

**BG Unfallklinik Tübingen**  
**Unfall- und Wiederherstellungschirurgie**

**Klassifikation und Prophylaxe von heterotopen  
Ossifikationen nach Ellenbogentraumata**

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität  
zu Tübingen**

**vorgelegt von**

**Leyder, Diane**

**2022**

Dekan: Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter: Privatdozent Dr. S. Döbele

2. Berichterstatter: Professor Dr. N. Wülker

Tag der Disputation: 05.09.2022

# Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1	Definition	1
1.2	Prävalenz	1
1.3	Klassifikationen	1
1.4	Klinik	2
1.5	Untersuchung und Diagnostik	3
1.5.1	Laboruntersuchung	3
1.5.2	Bildgebende Diagnostik	3
1.6	Pathophysiologie	4
1.7	Therapie	5
1.7.1	Prävention	5
1.8	Der Ellenbogen	9
1.8.1	Anatomie	9
1.8.2	Ellenbogentraumata	9
1.9	Zielsetzung der Arbeit:	14
2	Material und Methoden	15
2.1	Kollektiv	15
2.2	Methodik	15
2.3	Etablierung einer Klassifikation	16
2.4	Einteilung des Verletzungsmechanismus	19
2.5	Statistische Methoden	20
2.5.1	Auswertung	20
3	Ergebnisse	21
3.1	Deskriptive Statistik	21
3.1.1	Patientinnen und Patientenkollektiv	21
3.1.2	Verletzungen	21
3.1.3	Zeitspanne bis zur operativen Therapie	23
3.1.4	Prophylaxe	23

3.1.5	Heterotope Ossifikationen	24
3.1.6	Unfallmechanismus	26
3.2	Schließende Statistik	30
3.2.1	Hypothese 1	30
3.2.2	Hypothese 2	44
4	Diskussion	56
4.1	Zusammenfassung der Hauptergebnisse	56
4.2	Diskussion der Methoden	56
4.2.1	Patientinnen und Patientenkollektiv	56
4.2.2	Auswertung	57
4.2.3	Klassifikation	59
4.2.4	Angewandte Statistik	60
4.3	Diskussion der Ergebnisse	61
4.3.1	Ossifikationen	61
4.3.2	Ossifikationsprophylaxe	62
4.3.3	Unfallmechanismus	63
4.4	Ausblick	64
5	Zusammenfassung	66
6	Literaturverzeichnis	67
7	Erklärungen zum Eigenanteil	71

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2: Röntgenbilder eines 32 Jahre alten Patienten nach Ellenbogenluxation	18
Abbildung 3: Röntgenbilder einer 63 Jahre alten Patientin nach Ellenbogenluxation	19
Abbildung 4: Altersverteilung	21
Abbildung 5: Darstellung des Traumamechanismus	22
Abbildung 6: Darstellung der verletzten Struktur	22
Abbildung 7: Zeitpunkt des Unfalles bis zur operativen Versorgung	23
Abbildung 8: Medikamentöse Prophylaxe	24
Abbildung 9: HO Einteilung gemäß neuer Klassifikation nach 6 Wochen	25
Abbildung 10: HO Einteilung gemäß neuer Klassifikation nach 12 Wochen	26
Abbildung 11: HO Einteilung gemäß neuer Klassifikation nach 6 Monaten	26
Abbildung 12: HO Einteilung gemäß neuer Klassifikation nach 6 Wochen aufgeteilt nach Traumamechanismus	28
Abbildung 13: HO Einteilung gemäß neuer Klassifikation nach 12 Wochen aufgeteilt nach Traumamechanismus	29
Abbildung 14: HO Einteilung gemäß neuer Klassifikation nach 6 Monaten aufgeteilt nach Traumamechanismus	29
Abbildung 15: HO Einteilung in Bezug auf den Erhalt einer Ossifikationsprophylaxe nach 6 Wochen	31
Abbildung 16: HO Einteilung in Bezug auf den Erhalt einer Ossifikationsprophylaxe nach 12 Wochen	33
Abbildung 17: HO Einteilung in Bezug auf den Erhalt einer Ossifikationsprophylaxe nach 6 Monaten	34
Abbildung 18: HO Einteilung in Bezug auf die erhaltene Ossifikationsprophylaxe nach 6 Wochen	36
Abbildung 19: HO Einteilung in Bezug auf die erhaltene Ossifikationsprophylaxe unter Ausschluss von Etoricoxib und Celecoxib nach 6 Wochen	38
Abbildung 20: HO Einteilung in Bezug auf die erhaltene Ossifikationsprophylaxe nach 12 Wochen	40

Abbildung 21: HO Einteilung in Bezug auf die erhaltene Ossifikationsprophylaxe unter Ausschluss von Etoricoxib und Celecoxib nach 12 Wochen	42
Abbildung 22: HO Einteilung in Bezug auf die erhaltene Ossifikationsprophylaxe nach 6 Monaten	43
Abbildung 23: HO Einteilung in Bezug auf den erlittenen Traumamechanismus nach 6 Wochen	45
Abbildung 24: HO Einteilung in Bezug auf den erlittenen Traumamechanismus nach 12 Wochen	47
Abbildung 25: HO Einteilung in Bezug auf den erlittenen Traumamechanismus nach 6 Monaten	49
Abbildung 26: HO Einteilung in Bezug auf den erlittenen Traumamechanismus unter Ausschluss der Bänderverletzung nach 6 Wochen	51
Abbildung 27: Darstellung der Häufigkeit von der Ausbildung oder Ausbleiben von HO in Bezug auf den erlittenen Traumamechanismus nach 12 Wochen	53
Abbildung 28: Darstellung der Häufigkeit von der Ausbildung oder Ausbleiben von HO in Bezug auf den erlittenen Traumamechanismus nach 6 Monaten	55

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: HO Klassifikation	17
Tabelle 2: Medikamentöse Prophylaxe	24
Tabelle 3: HO Ausbildung bei Ellenbogenverletzungen	25
Tabelle 4: Häufigkeiten der HO eingeteilt gemäß der neuen Klassifikation in Abhängigkeit einer erhaltenen Ossifikationsprophylaxe nach 6 Wochen	30
Tabelle 5: Chi <sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 4	31
Tabelle 6: Häufigkeit von HO und deren Einteilung in Bezug auf den Erhalt oder nicht Erhalt einer Ossifikationsprophylaxe nach 12 Wochen	32
Tabelle 7: Chi <sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 6	32

Tabelle 8: Häufigkeit von HO und deren Einteilung in Bezug auf den Erhalt oder nicht Erhalt einer Ossifikationsprophylaxe nach 6 Monaten	33
Tabelle 9: Chi <sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 8	34
Tabelle 10: Häufigkeit von HO und deren Schweregrad in Bezug auf die erhaltene Ossifikationsprophylaxe nach 6 Wochen	35
Tabelle 11: Chi <sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 10	36
Tabelle 12: Häufigkeit von HO und deren Einteilung in Bezug auf die erhaltene Ossifikationsprophylaxe unter Ausschluss von Etoricoxib und Celecoxib nach 6 Wochen	37
Tabelle 13: Chi <sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 12	37
Tabelle 14: Kreuztabelle zur Darstellung der Häufigkeit von HO und deren Einteilung in Bezug auf die erhaltene Ossifikationsprophylaxe nach 12 Wochen	39
Tabelle 15: Chi <sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 14	39
Tabelle 16: Kreuztabelle zur Darstellung der Häufigkeit von HO und deren Einteilung in Bezug auf die erhaltene Ossifikationsprophylaxe unter Ausschluss von Etoricoxib und Celecoxib nach 12 Wochen	41
Tabelle 17: Chi <sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 16	41
Tabelle 18: Kreuztabelle zur Darstellung der Häufigkeit von HO und deren Einteilung in Bezug auf die erhaltene Ossifikationsprophylaxe nach 6 Monaten	42
Tabelle 19: Chi <sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 18	43
Tabelle 20: Häufigkeit von HO und deren Schweregrad in Bezug auf die erlittene Verletzung nach 6 Wochen	44
Tabelle 21: Chi <sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 20	45

Tabelle 22: Häufigkeit des HO Schweregrad in Bezug auf die erlittenen Verletzung nach 12 Wochen	46
Tabelle 23: Chi <sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 22	46
Tabelle 24: Häufigkeit von HO und deren Einteilung in Bezug auf den erlittenen Traumamechanismus nach 6 Monaten	48
Tabelle 25: Chi <sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 24	48
Tabelle 26: Darstellung der Häufigkeit von HO und deren Einteilung in Bezug auf den erlittenen Traumamechanismus unter Ausschluss der isolierten Bänderverletzungen nach 6 Monaten	50
Tabelle 27: Chi <sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 26	51
Tabelle 28: Darstellung der Häufigkeit von der Ausbildung oder Ausbleiben von HO in Bezug auf den erlittenen Traumamechanismus nach 12 Wochen	52
Tabelle 29: Chi <sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 28	52
Tabelle 30: Tabelle 31: Darstellung der Häufigkeit von der Ausbildung oder Ausbleiben von HO in Bezug auf den erlittenen Traumamechanismus nach 6 Monaten	54
Tabelle 32: Chi <sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 30	54



## Abkürzungsverzeichnis

a	Anterior
a.p.	Anterior-Posterior
ACVR1	Aktivin Type-1 Rezeptor
AMCL	Anteromediale Kollateralband
AO	Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese
AP	Alkalische Phosphatase
Art	Articulatio
BGU	Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik
BMP	Bone Morphogenic Protein
COX	Cyclooxygenase
CT	Computertomografie
FOP	Fibrodysplasia Ossifikans Progressiva
Gy	Gray
HIF	Hypoxia-inducible Factor
HO	Heterotope Ossifikationen
ICD	International Classification of Diseases
KIS	Krankenhausinformationssystem
Lig.	Ligamentum
LUCL	Laterale ulnare Kollateralband
MRT	Magnetresonanztomografie
N	Anzahl
NSAR	Nicht steroidale Antirheumatika
p	Posterior
Proc.	Processus

r	Radial
ROM	Range-of-Motion
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
TGF	Transforming Growth Faktor
u	Ulnar
VEGF	Vascular Endothelial Growth Factor

# 1. Einleitung

Heterotope Ossifikationen (HO) sind benigne Knochenneubildung im Weichteilgewebe, die als Folge eines Traumas auftreten können. Schwerwiegende Formen im Gelenkbereich können hierbei zu einer erheblichen Funktionseinschränkung von diesem führen.

## 1.1 Definition

Unter HO versteht man eine Neuentstehung von Lamellenknochen im Weichteilgewebe. Diese bilden sich vorwiegend posttraumatisch nach Verbrennungen, neurologischen Erkrankungen wie Schädelhirntrauma und Rückenmarksverletzungen oder nach knöchernen Verletzungen und Operationen (Vanden Bossche and Vanderstraeten, 2005). Erstmals wurden die HO bei verwundeten Soldaten nach Explosionstrauma im Ersten Weltkrieg beschrieben (Hoyt *et al.*, 2018).

## 1.2 Prävalenz

Die Prävalenz von HO zeigt eine große Varianz von 10-20 % nach Schädelhirntrauma oder Rückenmarksverletzungen, 20 % nach Unterarmfrakturen, bis zu 52 % nach Femurfrakturen, Hüfttotalendoprothesen oder Acetabulumfrakturen sowie bis zu 60 % nach schweren Verbrennungen (Dey *et al.*, 2017). Bezüglich des Ellenbogens kommt es in bis zu 29% nach Luxationsfrakturen zu HO (Roberts, 1969). Der Unfallmechanismus, die Länge der Immobilisation, die Größe der verbrannten Körperoberfläche, die Entwicklung einer Spastik sowie das Geschlecht spielen eine Rolle (Ranganathan *et al.*, 2015).

## 1.3 Klassifikationen

Als Klassifikation hat sich die Brooker Klassifikation durchgesetzt, welche sich auf die Verkalkungen im periartikulären Gewebe der Hüfte bezieht (Brooker *et*

*al.*, 1973). Diese enthält 5 Kategorien. Grad 0 beschreibt keine HO. Grad 1 beschreibt eine Verknöcherung im Bindegewebe, Grad 2 beschreibt eine Verknöcherung vom Becken oder Trochanter major ausgehend mit einem dazwischen liegenden Abstand von >1 Zentimeter. Grad 3 beschreibt Gleiches wie unter 2 mit einem Abstand < 1 Zentimeter und Grad 4 zeigt eine gelenküberbrückende Knochenspanne. Bei der Brooker Klassifikation wird ein Röntgenbild im anterior-posterioren Strahlengang berücksichtigt, ohne eine zweite Ebene im Röntgen oder die Bewegungseinschränkung des Hüftgelenkes mit einzubeziehen. Daher gab es in den letzten Jahren mehrfache Abwandlungen der Brooker Klassifikation, welche versuchten die oben genannten Aspekte mit einzubeziehen. Etwaig vorbestehende Osteophyten oder sonstige knöcherne Deformitäten sollten nicht als HO fehlinterpretiert werden.

In der Literatur wird die Brooker Klassifikation oft auch für periartikuläre Ossifikationen in anderen Körperregionen verwendet, wobei diese ursprünglich für das Hüftgelenk konzipiert wurde. Für den Ellenbogen haben Hastings und Graham eine eigene Klassifikation der HO entwickelt, bei der die Funktionalität im Vordergrund steht und die radiologische Diagnostik nur die Präsenz oder die Abwesenheit von HO mit einbezieht (Hastings and Graham, 1994).

#### 1.4 Klinik

Die HO kann sehr unterschiedliche klinische Symptome hervorrufen, welche von einem radiologischen Zufallsbefund mit kompletter Symptommfreiheit bis zur vollständigen Ankylose eines Gelenkes reichen kann. Das Erkennen der HO kann initial erschwert sein, da die Symptome oft zunächst unspezifisch sind. Die ersten klinischen Anzeichen mit Rötung, Überwärmung, Schmerzen und beginnender Bewegungseinschränkung können bereits 3 Wochen nach dem zugrunde liegenden Trauma beobachtet werden. Definitive Anzeichen zeigen sich meistens innerhalb der ersten 12 Wochen. Bei Rückenmarksverletzungen zeigen sich HO oft erst in den ersten 1-6 Monaten. Die vollständige Ausreifung des neu entstehenden Knochens benötigt bis zu 1,5 Jahren (Gautschi *et al.*, 2008).

## 1.5 Untersuchung und Diagnostik

### 1.5.1 Laboruntersuchung

In den laborchemischen Untersuchungen zeigen sich die Konzentration von Phosphat und Kalzium normwertig. Die knochenspezifische alkalische Phosphatase (AP) zeigt jedoch ab dem Zeitpunkt der Verletzung in den ersten 4 Wochen eine Erhöhung bis um das 3.5-fache, mit Ausbildung eines Spitzenwertes um die 12. Woche. Handelt es sich nur um eine milde Form der HO, können die Werte der knochenspezifischen AP auch im Normbereich verbleiben. Grundsätzlich eignet sich die Bestimmung der AP daher als Verlaufparameter. Da im Falle einer Fraktur oder bei Leberinsuffizienz der Wert jedoch fälschlich erhöht sein kann, ist die AP in diesen Fällen nicht aussagekräftig (Bossche and Vanderstraeten, 2005).

In einer durchgeführten Studie an Patientinnen und Patienten mit Rückenmarksverletzungen zeigte sich, dass die Bestimmung von Prostaglandin E2 im 24 Stunden-Sammelurin sowohl ein zuverlässiger Parameter für die Früherkennung als auch für das Monitoring des Behandlungserfolges dienen kann (Schurch *et al.*, 1997).

### 1.5.2 Bildgebende Diagnostik

Die frühzeitige Diagnostik ist oft der Schlüssel zu einer adäquaten Therapie. Die am häufigsten genutzten bildgebenden Technik zur Diagnostik der HO ist das konventionelle Röntgen. Hierbei zeigen sich nach 6 Wochen die ersten Zeichen von Verkalkungen im Bindegewebe, die auf eine HO hindeuten können. Im Frühstadium haben jedoch die meisten bildgebenden Verfahren nur eine niedrige Sensitivität. Rosteius et al. zeigten in ihrer Studie, dass die Ultraschalldiagnostik bei Querschnittpatientinnen und Patienten eine Sensitivität von bis zu 88.9 % als Screening Methode zeigte, bei denen eine HO anschließend mittels CT oder MRT bestätigt wurde. Jedoch sind diese Ergebnisse stark

untersuchungsabhängig und je nach Lokalisation der jeweiligen HO ist die Ultraschalldiagnostik nur begrenzt einsetzbar (Rosteijs *et al.*, 2017).

Zur Früherkennung ist die 3-Phasen Skelett Szintigrafie die Methode der Wahl, welche bereits 2-4 Wochen nach dem Trauma zu einer vermehrten Speicherung in Phase 1 und 2 führt und einen Hinweis auf eine HO geben kann. Die gefundenen Herde werden im konventionellen Röntgen durch eine zunehmende Verkalkung erst nach weiteren 1-4 Wochen ersichtlich. Die Spätphase zeigt eine zunehmende Radioisotopenaufnahme erst im Verlauf der Ausbildung der HO, welche sich 6-18 Monaten nach dem Trauma normalisiert (Gautschi *et al.*, 2008).

## 1.6 Pathophysiologie

Das aktuelle Verständnis für die HO kommt durch das Wissen aus dem Bereich der angeborenen Erkrankung Fibrodysplasia ossifikans progressiva (FOP). Hierbei kommt es spontan zu Ossifikationen im Bereich des gesamten Organismus. Dabei besteht eine erhöhte Aktivität des bone morphogenic protein (BMP), welches durch eine Kaskade den Aktivin type-1 Rezeptor (ACVR1) aktiviert und zu einer enchondralen Ossifikation führt. Obwohl sich bei der FOP und der HO ähnliche zelluläre Prozesse abspielen, konnte noch kein einheitlicher Kaskadenplan ermittelt werden (Pignolo, Shore and Kaplan, 2011).

Bei Geweben, welche am ehesten eine HO ausbilden können, konnte in vitro gezeigt werden, dass diese eine verlängerte oder überschüssige Entzündungsreaktion auf die Verletzung haben.

Neue Erkenntnisse zeigen, dass auch mesenchymale Stammzellen in die Ausbildung von HO involviert sind. Diese zeigen in den Untersuchungen eine erhöhte Expression von BMP-4, welche zu einer Gefäßproliferation und zu einer Knochenbildung führt (Lin *et al.*, 2011). BMP-4 stammt aus der Familie der TGF- $\beta$ . Es gibt mehr als 20 verschiedenen BMP Typen, wobei BMP-2 und 4 bei der Bildung von HO beteiligt sind. Werden diese aktiviert, kommt es zu einer erhöhten Genom-Transkription, Zelldifferenzierung, Proliferation und zu einer Erhöhung von osteogenetischen Faktoren. Die erhöhte Aktivität dieser Kaskade wurde bereits mehrfach bei Brandverletzungen nachgewiesen. Zusätzlich zu der BMP-

Kaskade zeigte sich eine Erhöhung von Retinoid-Rezeptoren sowie der Produktion von Hypoxia-inducible factor 1- $\alpha$  (HIF-1A), HIF-1B und VEGF, welche unter Hypoxie gebildet werden und ebenfalls an der Bildung von Knorpelzellen als Vorstufe für die HO eine Rolle spielen.

Insgesamt sind sicher noch sehr viele andere Zelltypen involviert, deren Zusammenspiel bis heute noch nicht vollständig verstanden ist. Die aktuelle Prophylaxe basiert weiterhin auf der Einnahme von NSAR und Bestrahlung, wobei neuere Therapieansätze gezielt versuchen, die Expression von HIF zu hemmen. Solche HIF-1A Inhibitoren könnten zum Beispiel gegen Angiogenese, Chondrogenese und Osteogenese helfen (Kluk *et al.*, 2012).

## 1.7 Therapie

Die therapeutischen Optionen bei einer ausgeprägten und abgelaufenen HO sind bis heute auf die chirurgische Exzision begrenzt und haben oft unbefriedigende Resultate. Der Fokus liegt demnach in der Früherkennung und in der Einleitung einer präventiven Therapie zur Verhinderung der Ausbildung einer HO.

### 1.7.1 Prävention

#### 1.7.1.1 Medikamentös

Entzündungshemmende Medikamente in Form von nicht steroidalen Antirheumatika (NSAR) werden am häufigsten zur Vorbeugung der HO eingesetzt. Die Wirkung der NSAR basiert auf zwei Prinzipien.

Zum einen hemmen NSAR die Differenzierung der mesenchymalen Stammzellen in den Vorläuferzellen der Osteoblasten. Zum anderen reduzieren NSAR die Produktion der pro-inflammatorischen Prostaglandinen, welche an der Ausbildung von HO mitbeteiligt sind.

Das am besten untersuchte NSAR zur Prophylaxe ist Indometacin. Eine Vielzahl von Studien zeigen die Effektivität zur Verhinderung von HO nach Hüfttotalendoprothetik (Joice, Vasileiadis and Amanatullah, 2018). Die Ossifikationsprophylaxe muss für mindestens 7-14 Tage eingenommen werden,

wobei ein früher Beginn unmittelbar nach der operativen Therapie oder nach dem etwaigen Trauma eine signifikante Verringerung der Ausbildung von HO vorwiegend bei den schwerwiegenderen eingestuften HO (> Brooker 3) zeigt (Ritter and Gioe, 1982).

Ibuprofen erzielte in durchgeführten Studien ebenfalls eine signifikante Verringerung der HO im Vergleich zur Placebo-Gruppe (Persson, Sodemann and Nilsson, 1998; Elmstedt *et al.*, 1985). In Bezug auf Diclofenac ist die Studienlage bis dato nicht aussagekräftig. Aufgrund des Wirkungsmechanismus ist jedoch von einer ähnlichen Wirksamkeit wie bei Indometacin auszugehen. Das Gleiche gilt für weitere NSAR wie Flurbiprofen, Tenoxicam, Naproxen und Acemetacin (Kölbl *et al.*, 2003).

Selektive Cyclooxygenase Hemmer in Form von Cox 2-Hemmern zeigen ein geringeres gastrointestinales Nebenwirkungsspektrum und können somit auch bei Patientinnen und Patienten eingesetzt werden, welche eine Kontraindikation für die Therapie mit herkömmlichen NSAR zeigen. Eine prophylaktische Wirkung konnte nachgewiesen werden, jedoch zeigte sich hier laut Studien eine signifikant geringere Wirksamkeit im Vergleich zu Indometacin (Barthel *et al.*, 2002).

In vitro zeigten Kortikosteroide in Form von Methylprednisolon ebenfalls vielversprechende Resultate am Maus-Model. Diese hemmen die Produktion der pro-inflammatorischen Faktoren, welche zu einer chronischen Entzündung führen, indem sie ihre Transkription blockieren. Jedoch muss auch hier das Nebenwirkungsprofil mit evaluiert werden (Vanden Bossche *et al.*, 2009).

#### 1.7.1.2 Bestrahlung

Die Bestrahlung ist eine effektive Prophylaxe gegen HO. Sie zeigt im Vergleich zu einer NSAR Einnahme ähnliche Resultate ohne statistisch signifikanten Unterschied. Ob die Bestrahlung präoperativ oder postoperativ durchgeführt wird, hat keinen signifikanten Einfluss auf die Prävalenz oder den Schweregrad der HO (Archdeacon *et al.*, 2014). Für den Zeitraum von 24 Stunden präoperativ und für 48 bis 72 Stunden postoperativ liegen Daten vor, die keinen Unterschied



in Bezug auf die Ausbildung einer HO zeigen. Eine Metaanalyse untersuchte den Effekt der prophylaktischen Bestrahlung im Bereich der Hüfte mit einer Dosis von 7 Gy. Hier zeigte sich, dass die Patientinnen und Patienten, die eine fraktionierte mehrfach Bestrahlung bekamen, signifikant weniger HO ausbildeten. Dies gilt jedoch nur für die Brooker Klassifikation 1 und 2. Für höhergradige HO mit Stadium 3 und 4 nach Brooker, konnte keine Signifikanz nachgewiesen werden. Bei mehrfacher Bestrahlung ist jedoch mit einem höheren Risiko in Bezug auf die möglichen Folgeschäden zu rechnen (Vavken, Castellani and Sculco, 2009; Milakovic *et al.*, 2015). Da es sich bei der Bestrahlung um ionisierende Strahlung handelt, besteht ein niedriges Risiko einer malignen Zellentartung, auch wenn die Bestrahlungsdosen unter 10 Gy liegen. Daher wird die Bestrahlung nur bei erhöhtem Risiko einer HO, bei Kontraindikationen zur medikamentösen Prophylaxe und bei einem Patientenalter > 50 Jahren eingesetzt.

#### 1.7.1.3 Operative Therapie

Nach Ausschluss differenzialdiagnostischer Ursachen und nach Ausschöpfung konservativer Therapiemöglichkeiten wie NSAR Gabe und Physiotherapie kommt die chirurgische Exzision infrage. Die chirurgische Resektion stellt bis heute die einzige kurative Therapieoption bei ausgereiften, symptomatischen HO dar (Hemm F *et al.*, 2019).

Über den Zeitpunkt der operativen Therapie zeigt sich weiterhin Uneinigkeit (Dey *et al.*, 2017). Eine Zeit lang war der Konsens zunächst abzuwarten, bis die Werte der AP sich normalisierten und sich die HO vollständig ausgebildet hatte, wobei es hierfür keine Evidenz gab (Nauth *et al.*, 2012). Aktuell zeigten mehrere Studien, dass Patientinnen und Patienten von einer frühzeitigen chirurgischen Intervention profitieren können, da die Resektion sich zu einem früheren Zeitpunkt meistens mit geringeren Komplikationsraten durchführen lässt und die Rehabilitation früher begonnen werden kann (McAuliffe and Wolfson, 1997). Das operative Vorgehen fordert eine adäquate Vorbereitung, bestenfalls mit einer präoperativen Computertomografie und einer 3-D Rekonstruktion, um die Knochen und die umliegenden Strukturen bestmöglich darzustellen.

Zusätzlich zur chirurgischen Resektion erfolgt oft eine prä- oder postoperative einmalige Bestrahlung als Sekundärprophylaxe, bei einer geringen Anzahl kommt die Therapie mittels NSAR zum Einsatz. In der Literatur zeigt sich, dass die chirurgische Entfernung der HO im Bereich der Hüfte, Knie und Ellenbogen mit einer sekundären Prophylaxe zu einer signifikanten Verbesserung der Schmerzen und der Range-of-Motion (ROM) führt mit einer geringen Rate von erneuter HO Ausbildung oder perioperativen Komplikationen (0-25%) (Wick *et al.*, 1999).

## 1.8 Der Ellenbogen

### 1.8.1 Anatomie

Das Ellenbogengelenk (Art. cubiti) bildet eine Gelenkseinheit zwischen dem Humerus und den beiden Unterarmknochen Radius und Ulna und bildet damit drei Teilgelenke:

- Humeroulnargelenk (Art. humeroulnaris)
- Humeroradialgelenk (Art. humeroradialis)
- Proximale Radioulnargelenk (Art. radioulnaris proximalis)

Die drei Gelenkeinheiten verfügen über eine kräftige Bandführung durch die Kollateralbänder, die als Verstärkung der Kapsel dienen und fächerförmig verlaufen, um das Gelenk in jeder Stellung seitlich zu stabilisieren.

- Humeroulnar - Lig. collaterale ulnare
- Humeroradial - Lig. collaterale radiale
- Proximal Radioulnar - Lig. anulare radii

Das Bewegungsausmaß im Humeroulnar- sowie im Humeroradialgelenk beträgt für die Flexion/ Extension ausgehend von der Neutral-Null-Stellung  $10^{\circ}/0^{\circ}/130^{\circ}$  bis  $150^{\circ}$  sowie für die Umwendbewegung Pronation/Supination  $90^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}$ .

### 1.8.2 Ellenbogentraumata

#### 1.8.2.1 Radiuskopffrakturen

Radiuskopffrakturen entstehen meist durch einen Sturz auf die ausgestreckte Hand. In biomechanischen Studien zeigten sich, dass bis zu 60% der axialen Kräfte über den Radiuskopf abgeleitet werden, die diesen gegen das Capitulum drücken (Bryce and Armstrong, 2008). Die größte Druckbelastung entsteht bei einer Flexion von  $0^{\circ}$ - $30^{\circ}$  und ist in Pronation größer als in Supination (Morrey, An and Stormont, 1988).

Eine Vielzahl von Klassifikationen wurden für die Radiuskopffraktur vorgeschlagen. Die am häufigsten angewandte Mason Klassifikation wurde in Folge durch Morrey modifiziert (van Riet and Morrey, 2008). Die ursprüngliche Klassifikation durch Mason beschreibt die nicht dislozierte Fraktur (Typ I - Fraktur nach Mason), die gering dislozierte Fraktur (Typ II - Fraktur nach Mason) und vollständige dislozierte, mehrfragmentäre Radiuskopffraktur (Typ III - Fraktur nach Mason). Morrey ergänzte die Typ II- Fraktur nach Mason um die Größe des knöchernen Defektes und das Ausmaß der Dislokation. Die Radiuskopffraktur Typ II nach Morrey umfasst somit eine Fragmentgröße von >30% der Gelenkfläche und eine Dislokation von >2mm. Johnston fügte eine 4. Kategorie hinzu, welche eine zusätzlich bestehende Ellenbogenluxation einschließt (Johnston, 1962).

In Bezug auf die Therapie spielen mehrere Parameter eine Rolle. Dies sind die Fraktorentität, die Dislokation und die Begleitverletzungen sowie der Anspruch der Patientinnen und Patienten. Typ I-Frakturen nach Mason werden konservative mit einer kurzen Immobilisierung und einer früh funktionellen Beübung therapiert. Bei über 80% der Patientinnen und Patienten führt dies zu einem guten Ergebnis (Akesson *et al.*, 2006; Gühring M *et al.*, 2016).

Bei der operativen Therapie gibt es im wesentlichen drei Strategien. Diese sind 1. Reposition und Osteosynthese, 2. alleinige Radiuskopfresektion oder 3. Resektion und Implantation einer Radiuskopffprothese. Ab einer Dislokation von >2mm (Mason II) besteht in der Regel die Indikation zur operativen Therapie mittels Schrauben- oder Plattenosteosynthese. Eine erst kürzlich erschienenes systemische Review von Lanzerath *et al.* konnte jedoch entgegen der bislang vorherrschenden Meinung zeigen, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen dem funktionellen Outcome nach 73 Monaten gibt zwischen den operativ und konservativ versorgten Mason II Frakturen (Lanzerath *et al.*, 2021). Ab der Typ III Fraktur nach Mason zeigt hingegen die konservative Therapie keine zufriedenstellenden Ergebnisse. Die Art der operativen Versorgung ist jedoch weiterhin diskussionswürdig. Eine randomisiert kontrollierte Studie zeigte

ein gering verbessertes Outcome bei Patientinnen und Patienten nach Implantation einer Radiuskopfprothese im Vergleich zu denen mit Gelenkerhalt und Osteosyntheseverfahren (Meacher, Hermena and Isaac, 2020).

#### 1.8.2.2 Olecranonfrakturen

10% der Frakturen an der oberen Extremität sind Frakturen der proximalen Ulna. Diese entstehen als Folge eines direkten Anpralles auf den flektierten Ellenbogen und führen zu einer Olecranonfraktur. Eine Hyperextension im Ellenbogengelenk führt hin dessen häufig zu einer Processus coronoideus Fraktur (Rommens *et al.*, 2004).

Als Klassifikation der Olecranonfraktur werden meistens die Mayo-, AO- und die Schatzker-Klassifikation verwendet (Schatzker, 1987; Sullivan and Desai, 2019). Aus der Schatzker Klassifikation lassen sich am besten die Therapieempfehlungen ableiten. Typ A und B beschreiben eine intraartikuläre Querfraktur mit oder ohne Gelenkfragment, Typ C und D beschreiben die intraartikuläre Schrägfraktur mit oder ohne Zwischenfragment. Der Typ E beschreibt eine Schrägfraktur, welche distal der Trochleainzisierung beginnt und der Typ F beschreibt Luxationsfrakturen mit zusätzlicher Radiuskopffraktur.

Der Großteil der Olecranonfrakturen bedarf einer operativen Therapie, ein konservatives Vorgehen ist sehr selten indiziert bei nicht dislozierten (<2mm) Frakturen, welche in 90° Beugung weiterhin stabil sind und somit einer früh funktionellen Nachbehandlung zugeführt werden können. Alle anderen Olecranonfrakturen benötigen eine bestmögliche anatomische Reposition. Bei stabilen Frakturen besteht die Option der Zuggurtungsosteosynthese und instabile Frakturen erfordern eine plattenosteosynthetische Versorgung (Powell *et al.*, 2017).

#### 1.8.2.3 Distale Humerusfrakturen

Die distale Humerusfraktur ist eine eher seltene Fraktur und macht 2-6% aller Frakturen aus. Die Inzidenz liegt bei 5,7 pro 10.000 Einwohner pro Jahr

(Palvanen *et al.*, 2010). Je nach Stellung des Ellenbogengelenkes und Krafteinwirkung im Rahmen des Traumas kommt es zu unterschiedlichen Frakturmorphologien. Eine axiale Krafteinwirkung führt bei 40-60° flektierten Ellenbogen zu einer suprakondylären Extensionsfraktur, bei 115-140° flektierten Ellenbogen zu einer suprakondylären Flexionsfraktur oder zu einer perkondylären oder interkondylären Fraktur (Ellwein, Voigt and Lill, 2016).

Die Frakturen werden gemäß AO Klassifikation in extraartikuläre Typ A Frakturen (39%), partiell intraartikuläre Typ B Frakturen (24%) und vollständig intraartikulären Typ C Frakturen (37%) eingeteilt (Robinson *et al.*, 2003). Abscherfrakturen in der Sagittalebene werden gesondert klassifiziert nach Bryan und Morrey, McKee und Ring oder nach Dubberkley, sowie die Osborne-Coterill-Läsion welche eine osteochondrale Verletzung am posterolateralen Capitulum zeigt und laut Jeon *et al.* in 100% mit einer posterolateralen Rotationsinstabilität vergesellschaftet ist (Jeon *et al.*, 2008). In 14% der operativ versorgten distalen Humerusfrakturen kommt es zu klinisch relevanten HO. Im Rahmen der C-Verletzungen werden diese bei 26% der Fälle beschrieben (Douglas *et al.*, 2012).

#### 1.8.2.4 Ellenbogenluxation

Die Ellenbogenluxation ist nach der Schulterluxation die zweit häufigste Gelenkluxation mit einer Inzidenz von 6-13 pro 100 000 Einwohner.

O'Driscoll zeigte anhand von biomechanischen Versuchen, dass es beim Unfallmechanismus zu einer axialen Lasteinwirkung auf den leicht flektierten und supinierten Arm kommt. Dadurch kommt es zu einer Außenrotation und Valgusstress auf den Ellenbogen. Übersteigen dabei die Kräfte die Stabilität der Kapselbandstrukturen, führt dies zur Luxation (O'Driscoll, 1999).

Die Stabilität des Ellenbogengelenkes ergibt sich aus der knöchernen Führung des Gelenkes sowie aus den ligamentären, kapsulären und muskulären Strukturen. Hierbei werden die primären Stabilisatoren mit dem Ulnohumeralgelenk, dem anteromedialen Kollateralband (AMCL) und dem lateralen ulnaren Kollateralband (LUCL) definiert. Als sekundäre Stabilisatoren

werden das Radiohumeralgelenk, die Extensorenmuskulatur, die Flexorenmuskulatur und die Gelenkkapsel definiert.

Kommt es dabei zu einer isolierten Kapselbandverletzung mit oder ohne Beteiligung der umgebenden Muskulatur und ohne knöchernen Verletzung, spricht man von einer einfachen Luxation. Kommt es zusätzlich zu intraartikulären Frakturen im Sinne einer Processus coronoideus oder der proximalen Radiusfraktur, spricht man von einer komplexen Luxation (Siebenlist and Stöckle, 2016).

Die Processus coronoideus Frakturen werden getrennt klassifiziert, da sie im Rahmen einer Luxation eine ligamentäre Verletzungen andeuten können und damit zusammen oder einzeln für eine Instabilität im Ellenbogengelenk verantwortlich sind (O'Driscoll *et al.*, 1992). Die gängigste Klassifikation ist die nach Regan und Morrey. Typ I beschreibt eine Avulsion der Coronoidspitze, Typ II einen Abriss des Coronoids >2mm und bis zu 50% der Gesamthöhe und Typ III >50%, dieser Typ ist als instabil zu werten (Regan and Morrey, 1989). O' Driscoll *et al.* unterteilen die Regan und Morrey Typ II Frakturen noch zusätzlich in Bezug auf die Frakturlinie ventral oder dorsal des Tuberculum subliminum, an welchem sich der Ansatz des anterioren Bündels des AMCL befindet (O'Driscoll *et al.*, 1992).

Als eigene Entität zählen die Ellenbogenluxationsfrakturen mit:

- Radiuskopffraktur (Mason IV)
- Terrible Triade Verletzung
- Transolecranische Luxationsfraktur mit
  - Monteggia-like-Lesion
  - Monteggia Lesion

## 1.9 Zielsetzung der Arbeit:

Zielsetzung dieser Arbeit war es, eine an das Ellenbogengelenk angepasste Klassifikation für HO zu entwickeln, die der Komplexität des Gelenkes und deren anatomischen Gegebenheiten gerecht wird. Dies soll zu einer Verbesserung der Objektivität sowie Einschätzung der daraus resultierenden Funktionseinschränkungen führen. Zusätzlich soll sie dazu beitragen, die Auswertung der Röntgenbilder zu verbessern und somit in Zukunft die HO einheitlicher untersuchen zu können und langfristig helfen, pathophysiologische Zusammenhänge wissenschaftlich besser darstellen zu können und die Patientinnen und Patienten besser behandeln zu können.

Die neu erarbeitete Klassifikation wurde an 138 Patientinnen und Patienten angewendet, um damit folgende Fragen zu beantworten:

- Besteht ein Zusammenhang zwischen der Ausprägung von HO und der Einnahme einer Ossifikationsprophylaxe?
- Besteht ein Zusammenhang zwischen der Ausprägung von HO und dem Verletzungsmechanismus?



## 2 Material und Methoden

### 2.1 Kollektiv

Die Datenerhebung erfolgte nach Genehmigung durch die Ethikkommission der Eberhard Karls Universität Tübingen (Projektnummer 020/2021BO2), im Rahmen einer retrospektiven Analyse über den Zeitraum vom 01.01.2015 bis zum 01.01.2021 von Patientinnen und Patienten, welche mit einer Ellenbogenverletzung stationär an der BGU Tübingen behandelt wurden.

Die erforderlichen Daten wurden über die ICD-10 Codierung recherchiert und mit den Arztbriefen des KIS Systems überprüft. Daraus ergaben sich insgesamt 273 Patientinnen und Patienten, welche über die Einschlusskriterien angenommen wurden (N=138) oder verworfen wurden (N=135).

Einschlusskriterien:

- Alle Patientinnen und Patienten, die zwischen dem 01.01.2015 und dem 01.01.2021 mit einer Ellenbogenverletzung stationär an der BGU Tübingen versorgt wurden
- Mindest-Follow-Up 12 Wochen mit erfolgten Röntgen-Verlaufskontrollen innerhalb unserer Sprechstunden

Ausschlusskriterien:

- Zu geringes Follow-up (<12 Wochen)
- Weitere Traumafolgen, die sich laut Literatur auf HO auswirken können wie z. B. Verbrennung oder Schädelhirntraumata

### 2.2 Methodik

Für die Analyse jedes eingeschlossenen Patienten wurde zunächst aus der klinischen Dokumentation (Entlass Brief im KIS System) das Alter der Patientinnen und Patienten zum Zeitpunkt der Verletzung, das Geschlecht und der Unfallmechanismus sowie die verletzten Strukturen dokumentiert. Zusätzlich wurde die Entlassmedikation überprüft auf eine Ossifikationsprophylaxe. Die

entsprechenden Daten wurden pseudonymisiert mithilfe einer Tabellenkalkulationssoftware (Microsoft Excel, Version 16.58, 2022) dargestellt.

Anschließend erfolgte die Auswertung der Röntgenbilder. Hierfür wurden zunächst die standardmäßig am zweiten Tag postoperativ durchgeführten Röntgen des Ellenbogens in 2 Ebenen (a.p. und seitlich) begutachtet (Xero Universal Viewer, Agfa Health Care Corp. Greenville, USA), um eventuelle bereits bestehende knöchernen Absprengungen, Osteophyten oder Ossifikationen zu definieren. In Folge wurden die Röntgenbilder in 2 Ebenen in der 6 und 12 Wochen Kontrolle, sowie nach 6 Monaten begutachtet. Neu aufgetretenen HO wurden entsprechend der Klassifikation eingeteilt.

### 2.3 Etablierung einer Klassifikation

In der Literatur hat sich die Brooker Klassifikation in Bezug auf HO im Bereich der Hüfte durchgesetzt, welche im a.p. Röntgenbild definiert wird (Brooker *et al.*, 1973). In Anbetracht der Anatomie und der funktionellen Unterschiede des Ellenbogengelenkes (Flexion, Extension, Pronation und Supination) und des Hüftgelenkes (Flexion, Extension, Innenrotation und Außenrotation) sowie der daraus resultierenden Behandlungsrelevanz der durchgeführten Klassifikation, war es Ziel dieser Arbeit eine eigenständige Klassifikation für die Einteilung der HO am Ellenbogen zu erarbeiten. Folgende Kriterien sollte die Klassifikation beinhalten:

- Angewandt am Röntgenbild in 2 Ebenen (a.p. und seitlich)
- Einbeziehen der Lokalisation der HO
- Einfache Einteilung möglich

In der Literatur fehlen die Angaben der Lokalisation bei der Ausbildung von HO, was jedoch relevant für die Klinik ist in Bezug auf die Behandlung z. B. im Rahmen der chirurgischen Resektion. Für die Einteilung wurden Röntgenbilder in 2 Ebenen verwendet, damit kann die Lokalisation der HO definiert werden mit:

radial (r), posterior (p), ulnar (u) und anterior (a). Der Schweregrad der HO wird von 1-4 eingeteilt. Da die Röntgenaufnahme regulär in der Regel keine Planungskugel zur Skalierung hat, wurde der Durchmesser des Radiuskopfes als Cutoff definiert, sodass folgende Klassifikation aufgestellt wurde:

Tabelle 1: HO Klassifikation

	Einteilung	Lokalisation
Keine HO	0	
< $\varnothing$ Radiuskopf	1	r, p, u, a
> $\varnothing$ Radiuskopf	2	r, p, u, a
Spangenbildung	3	r, p, u, a
Synostose radio-ulnar	4	

Anhand dieser Klassifikation wurden die Röntgenbilder der 138 eingeschlossenen Patientinnen und Patienten von einer Person durchgesehen und nach 6 Wochen, 12 Wochen und 6 Monaten eingeteilt. Als endgültige Klassifikation wurde die größte HO auf dem Röntgenbild gewertet, falls mehrere Lokalisationen infrage kamen.





Abbildung 1: Röntgenbilder eines 32-jährigen Patienten nach Ellenbogenluxation und operativer Stabilisierung. (a,b) zeigen die Unfallbilder vor der geschlossenen Reposition und temporärer Stabilisierung mittels Fixateur Externe. Die Ausversorgung erfolgte 10 Tage nach dem Unfall (c,d). Eine Ossifikationsprophylaxe wurde mittels Indometacin 50mg, zweimal am Tag durchgeführt. Nach 6 Wochen (e,f) zeigte sich im Röntgenbild eine HO, welche als 1r eingeteilt wurde. Nach 12 Wochen (g,h) wurde diese als 2r eingeteilt und nach 6 Monaten (i,j) als HO 4. Grades.

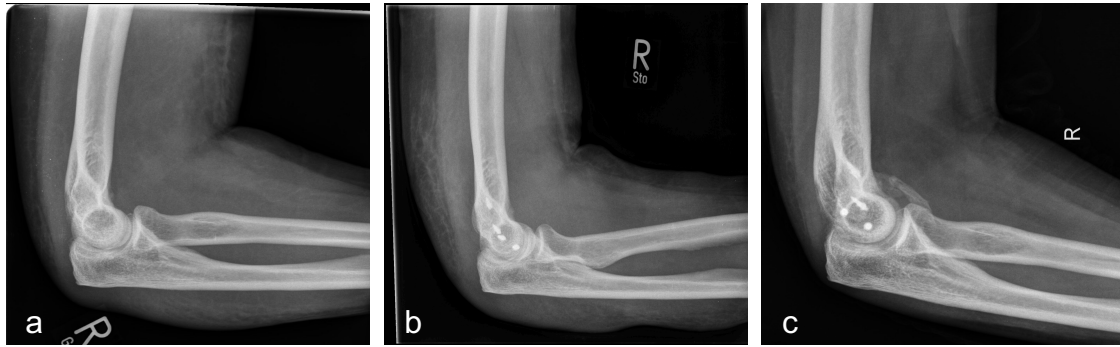


Abbildung 2: Röntgenbilder einer 63-jährigen Patientin nach Ellenbogenluxation und operativer Stabilisierung. (a) zeigt das Röntgen nach erfolgter Reposition. Die Ausversorgung erfolgte nach 7 Tagen und es wurde Ibuprofen 400mg zweimal täglich als Ossifikationsprophylaxe eingenommen. (b) zeigt das Röntgenbild postoperativ und (c) das Röntgenbild nach 12 Wochen mit einer HO, welche als 3a eingeteilt wurde.

## 2.4 Einteilung des Verletzungsmechanismus

Die Ellenbogenverletzungen wurden in 4 Kategorien unterteilt:

- Fraktur
- Bänderverletzung ohne stattgehabte Luxation
- Luxation
- Luxationsfraktur

Für die Einteilung wurden die initialen Röntgenbilder, falls vorhanden, die Magnetresonanztomografie (MRT) und die Anamnese aus den Arztbriefen ausgewertet.

Als Luxation wurden eingeteilt, die einfachen Luxationen, welche als ulnohumerale Luxation mit einer isolierten Verletzung des Kapselbandapparates und der umgebenden Muskulatur definiert wurden, sowie die komplexen Luxationen, welche zusätzliche intraartikuläre Frakturen der proximalen Ulna und/oder des proximalen Radius vorzeigten.

Die Luxationsfraktur wurde definiert als Mason Typ IV Verletzung des Radiuskopfes, die Terrible Triad Verletzung, die Monteggia-like-Lesion und die Monteggia Lesion.

## 2.5 Statistische Methoden

### 2.5.1 Auswertung

Die statistische Auswertung der gesammelten Daten wurde mittels eines Statistikprogrammes (SPSS Statistics®, IBM, Version 28) durchgeführt und es erfolgte die methodische Beratung des Instituts für Klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie der Universität Tübingen.

Die deskriptive Statistik wurde mittels absoluter und relativer Häufigkeit durchgeführt. Anhand von Vierfeldertafeln wurden die Häufigkeiten und die erwarteten Häufigkeiten der Zusammenhänge dargestellt. Die Signifikanzberechnung wurde mittels Chi<sup>2</sup> Test und einem Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  durchgeführt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Deskriptive Statistik

##### 3.1.1 Patientinnen und Patientenkollektiv

Bei den 138 eingeschlossenen Patientinnen und Patienten waren 73 (52,9%) männliche Patienten und 65 (47,1%) weibliche Patientinnen. Das Durchschnittsalter bei Trauma betrug 45,93 +/- 18 Jahre (6 bis 85 Jahre).

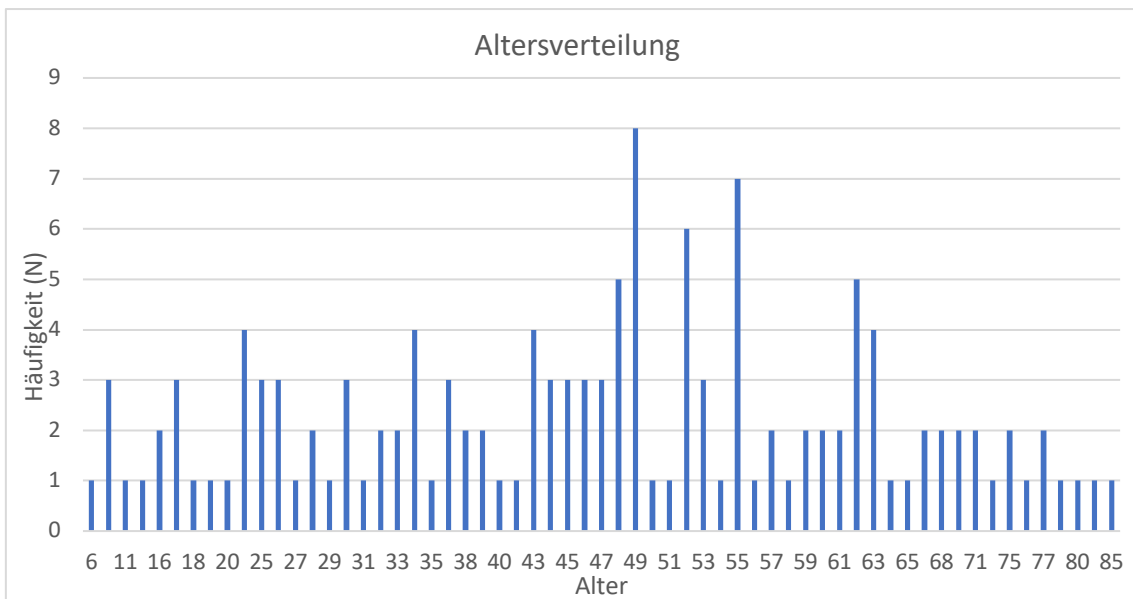


Abbildung 3: Altersverteilung

##### 3.1.2 Verletzungen

Bei der Einteilung des Verletzungsmusters kam es bei 6 (4,3%) Patientinnen und Patienten zu einer Ellenbogendistorsion mit einer Bänderverletzung, bei 48 (34,8%) Personen zu einer Fraktur ohne Luxation. In 46 (33,3%) Fällen zeigte sich eine einfache oder komplexe Luxation und in 38 (27,5%) Fällen eine Luxationsfraktur mit entweder einer Terrible Triad Verletzung, Radiuskopfluxation, Monteggia-Like-Lesion, oder einer Monteggia Verletzung.

Bei isolierter Betrachtung der verletzten Struktur, ohne den Unfallmechanismus mit einzubeziehen, zeigten sich bei 23 (26,1%) eine reine Bänderverletzung, bei 55 (39,9%) eine reine knöcherner Verletzung und bei 60 (43,5%) Patientinnen und Patienten eine Kombinationsverletzung von Knochen und Bandstrukturen.

Bei den knöchernen Verletzungen war der Radiuskopf bei 61 (44,2%), der Proc. Coronoideus bei 36 (26,1%), das Olecranon bei 22 (15,9%) und der distale Humerus bei 34 (24,6%) betroffen. Bei den Bänderverletzungen wurde bei 33 (23,9%) das laterale Kollateralband als instabil gewertet, bei 38 Personen (27,5%) das laterale und das mediale Kollateralband und in 3 Fällen (2,2%) isoliert das mediale Kollateralband als instabil gewertet.

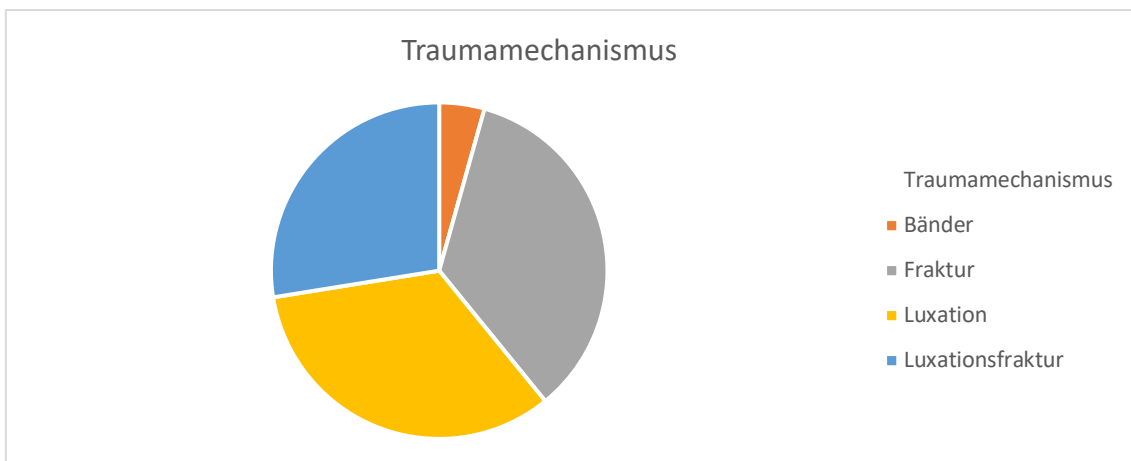


Abbildung 4: Darstellung des Traumamechanismus

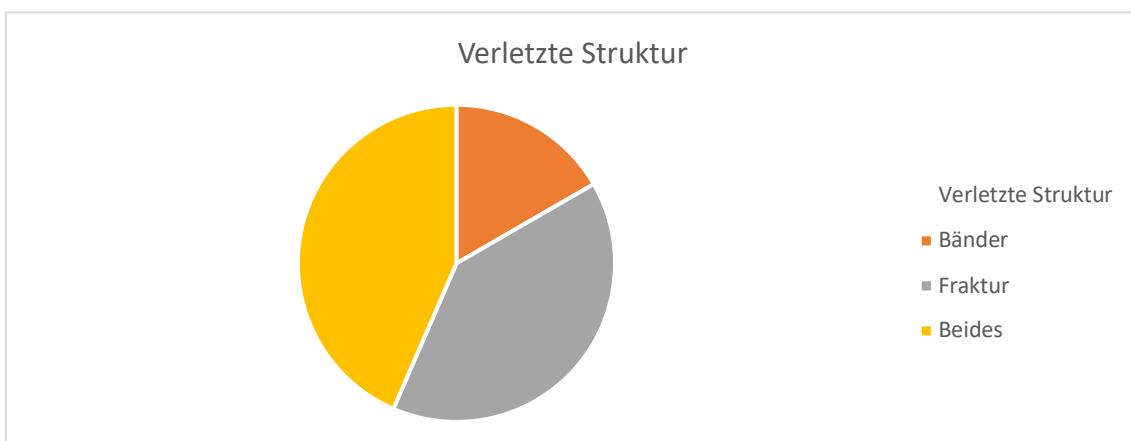


Abbildung 5: Darstellung der verletzten Struktur



### 3.1.3 Zeitspanne bis zur operativen Therapie

Die Zeitspanne des operativen Eingriffes, bei dem die endgültige Ausversorgung gewertet worden ist, erstreckt sich vom Tag der Verletzung bis zu 362 Tagen nach dem Unfalltag. Wobei 49,6 % innerhalb der ersten 7 Tage und 83,0% der Verletzungen innerhalb der ersten 14 Tagen nach dem Unfall ausversorgt worden sind.

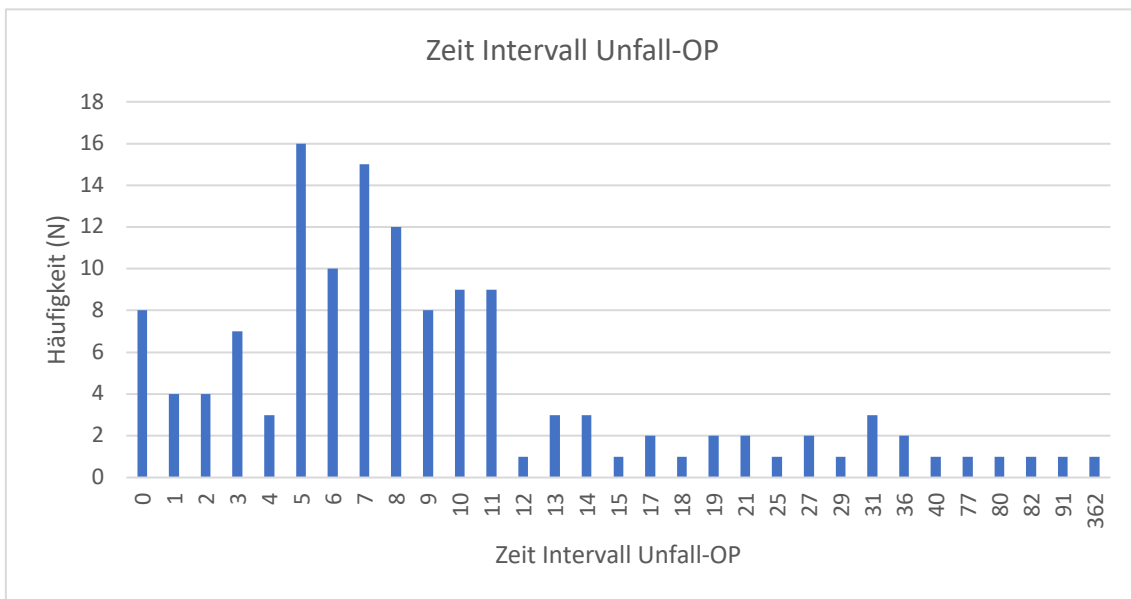


Abbildung 6: Zeitpunkt des Unfalles bis zur operativen Versorgung

### 3.1.4 Prophylaxe

Von den 138 Patientinnen und Patienten haben 102 (73,9%) eine Ossifikationsprophylaxe erhalten, 36 (26,1%) haben kein NSAR zur Prophylaxe bekommen. 47 (33,9%) haben Indometacin als Prophylaxe bekommen. 53 (64,5%) erhielten Ibuprofen in verschiedenen Dosierungen und jeweils eine Patientin oder Patient erhielt Etoricoxib oder Celecoxib.

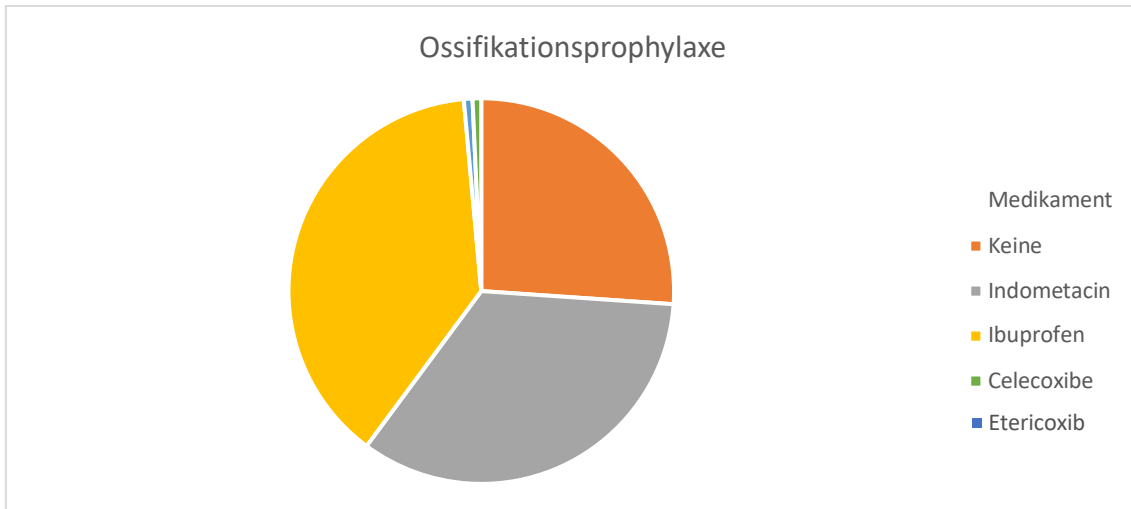


Abbildung 7: Medikamentöse Prophylaxe

Tabelle 2: Medikamentöse Prophylaxe

Medikament	Häufigkeit (N)	Prozent (%)
Kein Medikament	36	26,1
Celecoxib 200mg 1-0-1	1	0,7
Etoricoxib 90mg 1-0-1	1	0,7
Ibuprofen 300mg 1-1-1	3	2,2
Ibuprofen 400mg 1-0-1	4	2,9
Ibuprofen 400mg 1-1-1	6	4,3
Ibuprofen 600mg 1-0-1	9	6,5
Ibuprofen 600mg 1-1-1	31	22,5
Indometacin 50mg 1-0-1	47	34,1
<b>Gesamt</b>	<b>138</b>	<b>100,0</b>

### 3.1.5 Heterotope Ossifikationen

In der ersten Röntgenkontrolle nach 6 Wochen (Median 6,00 +/- 2,32 Wochen) zeigten sich bei 82 (59,4%) keine neu gebildeten HO, bei 56 (40,6%) Patientinnen und Patienten waren bereits beginnende Ossifikationen sichtbar.

Bei der als 12 Wochenkontrolle (Median 13,00 +/- 10,98) gewertete Röntgenaufnahme zeigten 68 (49,3%) keine HO, im Gegensatz zu 70 (50,7%) Patientinnen und Patienten, bei denen ein HO sichtbar war.

Zur halb Jahresröntgenkontrolle (Median 26,00 +/-14,3) erschienen noch insgesamt 75 (54,3%) der 138 Patientinnen und Patienten. Es zeigten sich bei 45 (60,0%) Patientinnen und Patienten HO. Bei 30 (40,0%) Patientinnen und Patienten konnte auch nach 6 Monaten keine HO festgestellt werden.

Tabelle 3: HO Ausbildung bei Ellenbogenverletzungen

Zeitraum	HO		Insgesamt
	keine HO	Nachweis von HO	
6 Wochen	82 (59,4%)	56 (40,6%)	138 (100%)
12 Wochen	68 (49,3%)	70 (50,7%)	138 (100%)
6 Monate	30 (40 %)	45 (60%)	75 (100%)

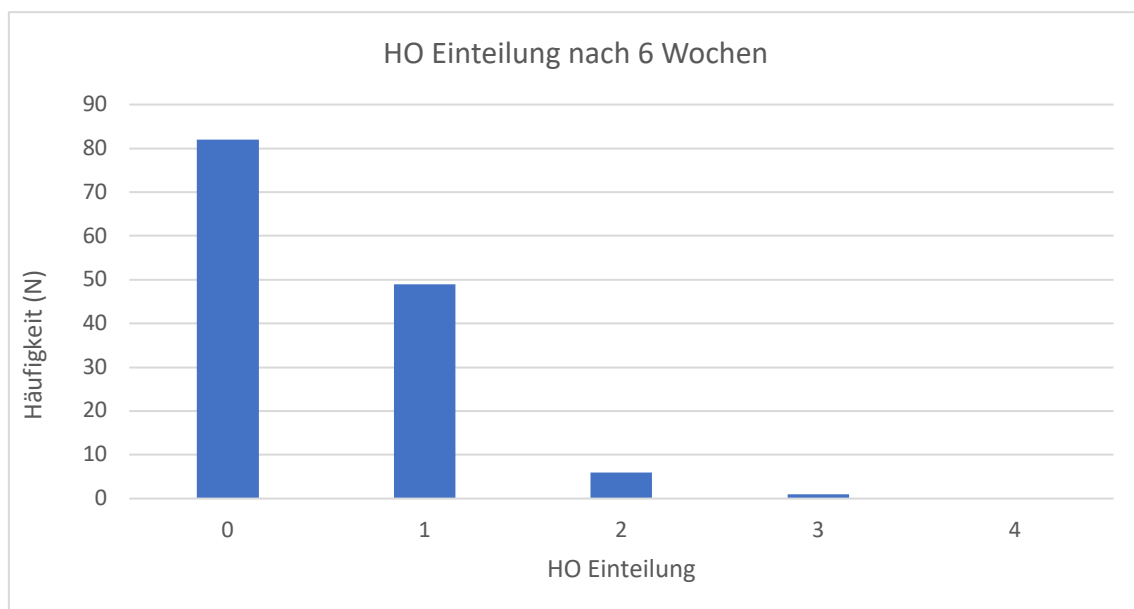


Abbildung 8: HO Einteilung gemäß neuer Klassifikation nach 6 Wochen

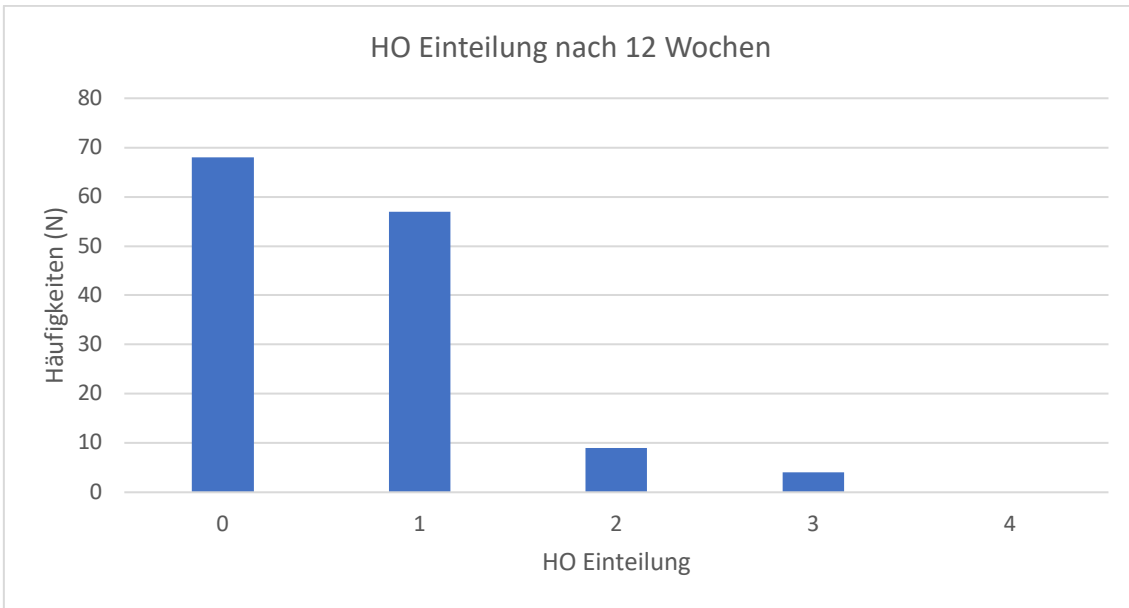


Abbildung 9: HO Einteilung gemäß neuer Klassifikation nach 12 Wochen

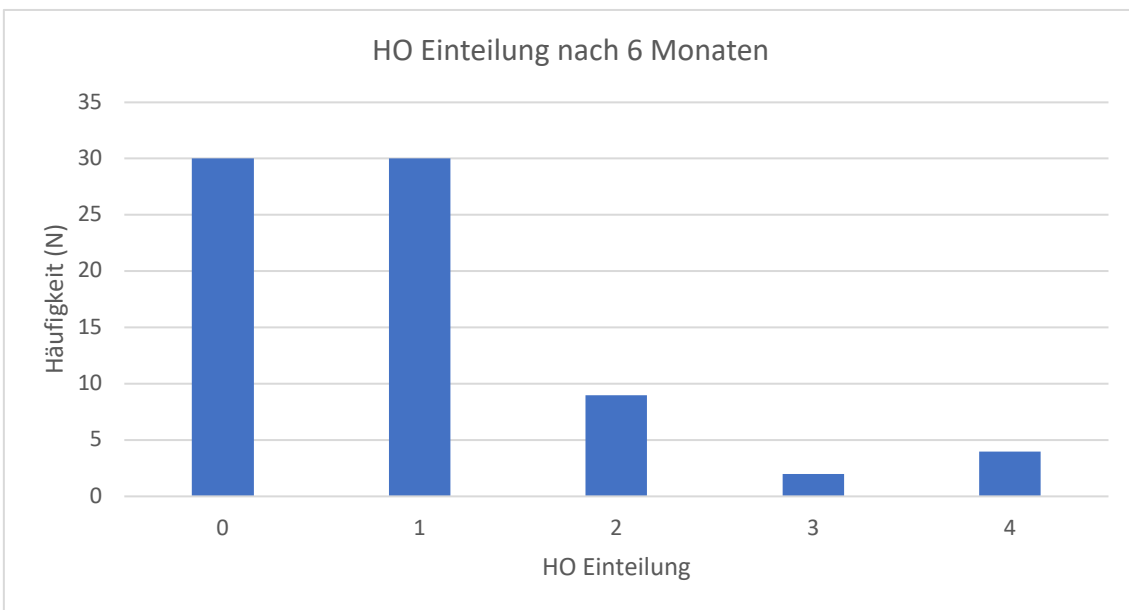


Abbildung 10: HO Einteilung gemäß neuer Klassifikation nach 6 Monaten

### 3.1.6 Unfallmechanismus

Von den insgesamt 6 Patientinnen und Patienten mit einer Ellenbogendistorsion und einer isolierten Bänderverletzung zeigten bei der 6 Wochen Röntgenkontrolle 4 (66,7%) Patientinnen und Patienten keine HO. Zwei (33,3%) wurden als HO

ersten Grades klassifiziert. Nach 12 Wochen zeigten 50% der Patientinnen und Patienten eine HO ersten Grades.

Bei den Frakturen (N=48) waren nach 6 Wochen bei 36 (75,0%) Patientinnen und Patienten keine HO sichtbar, bei 12 (25,0%) war eine HO ersten Grades sichtbar. Nach 12 Wochen zeigten sich noch immer 36 (75,0%) ohne und von den 12 ersten Grades habe sich 3 (6,3%) zu einem zweiten Grad entwickelt. Nach einem halben Jahr erschienen noch 25 Patientinnen und Patienten zu Röntgenkontrolle, von denen 19 (16,0%) weiterhin keine HO entwickelt haben. Bei vier (16,0%) konnte eine HO ersten Grades und bei 2 (8,0%) eine HO zweiten Grades klassifiziert werden.

Bei den Ellenbogenluxationen (N=46), war nach 6 Wochen bei 25 Patientinnen und Patienten (54,3%) keine HO, bei 16 (34,8%) eine HO ersten Grades, bei 4 (8,7%) eine HO zweiten Grades und bei einer Patientin oder einem Patienten (2,2%) eine HO dritten Grades sichtbar. Nach 12 Wochen waren nur noch bei 16 Patientinnen und Patienten (34,8%) keine HO sichtbar, bei 24 (52,2%) eine ersten Grades, bei 3 (6,5%) eine zweiten Grades und ebenfalls bei 3 (6,5%) eine dritten Grades sichtbar. Nach einem halben Jahr erschienen noch 25 Patientinnen und Patienten zur Röntgenkontrolle, unter denen bei 7 Personen (28,0%) keine HO sichtbar war, bei 13 Patientinnen und Patienten (52,0%) eine ersten Grades, bei 2 Patientinnen und Patienten (8,0%) eine HO zweiten Grades, bei einer Patientin oder einem Patienten (4,0%) eine dritten Grades. Bei 2 (8,0%) hatte sich eine Synostose gebildet.

Bei den Ellenbogenluxationsfrakturen (N=38) waren in der ersten Röntgenverlaufskontrolle nach 6 Wochen bei 17 Patientinnen und Patienten (44,7%) keine HO sichtbar, bei 19 (50%) zeigte sich bereits eine HO ersten Grades und bei 2 (5,3%) Patientinnen und Patienten wurden die HO als drittgradig eingestuft.

Nach 12 Wochen waren bei 13 (34,2%) keine HO sichtbar, bei 21 (55,3%) Patientinnen und Patienten eine ersten Grades, bei 3 (7,9%) eines zweiten Grades und bei einer Patientin oder einem Patienten (2,6%) eine dritten Grades. Nach einem halben Jahre erschienen noch 24 Patientinnen und Patienten zur Röntgenkontrolle, unter denen bei 4 (16,7%) keine HO sichtbar war, bei 12 (50,0%) waren HO ersten Grades sichtbar, bei 5 (20,8%) eine zweiten Grades, bei einer Patientin oder einem Patienten (4,2%) eine dritten Grades, und bei 2 (8,3%) hatte sich eine Synostose gebildet.

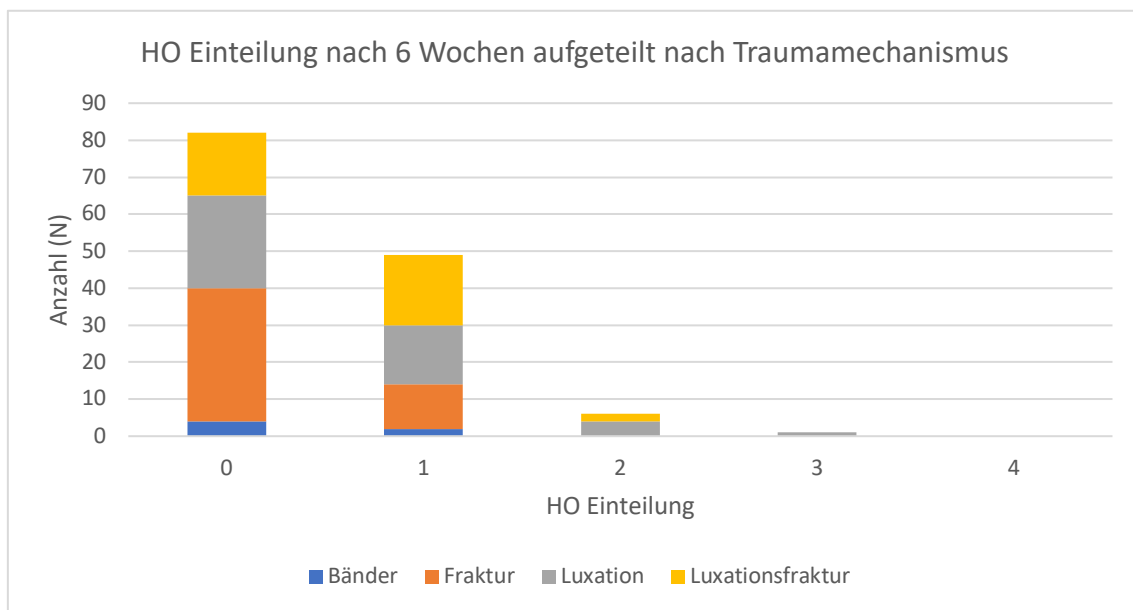


Abbildung 11: HO Einteilung gemäß neuer Klassifikation nach 6 Wochen aufgeteilt nach Traumamechanismus

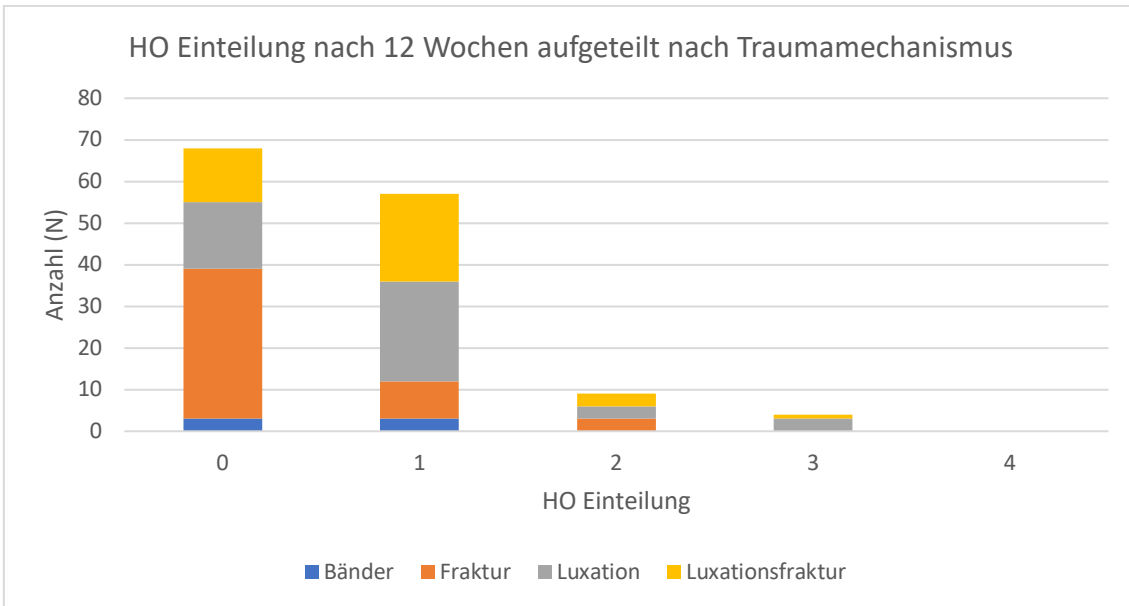


Abbildung 12: HO Einteilung gemäß neuer Klassifikation nach 12 Wochen aufgeteilt nach Traumamechanismus

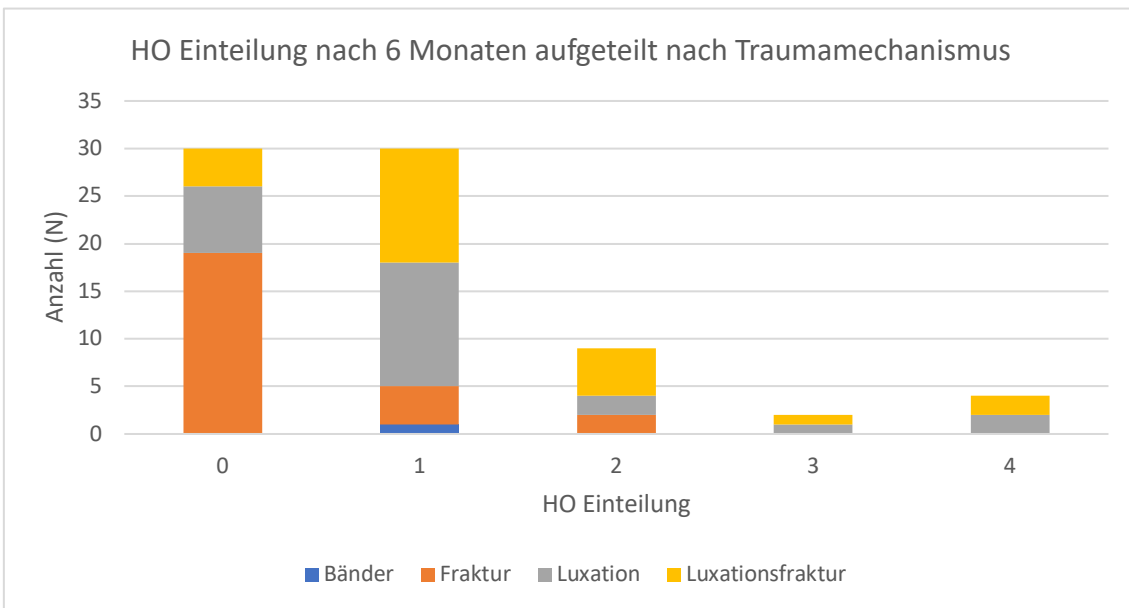


Abbildung 13: HO Einteilung gemäß neuer Klassifikation nach 6 Monaten aufgeteilt nach Traumamechanismus

## 3.2 Schließende Statistik

### 3.2.1 Hypothese 1

Besteht ein Zusammenhang zwischen der Ausprägung von HO und der Einnahme einer Ossifikationsprophylaxe?

#### 3.2.1.1 Ossifikationsprophylaxe

Die folgenden Kreuztabellen zeigen die Häufigkeiten der HO eingeteilt gemäß der neuen Klassifikation in Abhängigkeit der erhaltenen Ossifikationsprophylaxe.

##### 3.2.1.1.1 6 Wochen

Nach 6 Wochen zeigten sich keine signifikanten Häufigkeitsunterschiede ( $p = 0,797$ ) der Einteilung nach Schweregrad der HO bei den Patientinnen und Patienten, die eine Ossifikationsprophylaxe in Form eines NSAR bekommen haben im Vergleich zu denen, die keine Prophylaxe eingenommen haben.

Tabelle 4: Häufigkeiten der HO eingeteilt gemäß der neuen Klassifikation in Abhängigkeit einer erhaltenen Ossifikationsprophylaxe nach 6 Wochen

	6 Wochen				Gesamt
	HO Einteilung				
	0	1	2	3	
Keine Prophylaxe	23 (63,9%)	11 (30,6%)	2 (5,6%)	0 (0,0%)	36 (100%)
Prophylaxe	59 (57,8%)	38 (37,3%)	4 (3,9%)	1 (1,0%)	102 (100%)
Gesamt	82 (59,4%)	49 (35,5%)	6 (4,3%)	1 (0,7%)	138 (100%)



Tabelle 5: Chi<sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 4

Chi-Quadrat-Tests			
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	1,016	3	0,797
Likelihood-Quotient	1,268	3	0,737

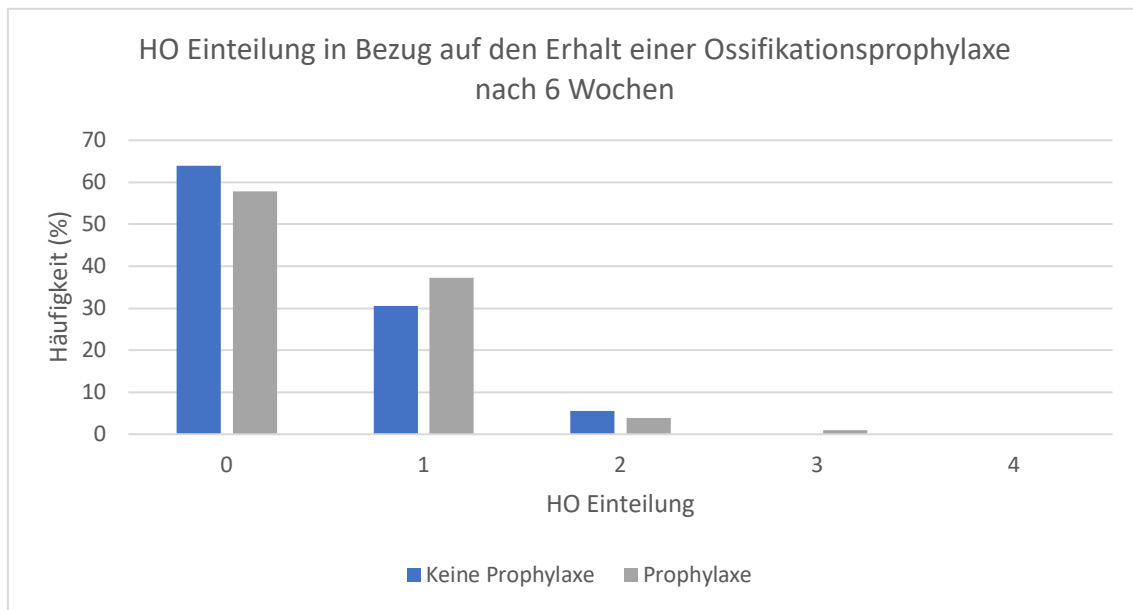


Abbildung 14: HO Einteilung in Bezug auf den Erhalt einer Ossifikationsprophylaxe nach 6 Wochen

### 3.2.1.1.2 12 Wochen

Auch in der Röntgenkontrolle 12 Wochen nach dem Trauma zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang ( $p = 0,876$ ) zwischen den Patientinnen und Patienten ohne und mit Ossifikationsprophylaxe.

Tabelle 6: Häufigkeit von HO und deren Einteilung in Bezug auf den Erhalt oder nicht Erhalt einer Ossifikationsprophylaxe nach 12 Wochen

	12 Wochen				Gesamt
	HO Einteilung				
	0	1	2	3	
Keine Prophylaxe	19 (52,8%)	13 (36,1%)	3 (8,3%)	1 (2,8%)	36 (100%)
Prophylaxe	49 (48,0%)	44 (43,1%)	6 (5,9%)	3 (2,9%)	102 (100%)
Gesamt	68 (49,3%)	57 (41,3%)	9 (6,5%)	4 (2,9%)	138 (100%)

Tabelle 7:  $\chi^2$  Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 6

Chi-Quadrat-Tests			
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	0,687	3	0,876
Likelihood-Quotient	0,682	3	0,855

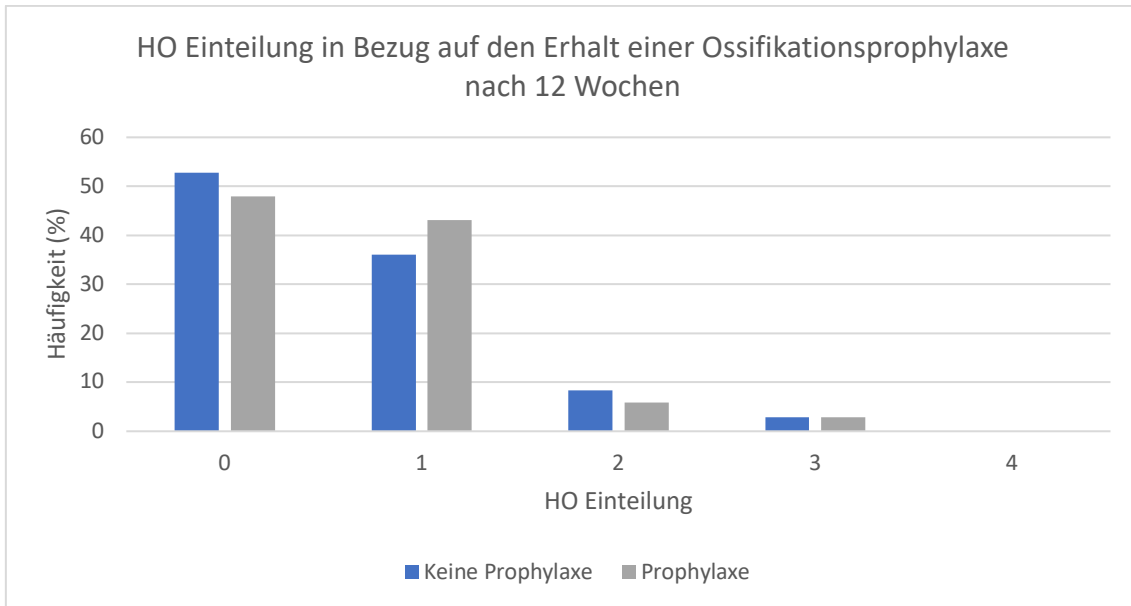


Abbildung 15: HO Einteilung in Bezug auf den Erhalt einer Ossifikationsprophylaxe nach 12 Wochen

### 3.2.1.1.3 6 Monate

In der Röntgenkontrolle 6 Monate nach dem Trauma zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang ( $p = 0,244$ ) zwischen den Patientinnen und Patienten ohne und mit Ossifikationsprophylaxe.

Tabelle 8: Häufigkeit von HO und deren Einteilung in Bezug auf den Erhalt oder nicht Erhalt einer Ossifikationsprophylaxe nach 6 Monaten

	6 Monate					Gesamt
	HO Einteilung					
	0	1	2	3	4	
Keine Prophylaxe	9 (40,9%)	7 (31,8%)	3 (13,6%)	0 (0,0%)	3 (13,6%)	22 (100%)
Prophylaxe	21 (39,6%)	23 (43,4%)	6 (11,3%)	2 (3,8%)	1 (1,9%)	53 (100%)
Gesamt	30 (40,0%)	30 (40,0%)	9 (12,0%)	2 (2,7%)	4 (5,3%)	75 (100%)

Tabelle 9: Chi<sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 8

Chi-Quadrat-Tests			
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	5,451	4	0,244
Likelihood-Quotient	5,562	4	0,234

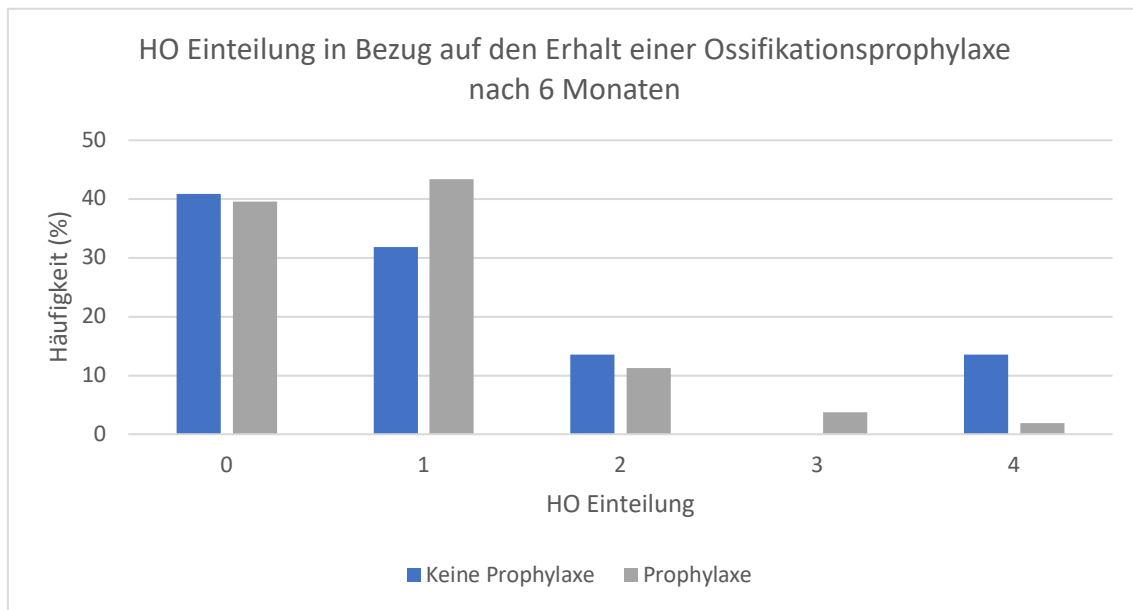


Abbildung 16: HO Einteilung in Bezug auf den Erhalt einer Ossifikationsprophylaxe nach 6 Monaten

### 3.2.1.2 NSAR Unterteilung

Die Häufigkeitszusammenhänge zwischen der Einteilung der HO in Bezug auf eine bestimmte verabreichte NSAR Medikation wird im folgenden Einzel dargestellt.

#### 3.2.1.2.1 6 Wochen

Nach 6 Wochen zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang ( $p < 0,001$ ), der verabreichten Medikation und der HO Einteilung. Es haben jedoch jeweils insgesamt nur 1 Patientin oder Patient Etoricoxib oder Celecoxib erhalten.

Tabelle 10: Häufigkeit von HO und deren Schweregrad in Bezug auf die erhaltene Ossifikationsprophylaxe nach 6 Wochen

Medikament	6 Wochen				Gesamt
	0	1	2	3	
Indometacin	28 (59,6%)	16 (34,0%)	3 (6,4%)	0 (0%)	47 (100%)
Ibuprofen	30 (56,6%)	22 (41,5%)	0 (0%)	1 (1,9%)	53 (100%)
Etoricoxib	0 (0%)	0 (0%)	1 (100%)	0 (0%)	1 (100%)
Celecoxib	1 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (100%)
<b>Gesamt</b>	<b>59</b> (57,8%)	<b>38</b> (37,3%)	<b>4</b> (3,9%)	<b>1</b> (1%)	<b>102</b> (100%)

Tabelle 11: Chi<sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 10

Chi-Quadrat-Tests			
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	29,364	9	<0,001
Likelihood-Quotient	14,029	9	0,121

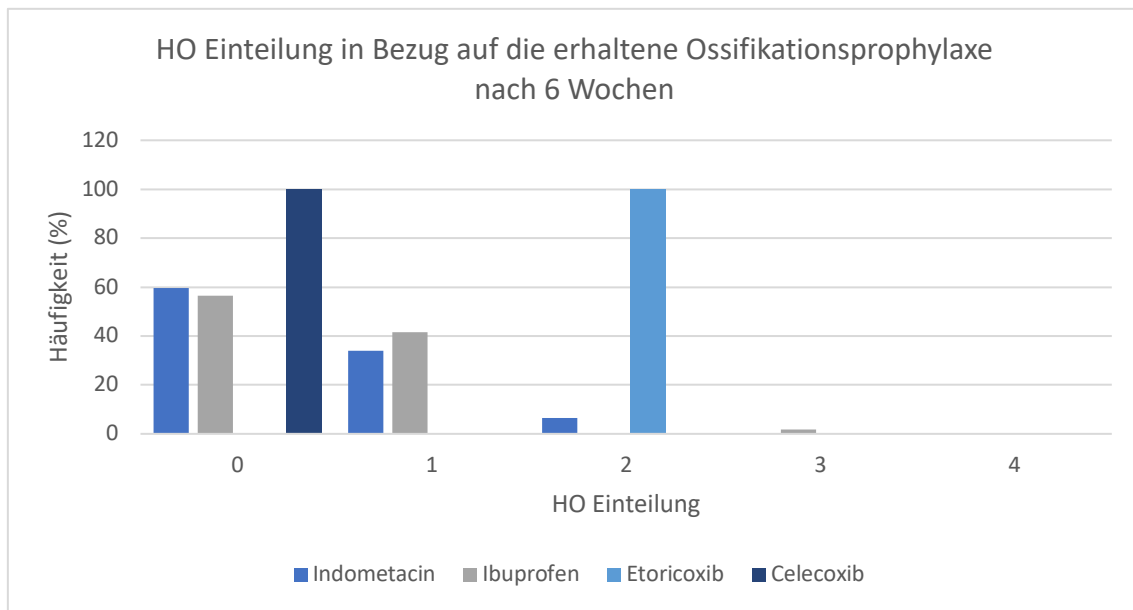


Abbildung 17: HO Einteilung in Bezug auf die erhaltene Ossifikationsprophylaxe nach 6 Wochen

### 3.2.1.2.1.1 Ausschluss Etoricoxib und Celecoxib

Da sich im Chi<sup>2</sup>-Test nach 6 Wochen ein signifikanter Zusammenhang zwischen der gegebenen Ossifikationsprophylaxe in Bezug auf die HO Einteilung zeigte, wurde der Test erneut angewandt unter Ausschluss von Etoricoxib und Celecoxib, um eine mögliche fälschlich verworfenen Hypothese auszuschließen, welche aufgrund der geringen Anzahl von diesen Patientinnen und Patienten möglich wäre.

Unter Ausschluss dieser beiden Patientinnen und Patienten zeigt sich nach 6 Wochen kein signifikanter Zusammenhang mehr (p =0,197).

Tabelle 12: Häufigkeit von HO und deren Einteilung in Bezug auf die erhaltene Ossifikationsprophylaxe unter Ausschluss von Etoricoxib und Celecoxib nach 6 Wochen

Medikament	6 Wochen				Gesamt
	0	1	2	3	
Indometacin	28 (59,6%)	16 (34,0%)	3 (6,4%)	0 (0%)	47 (100%)
Ibuprofen	30 (56,6%)	22 (41,5%)	0 (0%)	1 (1,9%)	53 (100%)
Gesamt	58 (58,0%)	38 (38,0%)	3 (3,0%)	1 (1,0%)	100 (100%)

Tabelle 13: Chi<sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 12

	Chi-Quadrat-Tests		
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	4,673	3	0,197
Likelihood-Quotient	6,205	3	0,102

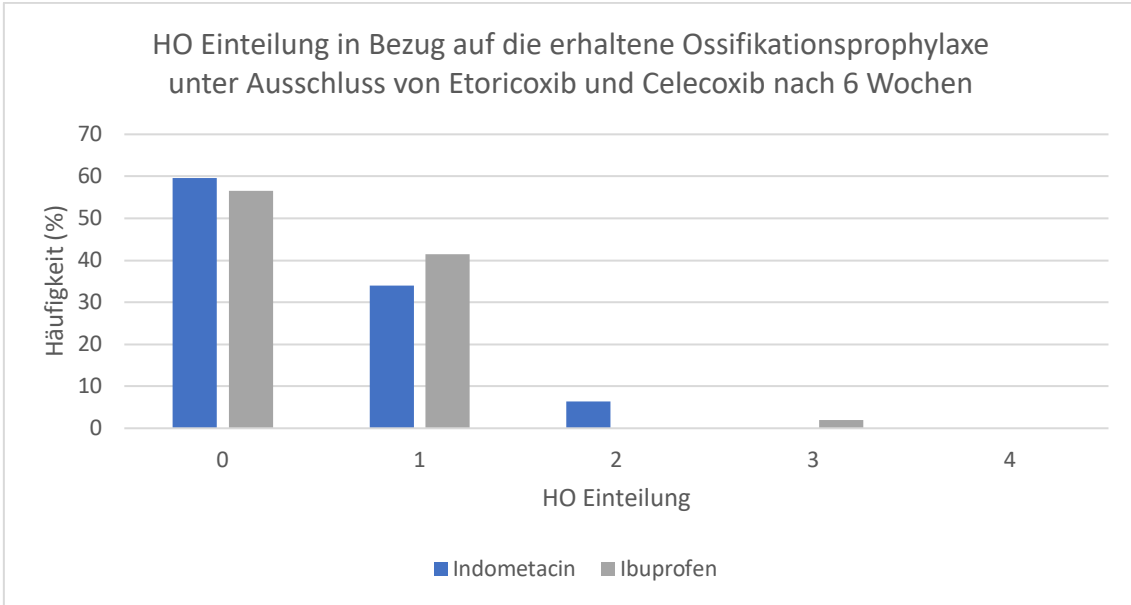


Abbildung 18: HO Einteilung in Bezug auf die erhaltene Ossifikationsprophylaxe unter Ausschluss von Etoricoxib und Celecoxib nach 6 Wochen



### 3.2.1.2.2 12 Wochen

Auch 12 Wochen nach dem Trauma zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang ( $p = 0,033$ ) zwischen der gegebenen Medikation und der HO Einteilung.

Tabelle 14: Kreuztabelle zur Darstellung der Häufigkeit von HO und deren Einteilung in Bezug auf die erhaltene Ossifikationsprophylaxe nach 12 Wochen

Medikament	12 Wochen				Gesamt
	HO Einteilung 0	HO Einteilung 1	HO Einteilung 2	HO Einteilung 3	
Indometacin	21 (44,7%)	22 (46,8%)	2 (4,3%)	2 (4,3%)	47 (100%)
Ibuprofen	27 (50,9%)	22 (41,5%)	3 (5,7%)	1 (1,9%)	53 (100%)
Etoricoxib	0 (0%)	0 (0%)	1 (100%)	0 (0%)	1 (100%)
Celecoxib	1 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (100%)
Gesamt	49 (48,0%)	44 (43,1%)	5,9 (6%)	2,9 (3%)	102 (100%)

Tabelle 15: Chi<sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 14

Chi-Quadrat-Tests			
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	18,157	9	0,033
Likelihood-Quotient	8,223	9	0,512

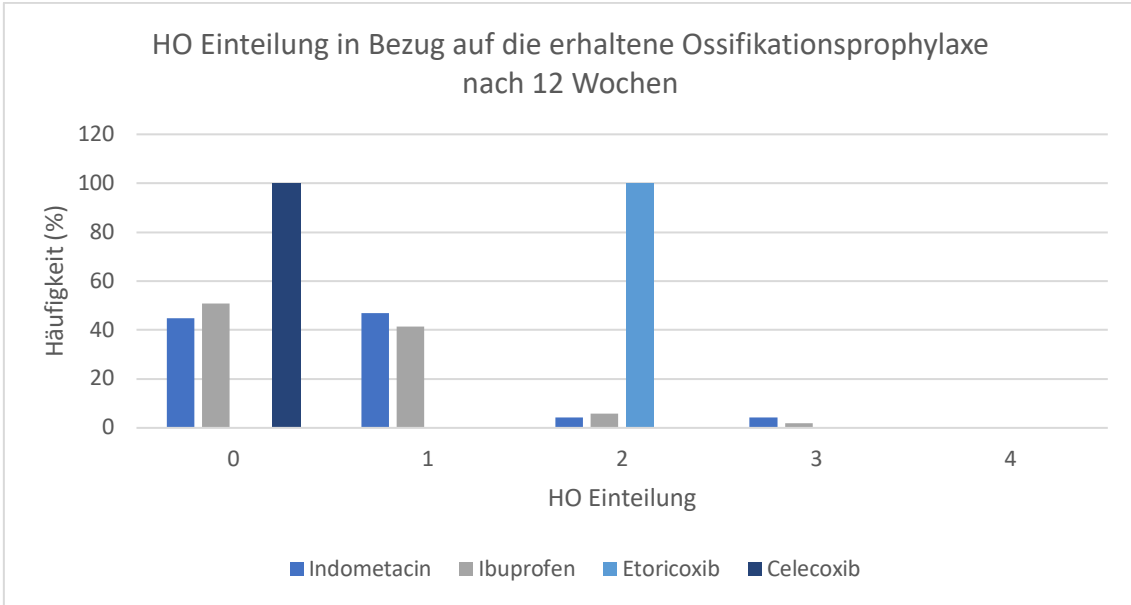


Abbildung 19: HO Einteilung in Bezug auf die erhaltene Ossifikationsprophylaxe nach 12 Wochen

### 3.2.1.2.2.1 Ausschluss Etoricoxib und Celecoxib

Jedoch zeigt sich auch dieser Zusammenhang deutlich von der geringen Fallzahl der Patientinnen und Patienten mit Etoricoxib und Celecoxib beeinträchtigt und der Test zeigt keine Signifikanz mehr ( $p = 0,819$ ) unter Ausschluss dieser Medikation.

Tabelle 16: Kreuztabelle zur Darstellung der Häufigkeit von HO und deren Einteilung in Bezug auf die erhaltene Ossifikationsprophylaxe unter Ausschluss von Etoricoxib und Celecoxib nach 12 Wochen

Medikament	12 Wochen				Gesamt
	0	1	2	3	
Indometacin	21 (44,7%)	22 (46,8%)	2 (4,3%)	2 (4,3%)	47 (100%)
Ibuprofen	27 (50,9%)	22 (41,5%)	3 (5,7%)	1 (1,9%)	53 (100%)
Gesamt	48 (48,0%)	44 (44,0%)	5 (5,0%)	3 (3,0%)	100 (100%)

Tabelle 17: Chi<sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 16

Chi-Quadrat-Tests			
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	0,927	3	0,819
Likelihood-Quotient	0,933	3	0,817

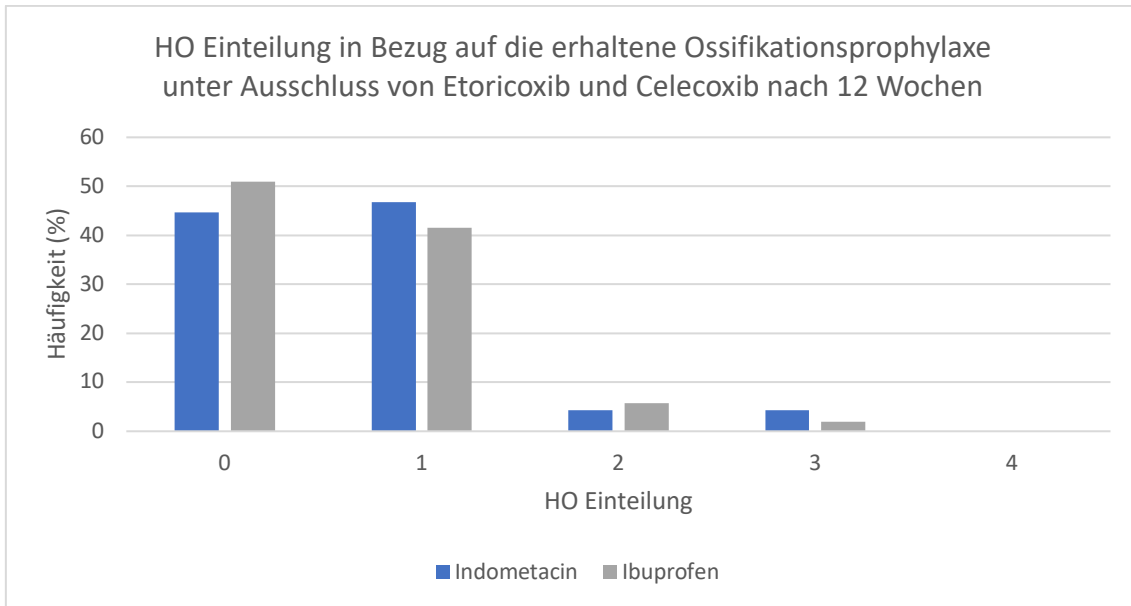


Abbildung 20: HO Einteilung in Bezug auf die erhaltene Ossifikationsprophylaxe unter Ausschluss von Etoricoxib und Celecoxib nach 12 Wochen

### 3.2.1.2.3 6 Monate

Ein halbes Jahr nach dem Trauma waren bei der Röntgenaufnahme nur Patientinnen und Patienten, die Indometacin oder Ibuprofen erhalten haben und auch hier zeigte sich kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,363$ ).

Tabelle 18: Kreuztabelle zur Darstellung der Häufigkeit von HO und deren Einteilung in Bezug auf die erhaltene Ossifikationsprophylaxe nach 6 Monaten

Medikament	6 Monate					Gesamt
	HO Einteilung					
	0	1	2	3	4	
Indometacin	12 (42,9%)	13 (46,4%)	1 (3,6%)	1 (3,6%)	1 (3,6%)	28 (100%)
Ibuprofen	9 (36,0%)	10 (40,0%)	5 (20,0%)	1 (4,0%)	0 (0%)	25 (100%)
Gesamt	21 (39,6%)	23 (43,4%)	6 (11,3%)	2 (3,8%)	1 (1,9%)	53 (100%)

Tabelle 19: Chi<sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 18

Chi-Quadrat-Tests			
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	4,331	4	0,363
Likelihood-Quotient	4,950	4	0,292

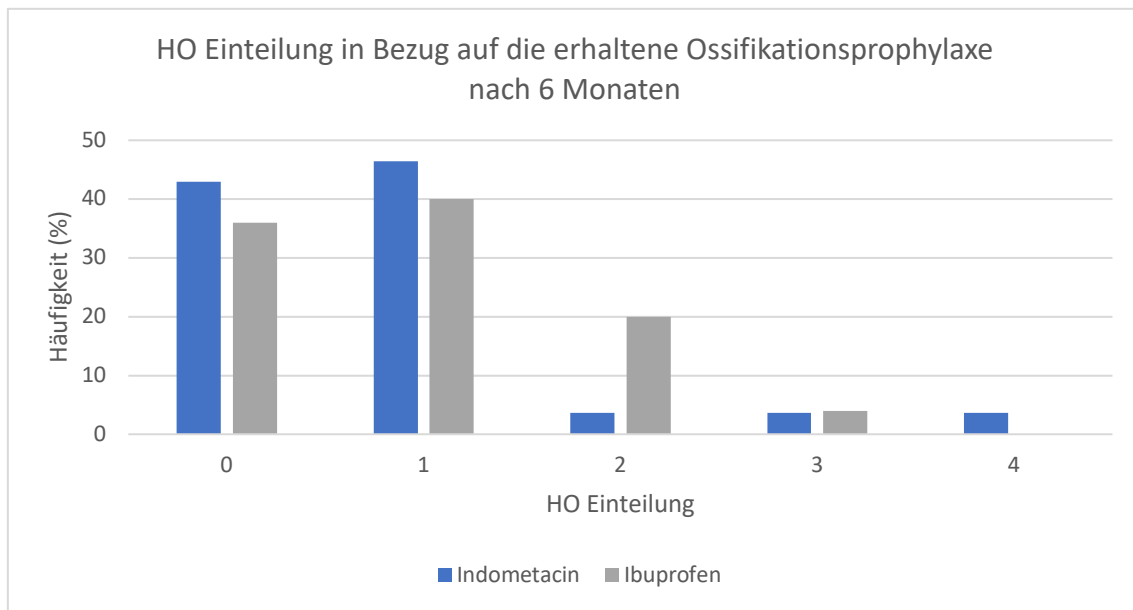


Abbildung 21: HO Einteilung in Bezug auf die erhaltene Ossifikationsprophylaxe nach 6 Monaten

### 3.2.2 Hypothese 2

Besteht ein Zusammenhang zwischen der Ausprägung von HO und dem Verletzungsmechanismus?

#### 3.2.2.1 HO Einteilung

Im Folgenden werden die Zusammenhänge zwischen HO Schweregrad und dem erlittenen Traumamechanismus dargestellt.

##### 3.2.2.1.1 6 Wochen

6 Wochen nach dem Trauma zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang ( $p=0,131$ ) zwischen dem erlittenen Traumamechanismus und dem Schweregrad der HO.

Tabelle 20: Häufigkeit von HO und deren Schweregrad in Bezug auf die erlittene Verletzung nach 6 Wochen

Traumamechanismus	6 Wochen				Gesamt
	0	1	2	3	
Bänder	4 (66,7%)	2 (33,3%)	0 (0%)	0 (0%)	6 (100%)
Fraktur	36 (75,0%)	12 (25,0%)	0 (0%)	0 (0%)	48 (100%)
Luxation	25 (54,3%)	16 (34,8%)	4 (8,7%)	1 (2,2%)	46 (100%)
Luxationsfraktur	17 (44,7%)	19 (50,0%)	2 (5,3%)	0 (0%)	38 (100%)
<b>Gesamt</b>	<b>82 (59,4%)</b>	<b>49 (35,5%)</b>	<b>6 (4,3%)</b>	<b>1 (0,7%)</b>	<b>138 (100%)</b>

Tabelle 21: Chi<sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 20

Chi-Quadrat-Tests			
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	13,768	9	0,131
Likelihood-Quotient	15,754	9	0,072

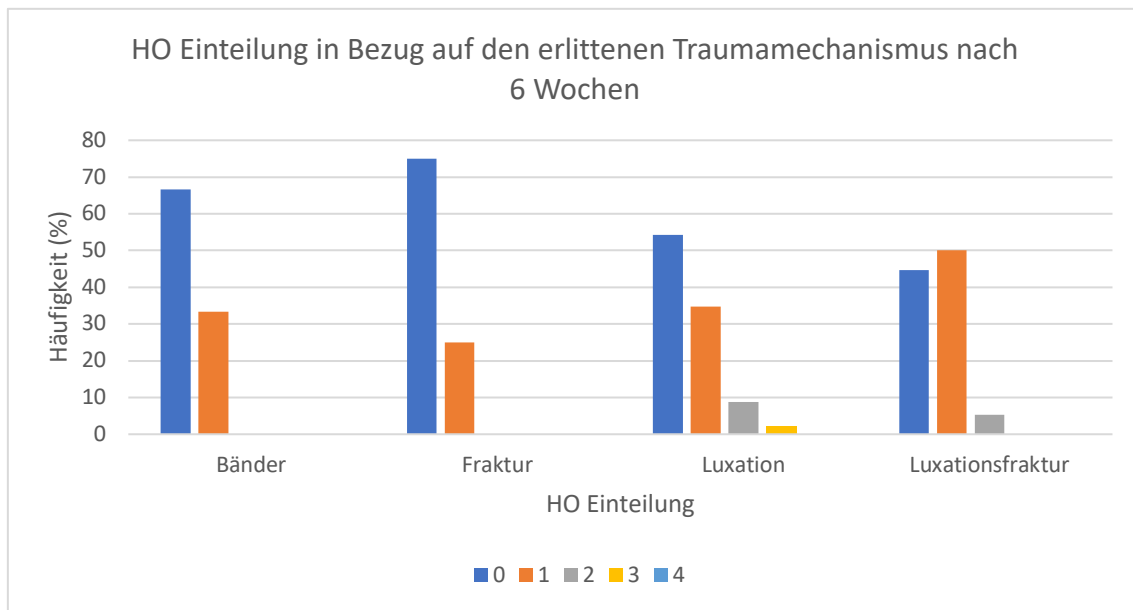


Abbildung 22: HO Schweregrad in Bezug auf den erlittenen Traumamechanismus nach 6 Wochen

### 3.2.2.1.2 12 Wochen

Nach 12 Wochen zeigte sich, dass die erwartete Häufigkeit aus der Kreuztabelle einen signifikanten Unterschied ( $p = 0,005$ ) aufweist.

Tabelle 22: Häufigkeit des HO Schweregrad in Bezug auf die erlittenen Verletzung nach 12 Wochen

Traumamechanismus	12 Wochen				Gesamt
	0	1	2	3	
Bänder	3 (50,0%)	3 (50,0%)	0 (0%)	0 (0%)	6 (100%)
Fraktur	36 (75,0%)	9 (18,8%)	3 (6,3%)	0 (0%)	48 (100%)
Luxation	16 (34,8%)	24 (52,2%)	3 (7,9%)	3 (2,6%)	46 (100%)
Luxationsfraktur	13 (34,2%)	21 (55,3%)	3 (7,9%)	1 (2,6%)	38 (100%)
Gesamt	68 (49,3%)	57 (41,3%)	9 (6,5%)	4 (2,9%)	138 (100%)

Tabelle 23: Chi<sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 22

Chi-Quadrat-Tests			
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	23,452	9	0,005
Likelihood-Quotient	25,634	9	0,002



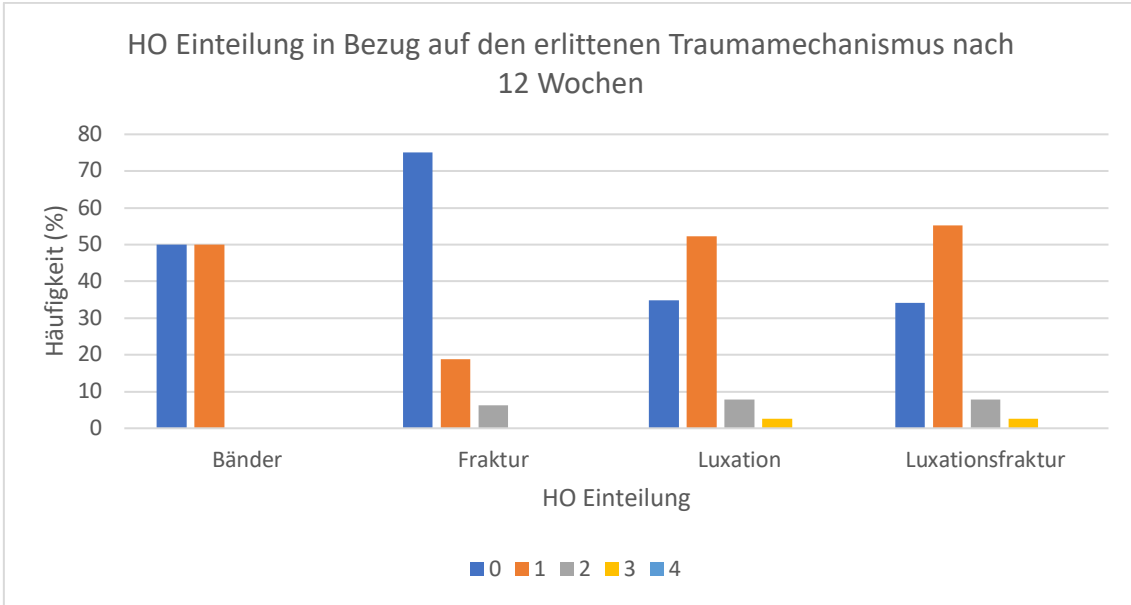


Abbildung 23: HO Einteilung in Bezug auf den erlittenen Traumamechanismus nach 12 Wochen

### 3.2.2.1.3 6 Monate

Auch nach 6 Monaten zeigte sich, dass die erwartete Häufigkeit aus der Kreuztabelle einen signifikanten Unterschied ( $p = 0,019$ ) aufweist.

Tabelle 24: Häufigkeit von HO und deren Einteilung in Bezug auf den erlittenen Traumamechanismus nach 6 Monaten

Traumamechanismus	6 Monate					Gesamt
	HO Einteilung					
	0	1	2	3	4	
Bänder	0 (0%)	1 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (100%)
Fraktur	19 (76,0%)	4 (16,0%)	2 (8,0%)	0 (0%)	0 (0%)	25 (100%)
Luxation	7 (28,0%)	13 (52,0%)	2 (8,0%)	1 (4,0%)	2 (8,0%)	25 (100%)
Luxationsfraktur	4 (16,7%)	12 (50,0%)	5 (20,8%)	1 (4,2%)	2 (8,3%)	24 (100%)
Gesamt	30 (40,0%)	30 (40,0%)	9 (12,0%)	2 (2,7%)	4 (5,3%)	75 (100%)

Tabelle 25: Chi<sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 24

Chi-Quadrat-Tests			
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	24,201	12	0,019
Likelihood-Quotient	26,456	12	0,009

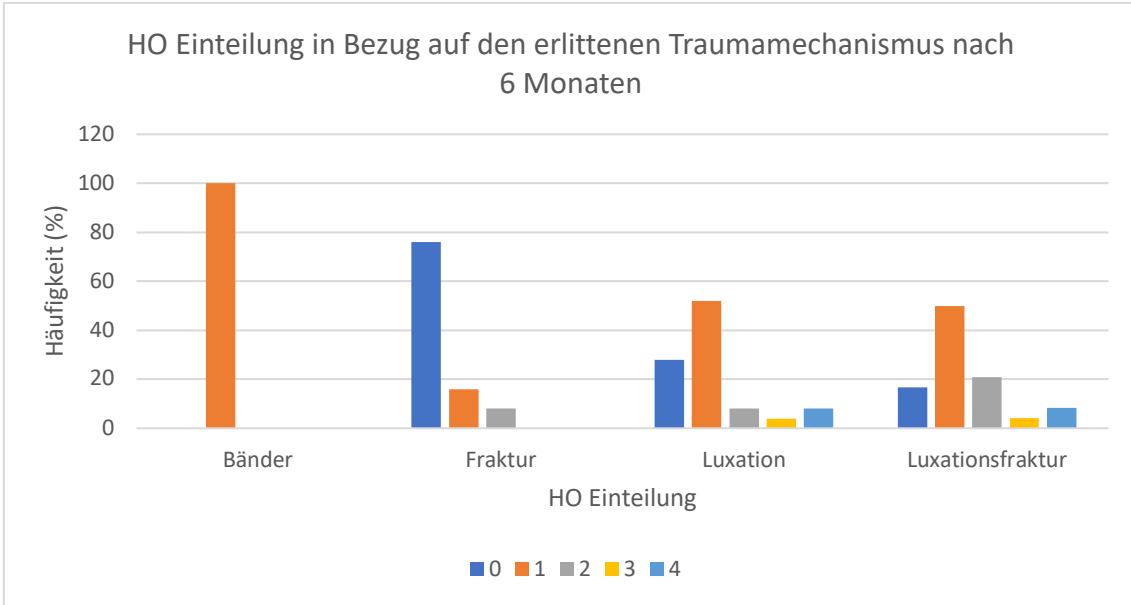


Abbildung 24: HO Einteilung in Bezug auf den erlittenen Traumamechanismus nach 6 Monaten

### 3.2.2.1.3.1 Ausschluss Bandverletzungen

Da bei der Röntgenverlaufskontrolle nach 6 Monaten nur bei einer Patientin oder einem Patienten eine isolierte Bandverletzung nachweisbar war und der Chi<sup>2</sup>-Test von der geringen Fallzahl beeinträchtigt sein kann, wurde dieser nochmals unter Ausschluss dieser Patientinnen oder Patienten berechnet. Dies zeigte eine Zunahme der Signifikanz ( $p = 0,004$ ). Der Zusammenhang zeigt sich auch deutlich im Balkendiagramm, welcher bei den Frakturen bei 76% keine HO und nur bei 16% eine HO ersten Grades und bei 8% eine HO zweiten Grades zeigen. Hingegen sind bei den Luxationen und Luxationsfrakturen deutlich weniger (28% bzw. 17%) welche keine HO aufweisen und in beiden Kategorien gibt es Patientinnen und Patienten mit Synostosen.

Tabelle 26: Darstellung der Häufigkeit von HO und deren Einteilung in Bezug auf den erlittenen Traumamechanismus unter Ausschluss der isolierten Bänderverletzungen nach 6 Monaten

Traumamechanismus	6 Monate					Gesamt
	HO Einteilung					
	0	1	2	3	4	
Fraktur	19	4	2	0	0	25
	(76,0%)	(16,0%)	(8,0%)	(0%)	(0%)	(100%)
Luxation	7	13	2	1	2	25
	(28,0%)	(52,0%)	(8,0%)	(4,0%)	(8,0%)	(100%)
Luxationsfraktur	4	12	5	1	2	24
	(16,7%)	(50,0%)	(20,8%)	(4,2%)	(8,3%)	(100%)
Gesamt	30	29	9	2	4	74
	(40,5%)	(39,2%)	(12,2%)	(2,7%)	(5,4%)	(100%)

Tabelle 27: Chi<sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 26

Chi-Quadrat-Tests			
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	22,552	8	0,004
Likelihood-Quotient	24,603	8	0,002

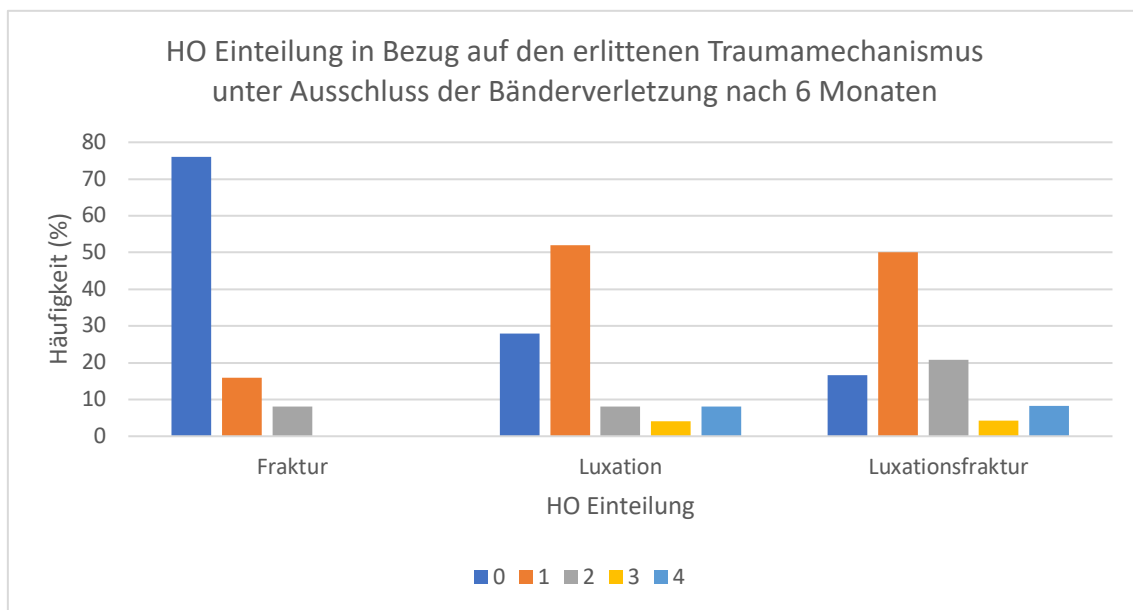


Abbildung 25: HO Einteilung in Bezug auf den erlittenen Traumamechanismus unter Ausschluss der Bänderverletzung nach 6 Monaten

### 3.2.2.2 Ossifikationen

#### 3.2.2.2.1 12 Wochen

Im Folgenden sind die Daten der 12 Wochen Nachkontrolle dargestellt ohne Schweregradeinteilung der HO. Hier zeigen sich nach 12 Wochen bereits hochsignifikante Zusammenhänge ( $p < 0,001$ ) bezüglich des Unfallmechanismus und der Ausbildung von HO. Bandverletzungen und Frakturen führen weniger häufig zur Heterotropen Ossifikationen wie Luxationen und Luxationsfrakturen.

Tabelle 28: Darstellung der Häufigkeit von der Ausbildung oder Ausbleiben von HO in Bezug auf den erlittenen Trauma Mechanismus nach 12 Wochen

Traumamechanismus	12 Wochen		Gesamt
	nein	ja	
Bänder	3 (50,0%)	3 (50,0%)	6 (100%)
Fraktur	36 (75,0%)	12 (25,0%)	48 (100%)
Luxation	16 (34,8%)	30 (65,2%)	46 (100%)
Luxationsfraktur	13 (34,2%)	25 (65,8%)	38 (100%)
Gesamt	68 (49,3%)	70 (50,7%)	138 (100%)

Tabelle 29: Chi<sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 28

	Chi-Quadrat-Tests		
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	20,026	3	<0,001
Likelihood-Quotient	20,713	3	<0,001

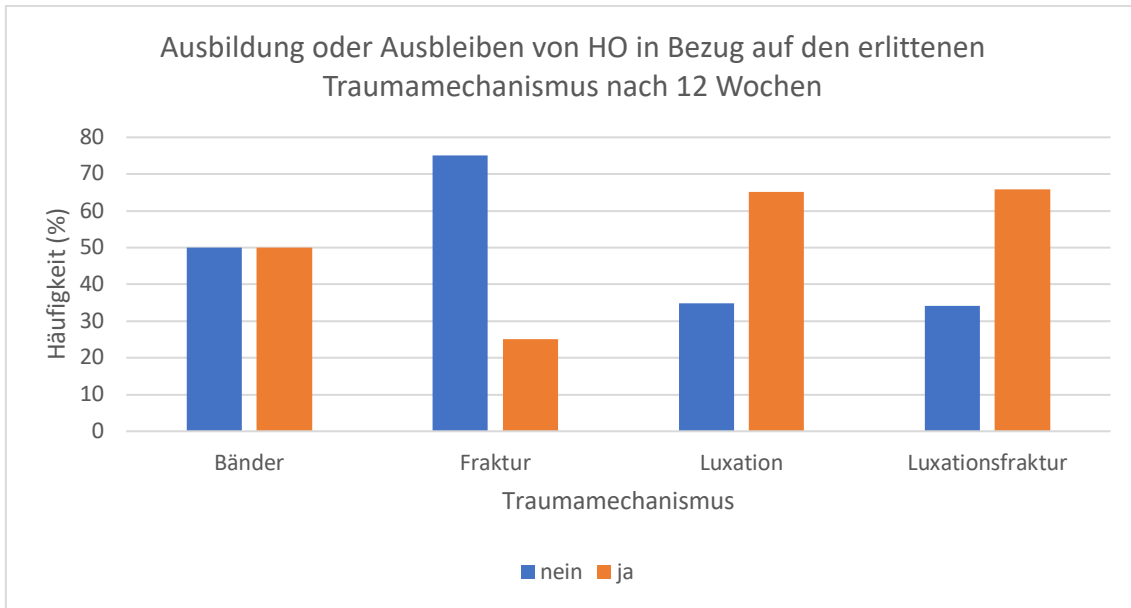


Abbildung 26: Darstellung der Häufigkeit von der Ausbildung oder Ausbleiben von HO in Bezug auf den erlittenen Traumamechanismus nach 12 Wochen

### 3.2.2.2.2 6 Monate

Auch nach 6 Monaten zeigen sich die persistierende Signifikanz ( $p < 0,001$ ) welche bereits nach 12 Wochen dargestellt wurde.

Tabelle 30: Tabelle 31: Darstellung der Häufigkeit von der Ausbildung oder Ausbleiben von HO in Bezug auf den erlittenen Traumamechanismus nach 6 Monaten

Traumamechanismus	6 Monate		Gesamt
	nein	ja	
Bänder	0 (0%)	1 (100%)	1 (100%)
Fraktur	19 (76,0%)	6 (24,0%)	25 (100%)
Luxation	7 (28,0%)	18 (72,0%)	25 (100%)
Luxationsfraktur	4 (16,7%)	20 (83,3%)	24 (100%)
Gesamt	30 (40,0%)	45 (60,0%)	75 (100%)

Tabelle 32: Chi<sup>2</sup> Test zur Darstellung der Signifikanz der erwarteten Häufigkeit aus Tabelle 30

Chi-Quadrat-Tests			
	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	21,111	3	<0,001
Likelihood-Quotient	22,123	3	<0,001



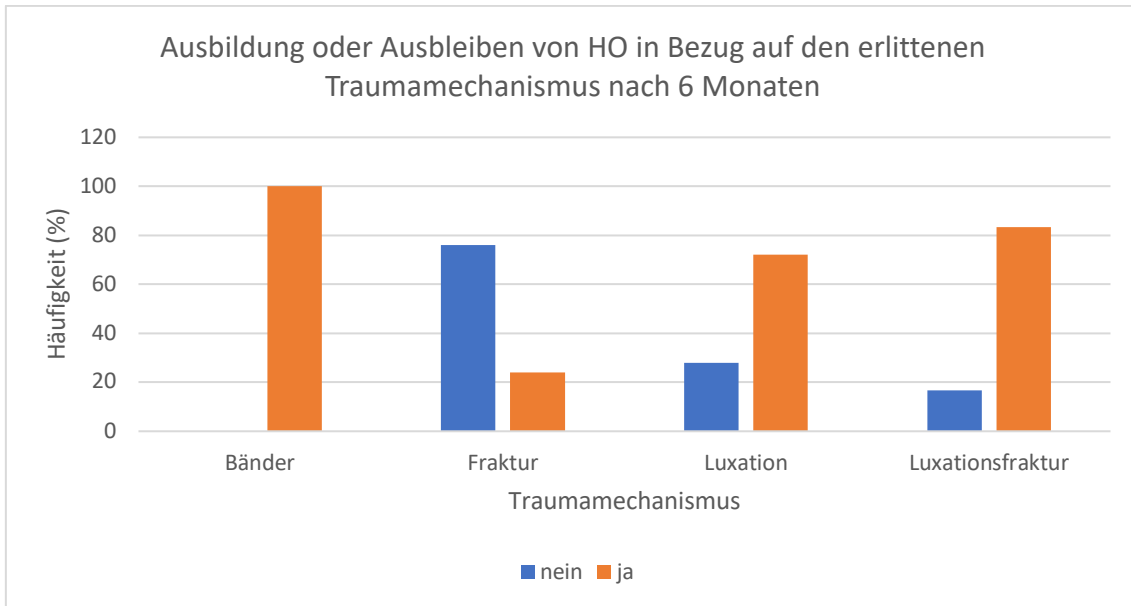


Abbildung 27: Darstellung der Häufigkeit von der Ausbildung oder Ausbleiben von HO in Bezug auf den erlittenen Traumamechanismus nach 6 Monaten

## 4 Diskussion

### 4.1 Zusammenfassung der Hauptergebnisse

Mit der vorliegenden Arbeit wurde anhand von radiologischen Merkmalen die Ausbildung und das Ausmaß von Ossifikationen am Ellenbogengelenk in Abhängigkeit des Verletzungsmusters und einer Ossifikationsprophylaxe analysiert. Auf der Grundlage der analysierten Daten wurde eine Klassifikation für HO am Ellenbogen entwickelt.

Es wurden die Röntgenbilder von 138 Patientinnen und Patienten im Alter von 6-85 Jahre mit Ellenbogenverletzung ausgewertet. Der Untersuchungszeitraum betrug 5 Jahre (2015-2020).

Bei 50,7% der ausgewerteten Röntgenbilder konnte nach 12 Wochen, bei 60% nach 6 Monaten die Ausbildung einer HO nachgewiesen werden. Bei 73,9% wurde eine Ossifikationsprophylaxe gegeben (Indometacin 33,9% und Ibuprofen 64,5%). Bei der Auswertung zeigt sich, zu keinem Zeitpunkt, ein signifikanter Zusammenhang in Bezug auf die Ausbildung einer HO und der Einnahme einer Ossifikationsprophylaxe. Es zeigte sich jedoch ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem erlittenen Traumamechanismus und der Entwicklung von HO nach 12 Wochen ( $p = 0,005$ ) und nach 6 Monaten ( $p = 0,019$ ).

### 4.2 Diskussion der Methoden

#### 4.2.1 Patientinnen und Patientenkollektiv

Bei der Datenerhebung wurden insgesamt 273 Röntgenbilder von Patientinnen und Patienten der BG Unfallklinik Tübingen ausgewertet. 138 Patientinnen und Patienten konnten eingeschlossen werden. 73,9% der Patientinnen und Patienten haben eine Ossifikationsprophylaxe erhalten. Davon wurden 33,9% Indometacin und 64,5% Ibuprofen in verschiedenen Dosierungen und über einen Zeitraum von 7-14 Tage verordnet.

Insgesamt zeigt sich damit im Vergleich zu anderen Studien ein ähnliches bis gering größeres Patientenkollektiv, das untersucht wurde (Foruria *et al.*, 2013; Wahl *et al.*, 2021). In Bezug auf die Ossifikationsprophylaxe gibt es in der

Literatur keinen Standard, sodass auch hier sehr unterschiedliche Dosierungen, Einnahmezeitraum und unterschiedliche NSAR eingenommen wurden. Zum Beispiel untersuchte Bochat 153 Patientinnen und Patienten mit Ellenbogenverletzungen. Die Ossifikationsprophylaxe bestand aus Celecoxib, Ibuprofen, Indometacin, Meloxicam und Naproxen. Außerdem wurde die Ossifikationsprophylaxe über einen sehr unterschiedlichen Zeitraum eingenommen, zwischen 3 Tagen und 6 Wochen (Bochat, Mattin and Ricciardo, 2021).

Somit zeigt es sich schwierig, die unterschiedlich gegebenen Ossifikationsprophylaxen zu vergleichen und auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen.

#### 4.2.2 Auswertung

Die Auswertung der Röntgenbilder und die Einteilung in die HO Klassifikation erfolgte durch einen Untersucher, dadurch kann davon ausgegangen werden, dass die Einteilung der HO in die Klassifikation gleichermaßen durchgeführt wurde. Dies bringt jedoch mit sich, dass die Reliabilität der verwendeten Klassifikation nicht mit getestet wurde.

Andere Studien wie von Wahl et al., haben ebenfalls HO am Ellenbogen bezüglich der Lokalisation untersucht, auf Schwierigkeiten zur genauen Beurteilung der HO im Röntgenbild und durch wie viele Personen diese beurteilt wurde, wird nicht eingegangen (Wahl *et al.*, 2021). Hingegen wurden bei Foruria et al., welche distale Humerusfrakturen auf HO untersuchten, die Röntgenbilder von 2 Personen unabhängig voneinander beurteilt (Foruria *et al.*, 2014).

Diesbezüglich ist eine erneute Einteilung durch einen oder mehrere Untersucher sicherlich sinnvoll, um die Reliabilität der Klassifikation zu überprüfen.

Die Einteilung der Verletzungen wurde auf zwei verschiedene Weisen durchgeführt. Erstens als objektive Klassifizierung in Bänderverletzungen, Frakturen und beide Entitäten gemeinsam. Zweitens in Abhängigkeit des Unfallmechanismus mit Bänderverletzung, Fraktur, Luxation oder

Luxationsfraktur. Die erste Einteilung gestaltet sich als einfach durchführbar, hat jedoch zur weiteren Auswertung geringere Aussagekraft, da sehr viele Patientinnen und Patienten unter die Kategorie "beides" fallen. Die zweite Variante wurde für die weitere statistische Auswertung herangezogen, da wie auch in der Literatur beschrieben ist, dem Unfallmechanismus eine entscheidende Rolle zugeschrieben wird (Wahl *et al.*, 2021). Diese Einteilung zeigt sich jedoch mit unklaren Übergängen, welche abhängig von der Anamnese, Arztbriefen und Röntgen wie eventuell einer MRT Bildgebung sind. In vielen Fällen war eine Subluxation oder sogar Luxation nicht klar oder eindeutig dokumentiert. War bei dem vorliegenden Röntgenbild jedoch von solch einem Ereignis auszugehen, wurden die Verletzungen auch als solche eingeteilt. Gleiches gilt für Frakturen, welche als solche eingeteilt wurden und eine Bandverletzung nicht explizit ausgeschlossen wurde, da klinisch daraus keine Relevanz in der weiteren Behandlung resultiert. Hierdurch wurden jedoch wahrscheinlich einige Bänderverletzungen nicht erfasst.

Da die Anzahl der Studien, welche sich mit HO isoliert am Ellenbogen befassen, eher gering ist, gibt es sehr unterschiedliche Einteilungen in Bezug auf die Ellenbogenpathologie, falls diese überhaupt mitbeurteilt wurde. Bei Wahl *et al.* wurde die Frakturen nach AO eingeteilt (intra- und extraartikulär) und die Luxationen von diesen separat Einzel eingeteilt (Wahl *et al.*, 2021). Bei Hong *et al.* wurden ebenfalls Frakturen nach betroffenen Knochen eingeteilt und die Terrible Triad Verletzung als eigene Kategorie verwendet (Hong *et al.*, 2015).

Grundsätzlich wird in der Klassifikation der Ellenbogenverletzungen und Unfallmechanismen immer ein gewisser Interpretationsspielraum toleriert werden müssen, da die Übergänge der einzelnen Verletzungen nicht in jedem Fall klar abzugrenzen sind.

Bezüglich der Einnahme einer Ossifikationsprophylaxe wurde die Entlassmedikation aus den Arztbriefen überprüft. Dementsprechend ist für jede eingeschlossene Patientin oder Patienten dokumentiert, ob eine Prophylaxe verordnet wurde und welche Dosierung gegeben wurde. Andererseits besteht

keine Überprüfung bezüglich Compliance der Patientinnen oder Patienten und der Sicherheit, ob die Medikation eingenommen wurde. Zusätzlich kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass Patientinnen und Patienten, welche keine Ossifikationsprophylaxe erhalten haben, nicht doch ein NSAR eigenständig über einen unklaren Zeitraum postoperativ eingenommen haben.

Diesbezüglich ist in der Mehrzahl der vorhandenen Literatur keine detaillierte Angabe bezüglich der Patientencompliance, Dosierung und Dauer der Medikation zu finden. Beispielsweise geben Beckmann et al. in einer 2014 veröffentlichten Studie, welcher die Wirkung von NSAR nach Implantation einer Hüfttotalendoprothese in Bezug auf HO untersucht, nur an, dass den Patientinnen und Patienten ein NSAR verschrieben wurde (Beckmann *et al.*, 2014). Jedoch ist davon auszugehen, dass Patientinnen und Patienten mit Hüfttotalersatz eine längere Zeit im Krankenhaus sind, als solche mit Ellenbogenverletzungen und somit die Einnahme zumindest für die ersten Tage postoperativ besser kontrolliert werden kann.

Um die Datenlage zu vervollständigen, müsste eine Befragung der Patientinnen und Patienten stattfinden bezüglich der genauen Einnahme respektive eine prospektive Studie mit ausführlicher Aufklärung der Patientinnen und Patienten durchgeführt werden, um die Compliance zu beurteilen und gegebenenfalls zu erhöhen.

#### 4.2.3 Klassifikation

Im Rahmen dieser Studie wurde eine Klassifikation bezüglich der Ausprägung und Lokalisation von HO am Ellenbogengelenk erarbeitet. Ziel war es, eine Klassifikation zu entwickeln, die einfach und dadurch reproduzierbar anzuwenden ist.

Es zeigte sich, dass die Klassifikation bei allen 138 ausgewerteten Röntgenbildern problemlos angewendet werden konnte. Durch die Gruppierung in 4 Hauptgruppen [0-4] konnte die Ausprägung beziehungsweise der Schweregrad der Ossifikation beschrieben werden. Weiterhin konnte durch die Ergänzung durch die Buchstaben [a,p,r,u] die Lokalisation der Ossifikation

dokumentiert werden. Dies unterscheidet sich klar von bereits vorhandenen Klassifikationen, wie beispielsweise die Hastings und Graham Klassifikation, welche einen großen Spielraum zwischen den verschiedenen Einteilungen lässt und den Fokus vorwiegend auf das Bewegungsausmaß setzt (Hastings and Graham, 1994).

Ob sich die vorgeschlagene Klassifikation auch in der Klinik einfach anwenden lässt, müssen indessen weitere Studien oder die Anwendung im klinischen Alltag zeigen.

#### 4.2.4 Angewandte Statistik

Zur Auswertung und Überprüfung der Signifikanz über erwartete Häufigkeiten wurde der Chi<sup>2</sup>-Test angewandt. Aus statistischer Sicht zeigt die Klassifikation eine Schwachstelle bei ausgeprägten HO. Insgesamt wurden nur bei 4 Patientinnen und Patienten eine radio-ulnare Synostose (Kategorie 4) festgestellt. Zusätzlich wurde in Bezug auf den Traumamechanismus nur bei 6 Patientinnen und Patienten eine reine Bänderverletzung diagnostiziert. Dies führt bei der Auswertung mittels Kreuztabelle und Unterteilung in 6 Wochen, 12 Wochen und 6 Monate wiederholt zu einem nicht Vorhandensein von diesen Kategorien. Um eine fälschliche Ablehnung der Hypothese zu vermeiden, wurden die Auswertungen somit unter Ausschluss von diesen Kategorien nochmals durchgeführt. Auch beim multiplen Testen wurde auf eine Bonferroni-Korrektur verzichtet. Ebenfalls wurde die HO Einteilung nominal und nicht ordinal skaliert, was zu einer konservativeren und sicheren Auswertung führte.

Auch wenn es bei der statistischen Auswertung Sinn ergeben würde, die dritte und vierte Kategorie der HO Einteilung zusammen zu führen, ist unserer Meinung nach jedoch klinisch ein deutlicher Unterschied bezüglich einer Spangenbildung von Oberarm zu Unterarm und einer Synostose von radial zu ulnar, sodass wir auch unter Kenntnisnahme der oben genannten Problematik die dritte und vierte Kategorie als sinnvoll erachten. Auch wenn die Anzahl der Test kritisch beleuchtet werden muss, gehen wir davon aus, dass die Bonferroni-Korrektur

nicht mehr Sicherheit erbracht hätte in Bezug auf die klinische Relevanz der statistischen Auswertung.

## 4.3 Diskussion der Ergebnisse

### 4.3.1 Ossifikationen

Bei der Auswertung der Daten wurden insgesamt nach 12 Wochen und 6 Monaten bei 50,7% beziehungsweise 60,0% der Röntgenbilder HO nachgewiesen.

Im Vergleich zur Literatur liegt die Inzidenz nach Ellenbogenverletzungen in unserem Kollektiv deutlich über dem Durchschnitt. Herman et al. beschreibt zum Beispiel eine Inzidenz von 28,7% nach operativ versorgten Ellenbogenfrakturen (Herman, Edelman and Ilyas, 2021). Foruria et al. untersuchte distale Humerusfrakturen, welche primär mittels Osteosynthese versorgt wurden, hier zeigten sich bei 42% HO nach 12 Wochen (Foruria *et al.*, 2014). Hong et al. untersuchte ebenfalls Ellenbogen auf HO mit einem Follow-up von 6 Monaten, zusätzlich wurde keine Ossifikationsprophylaxe von den 124 Patientinnen und Patienten eingenommen und es zeigte sich nur bei 30% HO (Hong *et al.*, 2015).

Im Vergleich dazu wurden bei unserem Kollektiv deutlich mehr HO diagnostiziert. Die von uns eingeschlossenen Patientinnen und Patienten wurden alle operativ versorgt, was somit zusätzlich zu dem erlittenen Trauma eine zweite Entzündungsreaktion auslöste, welche eventuell zu einer zunehmende HO führen könnte. Zusätzlich wird durch die Manipulation des Knochens durch Reposition der Fraktur oder durch Einbringen von Osteosynthesematerial oder Anker möglicherweise Knochenmaterial in das Weichteilgewebe verschleppt und könnte somit ebenfalls die HO fördern. Bei Foruria et al. und Hong et al. wurden die untersuchten Patientinnen und Patienten jedoch auch mittels Osteosynthese versorgt.

Ein weiterer Faktor könnte die Vorselektion der Patientinnen und Patienten sein. Die von uns eingeschlossenen Patientinnen und Patienten wurden alle im selben Krankenhaus versorgt, welches als überregionales Traumazentrum (deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie) und am Schwerstverletzungsartenverfahren (deutsche gesetzliche Unfallversicherung) teilnimmt. Somit wurden eventuell schwerwiegendere Ellenbogenverletzungen mit einem erhöhten Risiko zur Ausbildung von HO in unsere Auswertung eingeschlossen.

Zusätzlich wurden Röntgenkontrollen nach 6 und 12 Wochen postoperativ durchgeführt. Hier waren jeweils 138 Patientinnen und Patienten zur Nachkontrolle erschienen. Nach 6 Monaten erschienen nur noch 75 Patientinnen und Patienten, weshalb davon ausgegangen werden muss, dass Patientinnen und Patienten, welche geringe postoperative Beschwerden haben, nach einem halben Jahr nicht mehr zur Röntgenkontrolle kommen und diejenigen mit persistierenden Beschwerden sich zu diesem Zeitpunkt weiterhin zur Kontrolle vorstellen.

#### 4.3.2 Ossifikationsprophylaxe

Insgesamt wurden bei 73,9% Patientinnen und Patienten eine Ossifikationsprophylaxe gegeben (Indometacin 33,9% und Ibuprofen 64,5%), 26,1% haben keine erhalten. Bei der Auswertung zeigt sich, zu keinem Zeitpunkt, ein signifikanter Unterschied in Bezug auf die Ausbildung einer HO und der Einnahme einer Ossifikationsprophylaxe.

In der Literatur gibt es diesbezüglich widersprüchliche Aussagen, zum Beispiel Bochat et al. untersuchte ebenfalls 153 Patientinnen und Patienten nach operativ versorgter Ellenbogenverletzung. 78 Patientinnen und Patienten erhielten eine Ossifikationsprophylaxe und 72 haben keine eingenommen. Auch hier konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden zwischen beiden Gruppen (Bochat, Mattin and Ricciardo, 2021). Li et al. zeigte, dass Celecoxibe als sekundäre Prävention bei Beginn der Einnahme, nachdem im Röntgen die ersten Anzeichen auf HO sichtbar wurden, keinen signifikanten Unterschied ergab (Li et al., 2019).



Jedoch konnte auch gezeigt werden, dass bei Patientinnen und Patienten, welche aufgrund einer bereits bestehenden posttraumatischen Bewegungseinschränkung operativ mittels Arthrolyse versorgt worden sind, sich ein signifikant verbessertes Bewegungsausmaß am Ellenbogen zeigte, bei der Gruppe, welche Celecoxib als sekundäre Prophylaxe erhalten hatten. Auf die radiologische Präsenz von HO wurde hier jedoch nicht eingegangen (Sun *et al.*, 2015).

Joice *et al.* untersuchte in einer Meta-Analyse nach systemischer Literatur Recherche mit Einschluss von 29 Studien ein signifikant geringeres Risiko zur Ausbildung von HO (Odds Ratio -1,35, Konfidenz Intervall -1,83/-0,86) im Vergleich zur Placebogruppe bei Patientinnen und Patienten nach Hüftgelenktotalendoprothese (Joice, Vasileiadis and Amanatullah, 2018).

Somit zeigt sich, dass in Bezug auf die HO am Ellenbogen entscheidende Untersuchungen fehlen. Rückschlüsse, welche zur HO Prophylaxe im Rahmen einer operativen Versorgung oder nach Trauma am Hüftgelenk gezogen wurden, können nach unserer Recherche und erhobenen Daten nicht ohne weitere Untersuchungen auf den Ellenbogen übertragen werden.

#### 4.3.3 Unfallmechanismus

Bei unseren Untersuchungen zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem erlittenen Traumamechanismus und der Entwicklung von HO nach 12 Wochen ( $p = 0,005$ ) und nach 6 Monaten ( $p = 0,019$ ). In der Literatur wird dieses Ergebnis ebenfalls widerspiegelt. Wiggers *et al.* untersuchte 417 Patientinnen und Patienten bezüglich Ausbildung von HO und Bewegungseinschränkung und klassifizierte diese nach Hastings und Graham (Hastings and Graham, 1994). Dabei zeigte sich die humeroulnare Luxation mit einer zusätzlichen knöchernerer Läsion als Risikofaktor in Bezug auf die Ausbildung einer schwerwiegenderen HO ( $p = 0,05$ , Odds Ratio=2,38) (Wiggers *et al.*, 2014).

Dies erscheint nachvollziehbar, da es im Rahmen einer humeroulnaren Luxation zu einem erheblichen Trauma der Weichteile mit Bändern, Kapsel und

Muskulatur kommt und eine ausgeprägte Entzündungsreaktion im Weichteilgewebe zu der Ausbildung von HO führen kann (Lin *et al.*, 2011). Kommt es dabei zusätzlich zu knöchernen Läsionen im Sinne einer knöchernerer Abspaltung, können diese Fragmente im Weichteilgewebe zu einer zunehmenden HO beitragen jedoch fehlen hierfür weiterhin die wissenschaftlichen Daten und Untersuchungen.

In Bezug auf die Klinik könnte sich als Konsequenz ergeben, dass bei Patientinnen und Patienten mit einer reinen Bandläsion ohne stattgehabte Luxation und ohne knöchernerer Abspaltung es vertretbar, respektiv angebracht wäre, auf eine Ossifikationsprophylaxe zu verzichten.

#### 4.4 Ausblick

Insgesamt zeigt sich, dass die wissenschaftliche Datenlage in Bezug auf die Ausbildung von HO am Ellenbogengelenk nach Trauma derzeit noch lückenhaft ist. Der Zusammenhang zwischen Trauma und Ausbildung einer Ossifikation sowie die Frage nach dem Nutzen einer Prophylaxe sind nicht abschließend geklärt. Hinzu kommt, dass sich viele Untersuchungen auf die Ausbildung von HO im Bereich des Hüftgelenkes beziehen. Unsere Studie sowie wenige andere zeigen jedoch, dass am Ellenbogen durchaus andere Faktoren eine Rolle spielen. Unsere Klassifikation soll helfen, die Einteilung der HO zu vereinfachen und somit besser anwenden zu können, was langfristig zu einer verbesserten Datenlage führen soll.

Die Inter- und Intraratenreliabilität der Einteilung sollte im Verlauf überprüft werden. Ebenfalls ist die Anwendung der Klassifikation und Durchführung einer multizentrischen Untersuchung sicherlich sinnvoll, um unseren Zahlen hinsichtlich der Inzidenz von HO zu überprüfen.

Weitere Untersuchungen in Bezug auf die Funktion des Ellenbogengelenkes mit anschließender Korrelation der HO Klassifikation wären interessant, um eventuell

die Prognose der Bewegungseinschränkung besser abschätzen zu können und damit der zeitliche Verlauf der klinischen Beschwerden und der sichtbaren HO im Röntgenbild dargestellt werden kann.

## 5 Zusammenfassung

Heterotope Ossifikationen (HO) nach Verletzungen am Ellenbogen können zu einem erheblichen Funktionsverlust des Gelenkes führen. Als Prävention der HO werden NSAR verabreicht oder eine Bestrahlung durchgeführt. Für die radiologische Einteilung der HO wird standardmäßig die Brooker Klassifikation angewandt, welche für HO am Hüftgelenk entwickelt wurde. Die Graham und Hastings Einteilung für den Ellenbogen bezieht sich vorwiegend auf die funktionellen Einschränkungen am Gelenk.

Ziel der durchgeführten Untersuchung war es, eine Klassifikation zu erarbeiten, die anwenderfreundlich und reproduzierbar anzuwenden ist. Sie orientiert sich am Röntgenbild in 2 Ebenen und wurde für das Ellenbogengelenk konzipiert. Dadurch soll die HO am Ellenbogen besser untersucht werden können.

Röntgenbilder von 138 Patientinnen und Patienten im Alter von 6-85 Jahre mit Ellenbogenverletzung und operativer Therapie wurden über den Zeitraum von 5 Jahren (2015-2020) ausgewertet. Die neue Klassifikation wurde nach 6 Wochen, 12 Wochen und 6 Monaten angewendet. Es erfolgte die Auswertung bezüglich der Ossifikationsprophylaxe und des erlittenen Traumas.

Bei 50,7% der ausgewerteten Röntgenbilder konnte nach 12 Wochen, bei 60% nach 6 Monaten die Ausbildung einer HO nachgewiesen werden. Bei 73,9% wurde eine Ossifikationsprophylaxe verabreicht (Indometacin 33,9% und Ibuprofen 64,5%). Bei der Auswertung zeigt sich, zu keinem Zeitpunkt, ein signifikanter Unterschied in Bezug auf die Ausbildung einer HO und der Einnahme einer Ossifikationsprophylaxe. Es zeigte sich jedoch ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem erlittenen Traumamechanismus und der Entwicklung von HO nach 12 Wochen ( $p = 0,005$ ) und nach 6 Monaten ( $p = 0,019$ ).

Durch die neue Klassifikation konnten HO nachvollziehbar klassifiziert werden. Die Ergebnisse zeigen keinen Zusammenhang zwischen der postoperativen Einnahme einer Ossifikationsprophylaxe und der Ausbildung einer HO, weshalb der Einsatz von dieser nach Ellenbogenverletzung im klinischen Alltag hinterfragt werden sollte und gegebenenfalls an das erlittene Trauma angepasst werden muss.

## 6 Literaturverzeichnis

- Akesson, T., Herbertsson, P., Josefsson, P. O., Hasserijs, R., Besjakov, J. and Karlsson, M. K. (2006) 'Primary nonoperative treatment of moderately displaced two-part fractures of the radial head', *J Bone Joint Surg Am*, 88(9), pp. 1909-14.
- Archdeacon, M. T., d'Heurle, A., Nemeth, N. and Budde, B. (2014) 'Is preoperative radiation therapy as effective as postoperative radiation therapy for heterotopic ossification prevention in acetabular fractures?', *Clin Orthop Relat Res*, 472(11), pp. 3389-94.
- Barthel, T., Baumann, B., Nöth, U. and Eulert, J. (2002) 'Prophylaxis of heterotopic ossification after total hip arthroplasty: a prospective randomized study comparing indomethacin and meloxicam', *Acta Orthop Scand*, 73(6), pp. 611-4.
- Beckmann, J. T., Wylie, J. D., Kapron, A. L., Hanson, J. A., Maak, T. G. and Aoki, S. K. (2014) 'The Effect of NSAID Prophylaxis and Operative Variables on Heterotopic Ossification After Hip Arthroscopy', *Am J Sports Med*, 42(6), pp. 1359-64.
- Bochat, K., Mattin, A. C. and Ricciardo, B. J. (2021) 'The efficacy of nonsteroidal anti-inflammatories in the prevention of heterotopic ossification following elbow trauma surgery', *JSES Int*, 5(4), pp. 793-796.
- Bossche, L. V. and Vanderstraeten, G. (2005) 'Heterotopic ossification: a review', *J Rehabil Med*, 37(3), pp. 129-36.
- Brooker, A. F., Bowerman, J. W., Robinson, R. A. and Riley, L. H. (1973) 'Ectopic ossification following total hip replacement. Incidence and a method of classification', *J Bone Joint Surg Am*, 55(8), pp. 1629-32.
- Bryce, C. D. and Armstrong, A. D. (2008) 'Anatomy and biomechanics of the elbow', *Orthop Clin North Am*, 39(2), pp. 141-54, v.
- Dey, D., Wheatley, B. M., Cholok, D., Agarwal, S., Yu, P. B., Levi, B. and Davis, T. A. (2017) 'The traumatic bone: trauma-induced heterotopic ossification', *Transl Res*, 186, pp. 95-111.
- Douglas, K., Cannada, L. K., Archer, K. R., Dean, D. B., Lee, S. and Obrebsky, W. (2012) 'Incidence and risk factors of heterotopic ossification following major elbow trauma', *Orthopedics*, 35(6), pp. e815-22.
- Ellwein, A., Voigt, C. and Lill, H. (2016) 'Epidemiologie und Unfallmechanismus', in Müller, L.P., Hollinger, B. and Burkhart, K. (eds.) *Expertise Ellenbogen*. 1. Auflage ed: Georg Thieme Verlag KG.
- Elmstedt, E., Lindholm, T. S., Nilsson, O. S. and Törnkvist, H. (1985) 'Effect of ibuprofen on heterotopic ossification after hip replacement', *Acta Orthop Scand*, 56(1), pp. 25-7.
- Foruria, A. M., Augustin, S., Morrey, B. F. and Sánchez-Sotelo, J. (2013) 'Heterotopic Ossification After Surgery for Fractures and Fracture-Dislocations Involving the Proximal Aspect of the Radius or Ulna', *JBJS*, 95(10), pp. e66.
- Foruria, A. M., Lawrence, T. M., Augustin, S., Morrey, B. F. and Sanchez-Sotelo, J. (2014) 'Heterotopic ossification after surgery for distal humeral fractures', *Bone Joint J*, 96-B(12), pp. 1681-7.
- Gautschi, O. P., Cadosch, D., Bauer, S., Filgueira, L. and Zellweger, R. (2008) 'Heterotopie Ossifikation', *Der Unfallchirurg*, 111(7), pp. 523-534.

Gühring M, Stuby FM, Freude T and U, S. c. 2016. Recommendations for the treatment of the radial head fracture. OUP.

Hastings, H. and Graham, T. J. (1994) 'The classification and treatment of heterotopic ossification about the elbow and forearm', *Hand Clin*, 10(3), pp. 417-37.

Hemm F, Anastasopoulou L, Thormann U, Heiß C and M, R. 2019. Heterotopie Ossifikationen nach gelenknahen Frakturen. Klinische Bedeutung, aktueller Stand und Ausblick der Therapie. OUP.

Herman, Z. J., Edelman, D. G. and Ilyas, A. M. (2021) 'Heterotopic Ossification After Elbow Fractures', *Orthopedics*, 44(1), pp. 10-16.

Hong, C. C., Nashi, N., Hey, H. W., Chee, Y. H. and Murphy, D. (2015) 'Clinically relevant heterotopic ossification after elbow fracture surgery: a risk factors study', *Orthop Traumatol Surg Res*, 101(2), pp. 209-13.

Hoyt, B. W., Pavey, G. J., Potter, B. K. and Forsberg, J. A. (2018) 'Heterotopic ossification and lessons learned from fifteen years at war: A review of therapy, novel research, and future directions for military and civilian orthopaedic trauma', *Bone*, 109, pp. 3-11.

Jeon, I. H., Micic, I. D., Yamamoto, N. and Morrey, B. F. (2008) 'Osborne-cotterill lesion: an osseous defect of the capitellum associated with instability of the elbow', *AJR Am J Roentgenol*, 191(3), pp. 727-9.

Johnston, G. W. (1962) 'A follow-up of one hundred cases of fracture of the head of the radius with a review of the literature', *Ulster Med J*, 31, pp. 51-6.

Joice, M., Vasileiadis, G. I. and Amanatullah, D. F. (2018) 'Non-steroidal anti-inflammatory drugs for heterotopic ossification prophylaxis after total hip arthroplasty: a systematic review and meta-analysis', *Bone Joint J*, 100-B(7), pp. 915-922.

Kluk, M. W., Ji, Y., Shin, E. H., Amrani, O., Onodera, J., Jackson, W. M. and Nesti, L. J. (2012) 'Fibroregulation of mesenchymal progenitor cells by BMP-4 after traumatic muscle injury', *J Orthop Trauma*, 26(12), pp. 693-8.

Kölbl, O., Barthel, T., Krödel, A. and Seegenschmiedt, M. H. (2003) 'Prävention von heterotopen Ossifikationen nach Totalendoprothese des Hüftgelenks', *Dtsch Arztebl*, 100(45), pp. 2944-2954.

Lanzerath, F., Hackl, M., Wegmann, K., Müller, L. P. and Leschinger, T. (2021) 'The treatment of isolated Mason type II radial head fractures: a systematic review', *J Shoulder Elbow Surg*, 30(3), pp. 487-494.

Li, F., Mao, D., Pan, X., Zhang, X., Mi, J. and Rui, Y. (2019) 'Celecoxib cannot inhibit the progression of initiated traumatic heterotopic ossification', *J Shoulder Elbow Surg*, 28(12), pp. 2379-2385.

Lin, L., Shen, Q., Leng, H., Duan, X., Fu, X. and Yu, C. (2011) 'Synergistic inhibition of endochondral bone formation by silencing Hif1 $\alpha$  and Runx2 in trauma-induced heterotopic ossification', *Mol Ther*, 19(8), pp. 1426-32.

McAuliffe, J. A. and Wolfson, A. H. (1997) 'Early excision of heterotopic ossification about the elbow followed by radiation therapy', *J Bone Joint Surg Am*, 79(5), pp. 749-55.

Meacher, H., Hermena, S. and Isaac, S. (2020) 'Open Reduction and Internal Fixation Versus Radial Head Arthroplasty for Mason III Radial Head Fractures: Appraising the Current Literature Evidence', *Cureus*, 12(4), pp. e7501.

- Milakovic, M., Popovic, M., Raman, S., Tsao, M., Lam, H. and Chow, E. (2015) 'Radiotherapy for the prophylaxis of heterotopic ossification: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials', *Radiother Oncol*, 116(1), pp. 4-9.
- Morrey, B. F., An, K. N. and Stormont, T. J. (1988) 'Force transmission through the radial head', *J Bone Joint Surg Am*, 70(2), pp. 250-6.
- Nauth, A., Giles, E., Potter, B. K., Nesti, L. J., O'Brien, F. P., Bosse, M. J., Anglen, J. O., Mehta, S., Ahn, J., Miclau, T. and Schemitsch, E. H. (2012) 'Heterotopic ossification in orthopaedic trauma', *J Orthop Trauma*, 26(12), pp. 684-8.
- O'Driscoll, S. W. (1999) 'Elbow instability', *Acta Orthop Belg*, 65(4), pp. 404-15.
- O'Driscoll, S. W., Morrey, B. F., Korinek, S. and An, K. N. (1992) 'Elbow subluxation and dislocation. A spectrum of instability', *Clin Orthop Relat Res*, (280), pp. 186-97.
- Palvanen, M., Kannus, P., Niemi, S. and Parkkari, J. (2010) 'Secular trends in distal humeral fractures of elderly women: nationwide statistics in Finland between 1970 and 2007', *Bone*, 46(5), pp. 1355-8.
- Persson, P. E., Sodemann, B. and Nilsson, O. S. (1998) 'Preventive effects of ibuprofen on periarticular heterotopic ossification after total hip arthroplasty. A randomized double-blind prospective study of treatment time', *Acta Orthop Scand*, 69(2), pp. 111-5.
- Pignolo, R. J., Shore, E. M. and Kaplan, F. S. (2011) 'Fibrodysplasia ossificans progressiva: clinical and genetic aspects', *Orphanet J Rare Dis*, 6, pp. 80.
- Powell, A. J., Farhan-Alanie, O. M., Bryceland, J. K. and Nunn, T. (2017) 'The treatment of olecranon fractures in adults', *Musculoskelet Surg*, 101(1), pp. 1-9.
- Ranganathan, K., Peterson, J., Agarwal, S., Oluwatobi, E., Loder, S., Forsberg, J. A., Davis, T. A., Buchman, S. R., Wang, S. C. and Levi, B. (2015) 'Role of gender in burn-induced heterotopic ossification and mesenchymal cell osteogenic differentiation', *Plast Reconstr Surg*, 135(6), pp. 1631-41.
- Regan, W. and Morrey, B. (1989) 'Fractures of the coronoid process of the ulna', *J Bone Joint Surg Am*, 71(9), pp. 1348-54.
- Ritter, M. A. and Gioe, T. J. (1982) 'The effect of indomethacin on para-articular ectopic ossification following total hip arthroplasty', *Clin Orthop Relat Res*, (167), pp. 113-7.
- Roberts, P. H. (1969) 'Dislocation of the elbow', *Br J Surg*, 56(11), pp. 806-15.
- Robinson, C. M., Hill, R. M., Jacobs, N., Dall, G. and Court-Brown, C. M. (2003) 'Adult distal humeral metaphyseal fractures: epidemiology and results of treatment', *J Orthop Trauma*, 17(1), pp. 38-47.
- Rommens, P. M., Kühle, R., Schneider, R. U. and Reuter, M. (2004) 'Olecranon fractures in adults: factors influencing outcome', *Injury*, 35(11), pp. 1149-57.
- Rosteijs, T., Suero, E. M., Grasmücke, D., Aach, M., Gisevius, A., Ohlmeier, M., Meindl, R., Schildhauer, T. A. and Citak, M. (2017) 'The sensitivity of ultrasound screening examination in detecting heterotopic ossification following spinal cord injury', *Spinal Cord*, 55(1), pp. 71-73.
- Schatzker, J. (1987) 'Fractures of the Olecranon', *The Rationale of Operative Fracture Care*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 89-95.
- Schurch, B., Capaul, M., Vallotton, M. B. and Rossier, A. B. (1997) 'Prostaglandin E2 measurements: Their value in the early diagnosis of heterotopic ossification in spinal cord injury patients', *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 78(7), pp. 687-691.

- Siebenlist, S. and Stöckle, U. (2016) 'Einleitung', in Müller, L.P., Hollinger, B. and Burkhart, K. (eds.) *Expertise Ellenbogen*. 1. Auflage ed: Georg Thieme Verlag KG.
- Sullivan, C. W. and Desai, K. (2019) 'Classifications in Brief: Mayo Classification of Olecranon Fractures', *Clin Orthop Relat Res*, 477(4), pp. 908-910.
- Sun, Y., Cai, J., Li, F., Liu, S., Ruan, H. and Fan, C. (2015) 'The efficacy of celecoxib in preventing heterotopic ossification recurrence after open arthrolysis for post-traumatic elbow stiffness in adults', *J Shoulder Elbow Surg*, 24(11), pp. 1735-40.
- van Riet, R. P. and Morrey, B. F. (2008) 'Documentation of associated injuries occurring with radial head fracture', *Clin Orthop Relat Res*, 466(1), pp. 130-4.
- Vanden Bossche, L. and Vanderstraeten, G. (2005) 'Heterotopic ossification: a review', *J Rehabil Med*, 37(3), pp. 129-36.
- Vanden Bossche, L. C., Van Maele, G., Wojtowicz, I., Bru, I., Decorte, T., De Muynck, M., Rimbaut, S. and Vanderstraeten, G. (2009) 'Free radical scavengers versus methylprednisolone in the prevention of experimentally induced heterotopic ossification', *Journal of Orthopaedic Research*, 27(6), pp. 748-751.
- Vavken, P., Castellani, L. and Sculco, T. P. (2009) 'Prophylaxis of heterotopic ossification of the hip: systematic review and meta-analysis', *Clin Orthop Relat Res*, 467(12), pp. 3283-9.
- Wahl, E. P., Casey, P. M., Risoli, T., Green, C. L., Richard, M. J. and Ruch, D. S. (2021) 'Heterotopic ossification formation after fractures about the elbow', *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 31(6), pp. 1061-1067.
- Wick, M., Müller, E. J., Hahn, M. P. and Muhr, G. (1999) 'Surgical excision of heterotopic bone after hip surgery followed by oral indomethacin application: is there a clinical benefit for the patient?', *Arch Orthop Trauma Surg*, 119(3-4), pp. 151-5.
- Wiggers, J. K., Helmerhorst, G. T., Brouwer, K. M., Niekel, M. C., Nunez, F. and Ring, D. (2014) 'Injury complexity factors predict heterotopic ossification restricting motion after elbow trauma', *Clin Orthop Relat Res*, 472(7), pp. 2162-7.



## 7 Erklärungen zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde in der BG Unfallklinik Tübingen unter Betreuung von Priv. Doz. Dr. med. D. Döbele durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit Priv. Doz. Dr. med. C. Konrads und Priv. Doz. Dr. med. P. Ziegler als Mentoren.

Die Auswertungen wurden von mir eigenständig durchgeführt.

Die statistische Auswertung erfolgte eigenständig nach Beratung durch das Institut für Biometrie nach Anleitung durch Dipl.-Psych. Dr. Johann Jacoby.

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

Tübingen, den 11.03.2022

---