrakturen und Tibiakopffrakturen, worauf weiter unten näher eingegangen wird.

Die Frakturen der Klasse-B machten bei distalen Femurfrakturen einen Anteil von 30 % aus, wohingegen 70 % der Klasse C zuzuordnen waren. Andere Studien zeigten eine gänzlich andere Verteilung der Frakturklassen. In dieser Studie waren die Frakturen der Klasse C3 am häufigsten vertreten, sie nahmen 35 % aller Frakturen ein. Bei Elsoe et. al. hingegen gehörte diese Frakturart zur seltensten mit nur 7,9 %. Hier waren die Typen B1 und B2 mit jeweils ca. 30 % die häufigsten Frakturen (Elsoe et al., 2018). Die stark abweichenden Ergebnisse könnten daher stammen, dass in die dänische Untersuchung auch Patienten aus kleinen, peripheren Krankenhäusern eingeschlossen, wohingegen die Patientenkohorte dieser Untersuchung alleinig aus einem Universitätsklinikum und somit aus einem Krankenhaus der Maximalversorgung, stammt, in welchem aufgrund der Krankenhausstruktur eher schwerer verletzte Patienten behandelt werden als in peripheren Krankenhäusern mit anderen Kapazitäten und Schwerpunkten.

Pietu et. al. ermitteln ebenfalls Werte, die sich von unseren wesentlich unterscheiden. Sie verzeichnen mit 42,3 % den höchsten Anteil bei Frakturen des Typs C2. Alle anderen Frakturen waren in ähnlichem Ausmaß auf die anderen Frakturklassen verteilt (Pietu et al., 2014) s. Abb. 28). Da die Kohorten der hier genannten Studien aus Mittel- bzw. Westeuropa stammen und somit gut vergleichbar sind, könnten die Unterschiede am ehesten durch die unterschiedlichen Spezialisierungen und Ressourcen der Kliniken

erklärbar sein, wodurch je nach Klinik entsprechend schwerer bzw. leichter verletzte Patienten behandelt werden und somit die erfassten Frakturklassen variieren.



**Abb. 28:** Balkendiagramm zur Verteilung der Frakturklassen der distalen Femurfraktur nach AO-Trauma zwischen dieser Studie, Elsoe et. al. und Pietu et. al. jeweils in Prozent (Elsoe et al., 2018; Pietu et al., 2014)

Die meisten Patellafrakturen dieser Studie ließen sich mit 56,9 % auf ein Niedrigsanztrauma zurückführen. Nahezu identische Werte veröffentlichten Byun et. al. (Byun et al., 2019). Im Kontrast dazu findet sich einmal ein Verhältnis von 86 Hochsanztraumen zu 14 Niedrigsanztraumen (Larsen et al., 2016). Larsen et al. haben jedoch, im Gegensatz zu dieser Studie, auch Verkehrsunfälle unter 30 km/h als Hochsanztrauma gewertet, was auch die große Diskrepanz der Ergebnisse in diesem Aspekt begründen könnte.

Die Verteilung der Unfalltypen stimmt in der Literatur mit unserer Kohorte weitestgehend überein. Am häufigsten vertreten waren die Unfalltypen Sturz aus dem Stand und Verkehrsunfall, sowohl in der Kohorte der vorliegenden Untersuchung als auch in den

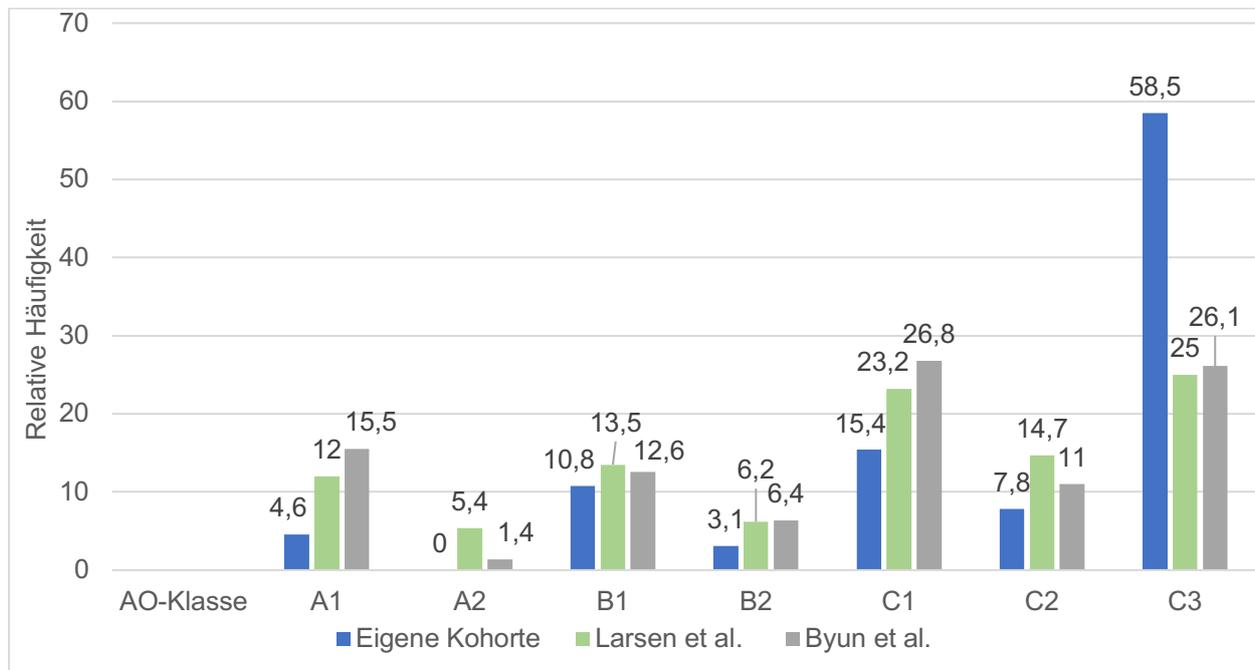
Kohorten in der Literatur (s. Tab. 2; (Byun et al., 2019; Zhu et al., 2019)). Byun et al. haben 1596 Patienten mit Patellafrakturen, welche in fünf Universitätskliniken in Südkorea behandelt wurden, in ihre Studie eingeschlossen. Dass die Patienten, wie in dieser Studie, in Universitätskliniken behandelt wurden, könnte die Vergleichbarkeit stärken. Kritisch hervorzuheben ist aber, dass die Patienten aus Korea stammen und somit eventuell nicht gut vergleichbar sind mit den Patienten aus Deutschland. Es unterscheiden sich die Ernährung, die Physis der Bevölkerung und der Straßenverkehr mit seinen Transportmitteln deutlich von den Gegebenheiten in Deutschland. Zhu et al. haben Patienten untersucht, die in China sowohl in kleineren als auch in größeren Krankenhäusern behandelt wurden. Insgesamt zeigt der Vergleich, dass Patellafrakturen am häufigsten durch Stürze aus dem Stand, Stürze aus unter und über drei Metern und Verkehrsunfälle entstehen. Distorsions- und Anpralltraumen bzw. sonstige Unfallmechanismen sind die Ausnahme (s. Tab. 2). In Tabelle 2 und 3 sind die Unfalltypen 2 und 3 als Verkehrsunfälle zusammengefasst, Unfalltypen 4 und 5 sind Stürze aus großer Höhe und Unfalltypen 6 und 7 direkte Anpralltraumen und Distorsionstraumen, Unfalltyp 1 sind Stürze aus dem Stand.

**Tab. 2:** Tabelle zum Vergleich der Verteilung der Unfalltypen der Patellafrakturen in verschiedenen Studien; Angaben in Prozent (Byun et al., 2019; Zhu et al., 2019)

Unfalltyp	Diese Studie	Zhu et. al.	Byun et. al.
1	35,4	69,6	44,1
2/3	15,4	8,7	10,8
4/5	43,1	18,8	32,9
6/7	6,2	2,9	12,4

In der Literatur finden sich zwei Untersuchungen zur Aufschlüsselung der Patellafrakturen in die einzelnen Frakturklassen nach AO-Trauma. In der vorliegenden Studie fiel besonders auf, dass über die Hälfte der Frakturen (58,5 %) der Klasse C3 und somit dem schwersten Verletzungsgrad, zuzuordnen waren. In der Literatur gehörte lediglich ungefähr ein Viertel der Frakturen dieser Klasse an. Ein weiteres Viertel fiel jeweils der Klasse C1 zu (Byun et al., 2019; Larsen et al., 2016). Alle drei Ergebnisse verbindet, dass

Frakturen der Klassen A und B deutlich weniger vertreten waren als Frakturen der Klasse C (Byun et al., 2019; Larsen et al., 2016) s. Abb. 29).



**Abb. 29:** Balkendiagramm zur Verteilung der Frakturklassen der Patellafrakturen nach AO-Trauma in verschiedenen Studien in Prozent (Byun et al., 2019; Larsen et al., 2016))

In der untersuchten Patientenkohorte im Rahmen dieser Studie zeigte sich ein statistisch schwacher Zusammenhang zwischen A-Frakturen nach der AO-Trauma-Klassifikation mit Hochrasanzunfällen ( $p < 0,05$ ,  $r = 0,13$ ), welchen wir als Trend interpretieren. Dieser statistische Zusammenhang findet sich in der bisherigen Literatur nicht. Erklären könnte sich dieser Zusammenhang damit, dass Hochrasanzunfälle eher jüngere Patienten betreffen, die im Mittel über eine bessere Knochenstruktur verfügen und trotz hochenergetischer Unfälle eher niedriggradigere Knochenverletzungen erleiden können.

Tabelle 3 zeigt eine Gegenüberstellung der Ergebnisse zur Aufteilung der Unfalltypen, die zu Tibiakopffrakturen führten, in dieser Studie und drei weiteren Kohorten. Insgesamt lässt sich kein einzelner Unfalltyp benennen, der dominiert. Allerdings sind Verkehrsunfälle und Stolperstürze als häufigste Unfalltypen herauszustellen (Elseo et al., 2015; Oladeji et al., 2019). Lediglich eine brasilianische Studie hebt sich leicht ab, da diese Stürze aus der

Höhe als häufigsten Unfalltypen feststellte (Albuquerque et al., 2013). Es zeichnet sich also insgesamt kein Unfallmechanismus ab, der am häufigsten zu Tibiakopffrakturen führt, jedoch sind tendenziell Stürze aus dem Stand und Verkehrsunfälle als dominierende Unfallmechanismen herauszustellen.

**Tab. 3:** Vergleich der Verteilung der Unfalltypen der Tibiakopffrakturen in Prozent in dieser Kohorte, den Kohorten von Oladeji et al., Albuquerque et al. und Elsoe et al. (Albuquerque et al., 2013; Elsoe et al., 2015; Oladeji et al., 2019)

Unfalltyp	Eigene Kohorte	Oladeji et al.	Albuquerque et al.	Elsoe et al.
1	18	20,3	18,8	43,7
2/3	17	16,2	40,2	20,2
4/5	54	47,9	33,5	24
6/7	10	15,6	7,5	12

Wegen der Komplexität einer kniegelenksnahen Fraktur und deren Versorgung, ist es von zusätzlichem Interesse, zu bestimmen, wie häufig es zu einem ligamentären Schaden im Zusammenhang mit einer Fraktur kommt. Daher sei am Rande erwähnt, dass aus dieser Kohorte mit 130 Patienten sich bei lediglich elf Patienten ein Kniebinnenschaden nachweisen ließ (8,5 %). Die kleine Anzahl an diagnostizierten ligamentären Verletzungen resultiert wahrscheinlich daraus, dass die meisten Patienten keine MRT des Kniegelenks erhalten haben. Laut Leitlinie zu Tibiakopffrakturen ist eine MRT bei Tibiakopffrakturen vor allem dann empfohlen, wenn es Zeichen für eine Luxationsfraktur gibt (Berninger et al., 2021).

Andere Studien zeigten, dass allein eine begleitende Meniskusverletzung bei 57 % der Patienten mit Tibiakopffrakturen auftraten (Abdel-Hamid et al., 2006). Hier muss allerdings hervorgehoben werden, dass alle 98 Patienten unabhängig von ihren Beschwerden einer Arthroskopie des verletzten Kniegelenks unterzogen wurden. Mit jeweils 3 % waren selten die Seitenbänder verletzt. Bei 25 % der Patienten ließ sich eine Verletzung des vorderen

Kreuzbands darstellen (Abdel-Hamid et al., 2006). Eine ähnliche Untersuchung mit gleicher Methodik, nämlich einer arthroskopischen Untersuchung des Kniegelenks aller Patienten unabhängig eines Verdachtes, stellte bei 47 % der Betroffenen einen Meniskusschaden fest (Vangsness et al., 1994). Colletti et al. untersuchten 29 Patienten mit Tibiaplateaufrakturen, welche bis zu 70 Tage nach ihrem initialen Trauma eine MRT-Untersuchung bekamen, auf einen Kniebinnenschaden. Bei allen außer einem fand sich ein solcher. Dabei waren jeweils ungefähr zwei Drittel der Fälle ein Meniskus- bzw. ein Kreuzbandschaden, 55 % waren eine Verletzung des medialen und 34 % des lateralen Seitenbandes (Colletti et al., 1996). Diese Ergebnisse unterscheiden sich quantitativ erheblich von unseren Ergebnissen. Hier ist allerdings anzumerken, dass unsere Patienten nicht alle einer MRT-Untersuchung unterzogen wurden, sondern lediglich, wenn der klinische Verdacht auf eine entsprechende Verletzung bestand. Colletti et al. schlossen in ihre Studie nur Patienten ein, die aufgrund eines klinischen Verdachts ein MRT-Scan bekamen, also bestätigte sich der Verdacht lediglich. Damit sind die Ergebnisse jeweils nicht vergleichbar.

Tendenziell neigten die Patienten dieser Kohorte mit steigendem BMI eher dazu, eine zusätzliche Verletzung der ligamentären Strukturen des Kniegelenks zu erleiden ( $p < 0,001$ ,  $r = 0,25$ ). Zu berücksichtigen ist allerdings, dass zwar ein statistisch signifikantes Ergebnis vorliegt, die Korrelation jedoch schwach ist. Losgelöst von der Beziehung zur Tibiakopffraktur, stellten Thein et al. diesen Zusammenhang ebenfalls heraus. Sie untersuchten Patienten mit Verletzungen der Menisken und Kreuzbänder und stellten fest, dass die OR, eine entsprechende Verletzung im Vergleich zu Menschen mit einem normwertigen BMI zu bekommen, bei übergewichtigen Frauen bei 1,406 und bei Adipösen sogar bei 1,519 lag. Daraus lässt sich schließen, dass ein höherer BMI das Risiko erhöht, sich einen Meniskus- bzw. Kreuzbandschaden zuzuziehen. Dies galt auch für Männer, allerdings nicht ganz so stark ausgeprägt (Thein et al., 2016). Insgesamt ist ein Kniebinnenschaden zusätzlich zur Tibiakopffraktur wahrscheinlich häufiger, als die Ergebnisse dieser Studie vermuten lassen. Eine mögliche Konsequenz dieser Erkenntnis könnte die großzügigere Indikationsstellung für MRT-Untersuchungen bei Patienten mit Tibiakopffrakturen sein. Die aktuelle Leitlinie zu Tibiakopffrakturen empfiehlt erst bei Zeichen auf eine Luxationsfraktur und bei bikondylären Frakturen eine MRT (Berninger et

al., 2021). Eine Ausweitung der Indikation könnte sinnvoll sein, um mögliche Kniebinnenschäden frühzeitig zu detektieren und die Therapie entsprechend anzupassen.

Für die Einteilung der Tibiakopffrakturen gibt es zahlreiche Klassifikationsmethoden. In der aktuellen Literatur finden sich nur wenige Studien zur 10SK. Daher wird sich hier auf diejenige Studie beschränkt, die die 10SK eingeführt hat. Beim Vergleich der Segmentbeteiligung in unserer Patientenkohorte mit der Kohorte von Krause et al. fällt auf, dass die Anteile der beteiligten Segmente grundsätzlich ähnlich sind, es jedoch bei einzelnen Segmentbeteiligungen größere Unterschiede gibt. In dieser Kohorte war bei ca. der Hälfte (46,9 %) der Patienten das Segment ALC beteiligt, wohingegen bei Krause et al. bei zwei Drittel aller Patienten dieses Segment verletzt war. Auch das Segment ALL war bei den Patienten der Vergleichsstudie deutlich häufiger verletzt (28,5 % zu 63,8 %). Ein ähnliches Verhältnis findet sich beim Segment PLL (Krause et al., 2016). Insgesamt lassen sich die Werte der vorliegenden Studie gut mit denen der Studie von Krause et al. vergleichen. Es gibt nur wenige größere Abweichungen (s. Tab. 4). Quantitativ lässt sich also eine Tendenz feststellen, dass einige Segmente im Vergleich besonders häufig frakturiert sind. Wertvoll ist dies im Hinblick auf die Diagnostik bei einem Verdacht auf eine Tibiakopffraktur. Die gute Vergleichbarkeit beider Studienergebnisse gibt außerdem einen Hinweis darauf, dass das Klassifikationssystem womöglich gut anwendbar und verlässlich ist.

**Tab. 4:** Vergleich der Segmentbeteiligung der Ergebnisse dieser Studie mit den Ergebnissen von Krause et. al. in Prozent (Krause et al., 2016)

Segment	Diese Studie	Krause et. al.
AMM	20	18,3
AMC	38,5	28,5
AC	49,2	36,2
ALC	46,9	67,1
ALL	28,5	63,8
PMM	26,9	22,8
PMC	37,7	31,7
PC	43,1	41,9
PLC	35,4	58,9
PLL	24,6	67,1

Die vorliegende Studie untersuchte erstmalig den Einfluss des Unfallmechanismus auf die Segmentbeteiligung nach der 10SK. Die statistische Untersuchung ergab, dass entgegen der Erwartung, bei hochenergetischem Trauma eine geringere Anzahl an Einzelsegmenten frakturiert waren ( $2,25 \pm 0,5$ ) als bei niederenergetischem Trauma ( $4,71 \pm 2,138$ ;  $p=0,042$ ), ein Novum, welches in der Literatur bislang keine Erwähnung fand. Die Erklärung dafür ist, dass Frakturen durch niederenergetische Traumen, wie oben beschrieben, insbesondere bei älteren Menschen vorkommen ( $r=0,54$ ;  $p=0,006$ ) und diese durch ihr Alter die Prädisposition für eine schlechtere Knochenstruktur haben und somit bereits bei niederenergetischen Unfällen eine mehrfragmentäre Fraktur erleiden. Auch Krause et al. stellten heraus, dass Patienten mit einer Tibiakopffraktur aus einem niederenergetischen Trauma heraus älter waren als jene, die eine Tibiakopffraktur bei einem hochenergetischen Unfall erlitten (Frauen:  $63,5 \pm 13,1$  bei Niedrigrasanztrauma und  $48,9 \pm 16,1$  Jahre bei Hochrasanztrauma,  $p < 0,001$ ; Männer:  $58,1 \pm 17,4$  bei Niedrigrasanztrauma und  $46,7 \pm 14,0$  Jahre,  $p < 0,001$  bei Hochrasanztrauma (Krause et al., 2016)). Außerdem ließen sich in unserer Studie Hochrasanztraumen tendenziell mit einer lateralen Segmentbeteiligung in Zusammenhang bringen ( $p=0,048$ ;  $r=0,15$ ). Andere

Studien stellten diesen Zusammenhang nicht heraus. Lediglich eine generell hohe Beteiligung der lateralen Segmente bei jeglichem Traumamechanismus kamen zur Erwähnung (Krause et al., 2016). Grund für die häufige Beteiligung des lateralen Segmentes könnten anatomische Gegebenheiten sein, die das Segment für eine Knochenverletzung prädisponieren. Die anatomische Femurachse bildet zur mechanischen Achse einen Winkel von  $6^\circ$ , wodurch eine leichte Valgusstellung des Kniegelenks zustande kommt (Bartl et al., 2014). Diese führt zu einer stärkeren Belastung des lateralen Tibiakopfes und könnte ein Grund für die häufigere laterale Segmentbeteiligung sein.

Im Gegensatz zu dieser Studie, gehen Krause et. al. nicht weiter auf den Unfallmechanismus ein. Sie unterteilten die Unfälle alleinig in Hochrasanz- und Niedrigrasanzunfälle. Männliche Patienten erlitten ihre Frakturen nur zu einem Anteil von 11 % aufgrund eines Niedrigrasanztraumas, bei Frauen lag der Anteil bei 46,1 %. Darüber hinaus waren diese Patienten im Schnitt signifikant älter als jene, die sich ihre Verletzung bei einem Hochrasanztrauma zuzogen (Krause et al., 2016). Dieser Zusammenhang ist zu erwarten, da junge Patienten in der Regel mobiler sind und anderen Aktivitäten (z.B. riskantere Sportarten) nachgehen als ältere Menschen. Außerdem sind, wie bereits erläutert, ältere Menschen durch z.B. Osteoporose/Osteopenie bereits bei niederenergetischeren Unfällen gefährdet, eine Fraktur zu erleiden.

Um die 10SK auf ihre Anwendbarkeit und Reproduzierbarkeit zu überprüfen, wurde in der vorliegenden Studie zusätzlich die Interraterreliabilität bestimmt. Bisher wurde eine Studie veröffentlicht, die die Interraterreliabilität der 10SK untersucht hat. Hier haben sechs orthopädische Chirurgen unterschiedlicher fachlicher Erfahrung 90 CT-Bilder von frakturierten Tibiaköpfen ausgewertet. Hierbei stellte sich jeweils eine moderate Reliabilität bei der Nutzung eines 2D-CT-Bildes ( $\kappa=0,60$ ) und eine substanzielle bei der Nutzung eines 3D-CT-Bildes ( $\kappa=0,73$ ; (Yao et al., 2022)) heraus. Somit erzielte diese Studiengruppe eine sehr gute Übereinstimmung ihrer Klassifikation und übertraf die Werte der Studierenden und Assistenzärzte der vorliegenden Untersuchung deutlich ( $\kappa=0,281$  bzw.  $\kappa=0,498$ ) und die der Fachärzte nur leicht ( $\kappa=0,527$ ). Erklären könnte sich die Diskrepanz dadurch, dass die Studiengruppe deutlich häufiger mit diesem

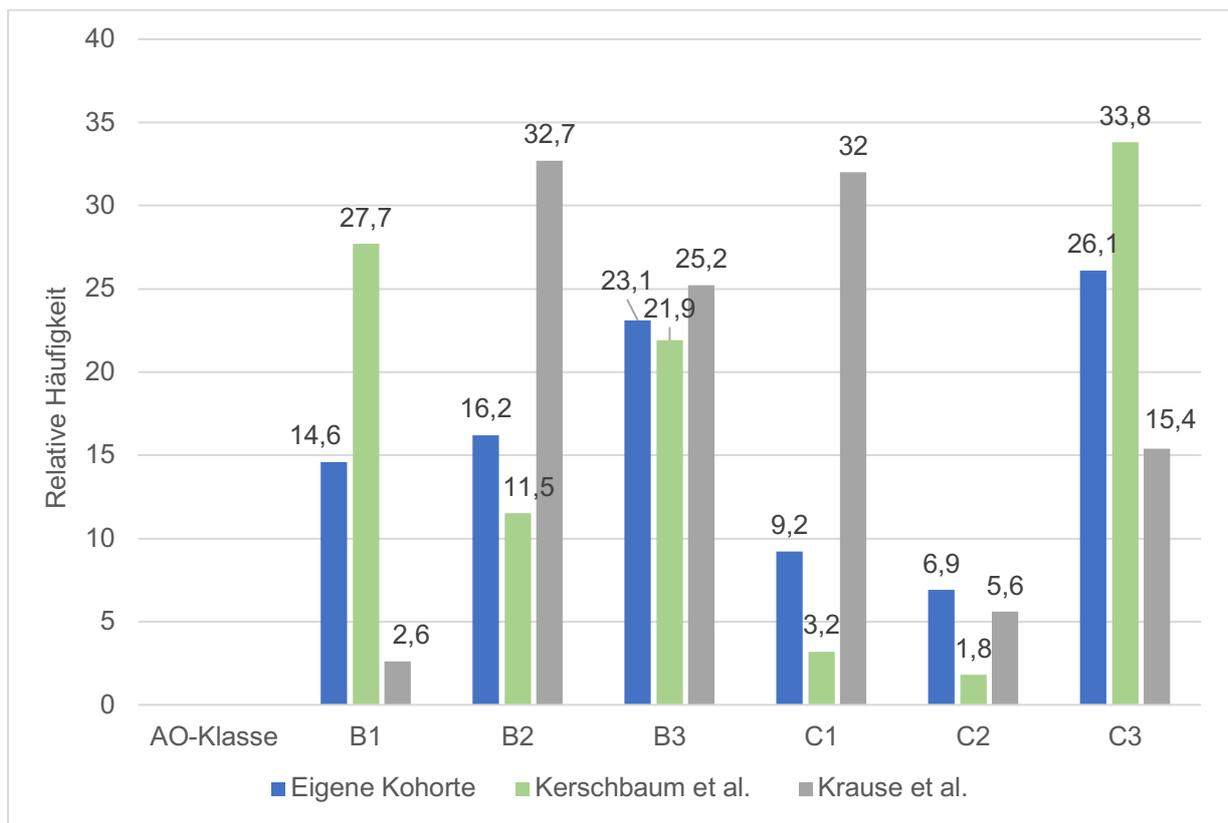
Klassifikationssystem arbeitet und somit geübter in der Anwendung ist. Am Universitätsklinikum Bonn ist die AO-Trauma-Klassifikation als Standard der Fraktureinteilung bisher deutlich häufiger, auch bei den Tibiakopffrakturen, im alltäglichen Gebrauch als die 10SK.

Die Intraraterreliabilität in der Studie von Yao et al. war erheblich ( $\kappa=0,80$ ) bei der Auswertung von 2D-CT-Bildern und fast perfekt ( $\kappa=0,91$ ) bei der Auswertung von 3D-CT-Bildern (Yao et al., 2022). Der Durchschnittswert aller Rater ergibt in der vorliegenden Studie lediglich eine moderate Übereinstimmung ( $\kappa=0,517$ ). Allerdings lässt sich der Wert der Fachärzte besser vergleichen, da diese einen ähnlichen Ausbildungsstand haben, wie die Rater in der Studie von Yao et al. Dieser beträgt  $\kappa=0,746$  und entspricht einer erheblichen Übereinstimmung. Die Zuverlässigkeit stieg in der Auswertung mit zunehmendem Ausbildungsstand ( $p=0,009$ ). Daher ist davon auszugehen, dass die 10SK umso zuverlässiger wird, je höher der Ausbildungsstand des Anwenders ist. Es liegt allerdings auch nahe, dass sie zuverlässiger wird, je häufiger sie angewandt wird und die Anwender entsprechend mit ihrer Nutzung vertraut sind.

Deutlich mehr Literatur findet sich zur Interraterreliabilität der AO-Trauma-Klassifikation bei Tibiakopffrakturen. Dabei kommt es zu Kappa-Werten von 0,43 (Charalambous et al., 2007), 0,62 (Millán-Billi et al., 2017), 0,357 bei alleiniger Auswertung von Röntgenbildern und 0,479 bei alleiniger Auswertung von CT-Bildern (Gicquel et al., 2013). Diese Werte entsprechen leichten bis moderaten Übereinstimmungen. In den Studien wurden Rater unterschiedlichen Ausbildungsstandes mit einbezogen. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie fallen ähnlich aus. Der Mittelwert der Rater jeglichen Ausbildungsstandes ergab eine leichte Übereinstimmung ( $\kappa=0,323$ ), die Fachärzte erreichten eine moderate Konkordanz ( $\kappa=0,527$ ). Je höher der Ausbildungsstand, desto höher auch hier das Kappa. Die Intraraterreliabilität für die AO-Klassifikation war in der oben genannten Literatur moderat ( $\kappa=0,53$ ; (Charalambous et al., 2007) und fast perfekt ( $\kappa=0,85$ ; (Millán-Billi et al., 2017). Die Rater dieser Studie erzielten für die AO-Klassifikation eine moderate Übereinstimmung ( $\kappa=0,517$ ) im Mittelwert aller Rater und substanzielle Übereinstimmung ( $\kappa=0,746$ ) für die Gruppe der Fachärzte. Fachärzte erzielten in der vorliegenden Studie insgesamt ein höheres Kappa für die 10SK als für die AO-Klassifikation ( $p=0,043$ ).

Es zeigt sich also insgesamt eine bessere Reliabilität für die 10SK als für die AO-Trauma-Klassifikation, wenn auch beide Klassifikationssysteme insgesamt keine besonders hohen Werte erzielen. Relevant könnten diese Erkenntnisse in Bezug auf die Anwendung der Klassifikationssysteme im klinischen Alltag sein. Einerseits ist die alleinige Anwendung der AO-Trauma-Klassifikation einfacher für den Anwender, andererseits könnte eine zusätzliche Anwendung der 10SK vorteilhafter in der Therapieplanung sein. So zeigte sich in der Auswertung der vorliegenden Studie, dass die Rater sich häufiger für einen zusätzlichen dorsalen Zugangsweg für die Operation der Fraktur entschieden, nachdem sie zusätzlich zur AO-Klassifikation die Fraktur nach der 10SK zuordneten. Die 10SK gibt im Gegensatz zur AO-Klassifikation auch Auskunft über die anatomische Lokalisation der Fraktur(en). Daher könnte eine Etablierung einer Mehrfach-Klassifizierung in Zukunft eine Hilfe bei der Behandlungsplanung sein und somit ein besseres Ergebnis für den Patienten bedeuten.

Darüber hinaus wurde die Verteilung der Frakturen nach der AO-Klassifikation untersucht. Kerschbaum et. al. erzielten in ihrer Untersuchung sehr ähnliche Ergebnisse zu unseren. Auch hier waren anteilmäßig die C3-Frakturen am häufigsten vertreten, die C2-Frakturen am seltensten und an vorletzter Stelle standen die C1-Frakturen. Kleine Unterschiede zeigten sich in der Verteilung der Frakturen der Klasse B, jedoch waren diese gering (Kerschbaum et al., 2021). Im Kontrast dazu ist eine Studie erwähnenswert, bei welcher B2- und C1-Frakturen jeweils knapp ein Drittel der Tibiakopffrakturen ausmachten. Darauf folgten die B3- und C3-Frakturen. Die kleinsten Gruppen waren die der C2- und B1-Frakturen (Krause et al., 2016). Diese Verteilung ist nahezu gegensätzlich zu der vorliegenden Kohorte und der zuvor erläuterten Studie (s. Abb. 30). Dies könnte zum einen damit zusammenhängen, dass die Interraterreliabilität wie oben erwähnt, bei der AO-Klassifikation eher gering und somit nicht gut untereinander vergleichbar ist. Andererseits ist es vorstellbar, dass sich die Verteilung der Frakturklassen je nach Krankenhaus, Land oder Region unterscheiden.



**Abb. 30:** Balkendiagramm zur Verteilung der Frakturklassen der Tibiakopffrakturen nach AO-Trauma in dieser Studie, bei Kerschbaum et. al. und Krause et. al. in Prozent (Kerschbaum et al., 2021; Krause et al., 2016)

Es bestätigte sich, dass bei schwerwiegenderen Frakturen nach AO mehr Segmente nach der 10SK frakturiert waren ( $r=0,508$ ;  $p<0,001$ ). Das zeigt, dass beide Klassifikationssysteme korrespondierend gut anwendbar sind.

Ähnliche Untersuchungen ließen sich in der Literatur nicht finden, allerdings untersuchten Krause et al. die Häufigkeiten der jeweiligen Segmentbeteiligungen jeweils bei C- und bei B-Frakturen. Nach den Erkenntnissen der Autoren, zeigte sich bei Frakturen der Klasse B besonders häufig eine Beteiligung der lateralen Tibiakopfsegmente (88,8 %). Die zentralen und medialen Segmente waren eher seltener beteiligt (unter 30 %). Bei den Frakturen der Klasse C waren alle Segmente häufig beteiligt, besonders jedoch die posterior-zentral-lateralen, gefolgt von den anterior-zentral-lateralen Segmenten (Krause et al., 2016). Diese Ergebnisse wurden nicht nach statistischer Signifikanz untersucht. Allerdings lässt die Beteiligung der lateralen Segmente bei fast allen Typ B Frakturen nach AO-Trauma vermuten, dass nähere Untersuchungen interessant wären, besonders in

Bezug darauf, in welchem Maße sich von der AO-Trauma-Klasse Rückschlüsse auf die beteiligten Segmente des Tibiaplateaus ziehen ließen. Diese Erkenntnisse könnten hilfreich bei der Entscheidung des Operationszugangs sein.

#### 4.2 Diskussion der Methodik

Die erhobenen Daten für diese Studie stammen aus dem Patientenkollektiv eines Maximalversorgerkrankenhauses mit Status eines überregionalen Traumazentrums. Ein Selektionsbias könnte in dem Sinne entstanden sein, dass in einem Krankenhaus der Maximalversorgung eher schwerer verletzte Patienten behandelt werden als in kleineren, peripheren Krankenhäusern. Dadurch könnten insbesondere die schweren Frakturtypen überrepräsentiert sein. Insbesondere, weil in dieser Studie nur Patienten untersucht wurden, die aufgrund ihrer Verletzung stationär behandelt werden mussten. So wurden also insbesondere schwergradigere Verletzungen untersucht. Andererseits ist die Patientenkohorte, insbesondere für die Tibiakopffrakturen, mit 130 Patienten groß genug, um eine gute Repräsentation gewährleisten zu können. Die Kohorte der distalen Femurfrakturen fiel unter anderem aufgrund der allgemeinen Seltenheit dieser Fraktur eher klein aus, wodurch die Aussagekraft der Ergebnisse diese Fraktur betreffend kleiner ausfällt.

Ein möglicher limitierender Faktor für die direkte Verletzungszuordnung zu einem kleinteilig entschlüsselten Traumamechanismus ist die gewählte Einteilung der Unfalltypen im Studiendesign, die aufgrund der Anlehnung an die S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletztenversorgung Verkehrsunfälle lediglich in die Gruppen über und unter 30 km/h Geschwindigkeitsdifferenz unterteilt, wodurch die Differenzierung in Unfälle als PKW-Insasse, Unfälle als Fahrradfahrer, Motorradfahrer oder Fußgänger vernachlässigt wird. Hintergrund der gewählten Unterteilung in der Leitlinie ist die Orientierung an der Aktivierung eines Schockraumteams. Dabei wird, bezieht man sich allein auf den Unfallmechanismus, lediglich das Geschwindigkeitsdelta des Verkehrsunfalls beachtet. Eine präzisere Unterteilung der Verkehrsunfälle hätte gegebenenfalls eine genauere Zuordnung der Unfallmechanismen zu bestimmten Frakturtypen ermöglicht und so eine umso bessere Ableitung vom Unfallmechanismus

zum jeweiligen Frakturtypen ermöglicht, aber auch zu statistisch gegebenenfalls nicht verwertbaren Kleingruppen geführt.

Eine retrospektive angelegte Studie wie die vorliegende hat stets den Nachteil, dass festgestellte Zusammenhänge nicht auf ihre Kausalität beurteilt werden können. Um eine tatsächliche Kausalität feststellen zu können, bedarf es weiterer Untersuchungen mit anderen Studientypen. Außerdem könnten gefundene Zusammenhänge möglicherweise durch einen noch nicht ermittelten Confounder mitverursacht sein, was ebenfalls eine Limitation der Studie ist. Ein weiterer Nachteil dieser Methodik sind teils unvollständige Daten in den Patientenakten, wodurch viele Patienten trotz passender Diagnose ausgeschlossen werden mussten, sodass sich die Kohorte verkleinerte. Weitere mögliche Fehlerquellen könnten fehlerhafte Angaben in den Patientenakten sein, die sich aufgrund des retrospektiven Studiendesigns nicht mehr nachvollziehen lassen.

## 5. Zusammenfassung

Kniegelenksnahe Frakturen stellen insgesamt eine seltene, aber aufgrund ihrer häufig schwerwiegenden und komplizierten Ausprägung eine klinisch höchst relevante Verletzung des Bewegungsapparates dar. Ziel dieser Arbeit war es, herauszufinden, ob sich aus dem zur Verletzung führenden Unfallmechanismus ein bestimmtes Verletzungsmuster schlussfolgern lässt.

Ein interessantes Ergebnis dieser Untersuchung ist die Diskrepanz zwischen Unfall- und Verletzungsschwere. So war die Verletzung nicht zwangsweise schwerer, je mehr Energie bei dem Unfallmechanismus auf den Patientenkörper einwirkte.

So war das Risiko, bei einem hochenergetischen Unfall eine mehrfragmentäre Typ C-Fraktur (OR=0,9) der Patella anstatt einer B-Verletzung (OR=3,51) zu erleiden, wesentlich geringer.

Ähnliche Zusammenhänge fanden sich auch bei den Tibiakopffrakturen. Hier waren bei niederenergetischen Unfällen signifikant mehr Segmente frakturiert ( $4,71 \pm 2,138$ ) als bei hochenergetischen Unfällen ( $2,25 \pm 0,5$ ;  $p=0,042$ ). Interessant ist außerdem, dass bei Hochrasanzunfällen signifikant häufig laterale Segmente des Tibiaplateaus frakturiert waren ( $0,048$ ,  $r=0,15$ ).

Zur Güte der Klassifikationssysteme lässt sich festhalten, dass die Inter- und Intraraterreliabilität sowohl für die 10SK als auch für die AO-Trauma-Klassifikation mit wachsender Berufserfahrung des Untersuchers ansteigt ( $p=0,009$ ). Darüber hinaus erzielten Fachärzte insgesamt ein höheres Kappa für die 10SK als für die Einordnung der Frakturen in die AO-Trauma-Klassifikation ( $p=0,043$ ).

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen somit, dass die Verletzungsausprägung nicht linear mit der Unfallschwere korrelieren muss. In Bezug auf die Diagnostik und Therapie könnte diese Erkenntnis hilfreich sein, indem die Behandelnden berücksichtigen, dass auch bei einem niederenergetischen Unfallmechanismus eine nicht primär erwartbare höherwertige kniegelenksnahe Fraktur vorliegen kann. Entsprechend muss neben der klinischen Untersuchung die apparative, bildgebende Diagnostik fokussiert angewendet werden. Dies gilt insbesondere bei geriatrischen Patienten.

## 6. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Knöchernes Kniegelenk, links von ventral und rechts von dorsal	11
Abbildung 2: Transversalschnitt durch das Kniegelenk. Blick von oben (kranial) auf das Tibiaplateau	12
Abbildung 3: AO-Trauma-Klassifikation der distalen Femurfrakturen	15
Abbildung 4: AO-Trauma-Klassifikation der proximalen Tibiafrakturen	16
Abbildung 5: AO-Trauma-Klassifikation der Patellafrakturen	16
Abbildung 6: Zehn-Segmente-Klassifikation proximaler Tibiafrakturen	17
Abbildung 7: Flowchart zur Vorgehensweise bei der Datenerhebung	22
Abbildung 8: Balkendiagramm zur Verteilung der UT der distalen Femurfrakturen	27
Abbildung 9: Balkendiagramm zur Verteilung der Frakturklassen der distalen Femurfrakturen nach AO-Trauma in absoluten Zahlen	28
Abbildung 10: Balkendiagramm zur Verteilung der Unfalltypen der Patellafrakturen	29
Abbildung 11: Balkendiagramm zur Aufteilung der Patellafrakturen in Niedrig- und Hochrasanztraumen	30
Abbildung 12: Relative Häufigkeit der jeweiligen Frakturklassen der Patellafrakturen nach AO-Trauma in Prozent	31
Abbildung 13: Balkendiagramm zum Risiko (Odds-Ratio) einer Patellafraktur bei einem Hochrasanztrauma nach der AO-Trauma-Klassifikation	32
Abbildung 14: Streudiagramm zum Zusammenhang zwischen BMI und Anzahl beteiligter Segmente nach der 10SK	33
Abbildung 15: Balkendiagramm zur Verteilung der Unfalltypen der Tibiakopffrakturen	34
Abbildung 16: Balkendiagramm zur Segmentbeteiligung von Tibiakopffrakturen nach der 10SK	35
Abbildung 17: Balkendiagramm zur Segmentbeteiligung der Tibiakopffrakturen	36
Abbildung 18: Balkendiagramm mit Fehlerbalken zum Zusammenhang zwischen Unfalltyp und der Anzahl der betroffenen Segmente nach der 10SK	37
Abbildung 19: Balkendiagramm zur Interraterreliabilität der AO-Trauma-Klassifikation	38
Abbildung 20: Balkendiagramm zur Intraraterreliabilität der AO-Trauma-Klassifikation	39
Abbildung 21: Balkendiagramm zur Interraterreliabilität der 10SK	40
Abbildung 22: Balkendiagramm zur Intraraterreliabilität der 10SK	40

Abbildung 23: Balkendiagramm zum direkten Vergleich der Interraterreliabilität der 10SK und AO-Trauma-Klassifikation	41
Abbildung 24: Balkendiagramm zur Wahl des OP-Zugangs nach Zuordnung in die AO-Trauma-Klassifikation bzw. in die 10SK in Prozent	42
Abbildung 25: Balkendiagramm mit Fehlerbalken zum Zusammenhang zwischen der Glucocorticoideinnahme und der Anzahl der betroffenen Segmente nach der 10SK	43
Abbildung 26: Balkendiagramm zur Verteilung der Frakturtypen der Tibiakopffrakturen nach AO-Trauma	44
Abbildung 27: Balkendiagramm mit Fehlerbalken zum Zusammenhang zwischen AO-Trauma-Klassifikation und der Anzahl der betroffenen Segmente nach der 10SK	44
Abbildung 28: Balkendiagramm zur Verteilung der Frakturklassen der distalen Femurfraktur nach AO-Trauma zwischen dieser Studie, Elsoe et. al. und Pietu et. al.	47
Abbildung 29: Balkendiagramm zur Verteilung der Frakturklassen der Patellafrakturen nach AO-Trauma in verschiedenen Studien	49
Abbildung 30: Balkendiagramm zur Verteilung der Frakturklassen der Tibiakopffrakturen nach AO-Trauma in dieser Studie, bei Kerschbaum et. al. und Krause et. al.	57

## 7. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Demografische Daten zu den untersuchten Frakturarten	20
Tabelle 2: Tabelle zum Vergleich der Verteilung der Unfalltypen der Patellafrakturen in verschiedenen Studien;	48
Tabelle 3: Vergleich der Verteilung der Unfalltypen der Tibiakopffrakturen in Prozent in dieser Kohorte, den Kohorten von Oladeji et al., Albuquerque et al. und Elsoe et al.	50
Tabelle 4: Vergleich der Segmentbeteiligung der Ergebnisse dieser Studie mit den Ergebnissen von Krause et. al. in Prozent	53

## 8. Literaturverzeichnis

- Abdel-Hamid MZ, Chang C-H, Chan Y-S, Lo Y-P, Huang J-W, Hsu K-Y, et al. Arthroscopic Evaluation of Soft Tissue Injuries in Tibial Plateau Fractures: Retrospective Analysis of 98 Cases. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg*, 2006; 22: 669–675
- Al-Balbissi AH. Role of Gender in Road Accidents. *Traffic Inj Prev*, 2003; 4: 64–73
- Albuquerque RPE, Hara R, Prado J, Schiavo L, Giordano V, Amaral NPD. Epidemiological study on tibial plateau fractures at a level I trauma center. *Acta ortop Bras*, 2013; 21: 109–115
- Atkinson T, Atkinson P. Knee injuries in motor vehicle collisions: a study of the National Accident Sampling System database for the years 1979–1995. *Accid Analysis Prev*, 2000; 32: 779–786
- Bartl C, Brinkmann J-M, Flörkemeier S, Galla M, Gebhard F, Heerwaarden R van, et al. Kniegelenknahe Osteotomien. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG, 2014
- Bengner U, Johnell O, Redlund-Johnell I. Increasing incidence of tibia condyle and patella fractures. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 1986; 57: 334–336
- Berninger MT, Schüttrumpf J-P, Krause M. Tibiakopffrakturen S2k-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie e.V. (DGOU) Deutschen Kniegesellschaft. AWMF online, 2021; 1: 1–34
- Booth AL, Nolen P. Gender differences in risk behaviour: does nurture matter?\*. *Econ J*, 2012; 122: 56–78
- Byun S-E, Sim J-A, Joo YB, Kim JW, Choi W, Na YG, et al. Changes in patellar fracture characteristics: A multicenter retrospective analysis of 1596 patellar fracture cases between 2003 and 2017. *Inj*, 2019; 50: 2287–2291
- Charalambous CP, Tryfonidis M, Alvi F, Moran M, Fang C, Samarji R, et al. Inter- and Intra-Observer Variation of the Schatzker and AO/OTA Classifications of Tibial Plateau Fractures and a Proposal of a New Classification System. *Ann Royal Coll Surg Engl*, 2007; 89: 400–404
- Colletti P, Greenberg H, Terk MR. MR findings in patients with acute tibial plateau fractures. *Comput Med Imag Grap*, 1996; 20: 389–394

Dohmen T, Falk A, Huffman D, Sunde U, Schupp J, Wagner GG. Individual Risk Attitudes: New Evidence from a Large, Representative, Experimentally-Validated Survey. *SSRN Electron J*, 2005; 9: 522–550

Elsoe R, Ceccotti AA, Larsen P. Population-based epidemiology and incidence of distal femur fractures. *Int Orthop*, 2018; 42: 191–196

Elsoe R, Larsen P, Nielsen NPH, Swenne J, Rasmussen S, Ostgaard SE. Population-Based Epidemiology of Tibial Plateau Fractures. *Orthopedics*, 2015; 38: 780–786

Faul F, Erdfelder E, Lang A-G, Buchner A. G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods*, 2007; 39: 175–191

Fildes B, Lenard J, Lane J, Vulcan P, Seyer K. Lower limb injuries to passenger car occupants. *Accid Analysis Prev*, 1997; 29: 785–791

Flandry F, Hommel G. Normal Anatomy and Biomechanics of the Knee. *Sports Med Arthrosc*, 2011; 19: 82–92

Gicquel T, Najihi N, Vendevre T, Teyssedou S, Gayet L-E, Hutten D. Tibial plateau fractures: Reproducibility of three classifications (Schatzker, AO, Duparc) and a revised Duparc classification. *Orthop Traumatology Surg Res*, 2013; 99: 805–816

Goldblatt JP, Richmond JC. Anatomy and biomechanics of the knee. *Oper Techn Sport Med*, 2003; 11: 172–186

Haasper C, Otte D, Knobloch K, Probst C, Board TN, Krettek C, et al. Knee Injuries in Restrained Car Drivers in German Road Traffic Accidents. *J Trauma Inj Infect Critical Care*, 2008; 65: 136–141

Jackson R, Mysiw W. Insights into the Epidemiology of Postmenopausal Osteoporosis: The Women's Health Initiative. *Semin Reprod Med*, 2014; 32: 454–462

Kannus P, Niemi S, Palvanen M, Parkkari J, Pasanen M, Järvinen M, et al. Continuously Rising Problem of Osteoporotic Knee Fractures in Elderly Women: Nationwide Statistics in Finland 1970-1999 and Predictions Until the Year 2030. *Bone*, 2001; 29: 419–423

Kannus P, Parkkari J, Niemi S, Sievänen H. Low-trauma knee fractures in older Finnish women between 1970 and 2013. *Aging Clin Exp Res*, 2016; 28: 665–668

Kapandji IA. *Funktionelle Anatomie der Gelenke*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG, 2009

Kellam JF, Meinberg EG, Agel J, Karam MD, Roberts CS. Fracture and Dislocation Classification Compendium. *Journal Of Orthopedic Trauma*, 2018; 32: 40–52

Kerschbaum M, Tyczka M, Klute L, Heller MT, Koch M, Popp D, et al. The Tibial Plateau Map: Fracture Line Morphology of Intra-Articular Proximal Tibial Fractures. *Biomed Res Int*, 2021; 2021: 1–6

Kolmert L, Wulff K. Epidemiology and Treatment of Distal Femoral Fractures in Adults. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 1982; 53: 957–962

Krause M, Hubert J, Deymann S, Hapfelmeier A, Wulff B, Petersik A, et al. Bone microarchitecture of the tibial plateau in skeletal health and osteoporosis. *Knee*, 2018; 25: 559–567

Krause M, Preiss A, Müller G, Madert J, Fehske K, Neumann MV, et al. Intra-articular tibial plateau fracture characteristics according to the “Ten segment classification”. *Inj*, 2016; 47: 2551–2557

Landis JR, Koch GG. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 1977; 33: 159–174

Lane NE. Epidemiology, etiology, and diagnosis of osteoporosis. *Am J Obstet Gynecol*, 2006; 194: 3–11

Larsen P, Court-Brown CM, Vedel JO, Vistrup S, Elsoe R. Incidence and Epidemiology of Patellar Fractures. *Orthopedics*, 2016; 39: 1–5

LeBreton JM, Senter JL. Answers to 20 Questions About Interrater Reliability and Interrater Agreement. *Organ Res Methods*, 2008; 11: 815–852

Loudon JK. Biomechanics and Pathomechanics of the Patellofemoral Joint. *The International Journal of Sports Physical Therapy*, 2016; 11: 820–830

Mcleod WD, Moschi A, Andrews JR, Hughston JC. Tibial plateau topography. *Am J Sports Medicine*, 1977; 5: 13–18

Millán-Billi A, Gómez-Masdeu M, Ramírez-Bermejo E, Ibañez M, Gelber PE. What is the most reproducible classification system to assess tibial plateau fractures? *Int Orthop*, 2017; 41: 1251–1256

Morfitt JM. Falls in old people at home: Intrinsic versus environmental factors in causation. *Public Heal*, 1983; 97: 115–120

Moriggl B. *Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG, 2014

Oladeji L, Worley J, Crist B. Age-Related Variances in Patients with Tibial Plateau Fractures. *J Knee Surg*, 2019; 33: 611–615

Pietu G, Lebaron M, Flecher X, Hulet C, Vandebussche E, SOFCOT. Epidemiology of distal femur fractures in France in 2011–12. *Orthop Traumatology Surg Res*, 2014; 100: 545–548

Rixen D, Steinhausen E, Dahmen J, Bouillon B, (DGU) GS of TS. S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung. *Unfallchirurg*, 2012; 115: 22–29

Rubenstein LZ, Josephson KR. The epidemiology of falls and syncope. *Clin Geriatr Med*, 2002; 18: 141–158

Rupp M, Walter N, Pfeifer C, Lang S, Kerschbaum M, Krutsch W, et al. The incidence of fractures among the adult population of Germany. *Deutsches Ärzteblatt Int*, 2021; 40: 665–669

Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K. Prometheus LernAtlas der Anatomie, Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG, 2014

Thein R, Hershkovich O, Gordon B, Burstein G, Tenenbaum S, Derazne E, et al. The Prevalence of Cruciate Ligament and Meniscus Knee Injury in Young Adults and Associations with Gender, Body Mass Index, and Height a Large Cross-Sectional Study. *J Knee Surg*, 2016; 30: 565–570

Vangsness CT, Ghaderi B, Hohl M, Moore TM. Arthroscopy of Meniscal Injuries with Tibial Plateau Fractures. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 1994; 76: 488–490

Vestergaard V, Pedersen AB, Tengberg PT, Troelsen A, Schrøder HM. 20-year trends of distal femoral, patellar, and proximal tibial fractures: a Danish nationwide cohort study of 60,823 patients. *Acta Orthop*, 2019; 91: 1–6

Yao P, Liu Y, Shan L, Zhao Y, Wang D, He Y, et al. Intra- and inter-observer reliability assessment of widely used classifications and the “Ten-segment classification” of tibial plateau fractures. *Knee*, 2022; 35: 149–156

Zhu Y, Liu S, Chen W, Wang L, Zhang X, Zhang Y. Socioeconomic factors and individual lifestyles influencing the incidence of patella fractures: a national population-based survey in China. *Int Orthop*, 2019; 43: 687–695