

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN  
Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie  
Klinikum rechts der Isar  
(Direktor: Univ.-Prof. Dr. Peter Biberthaler)

# **Tibiakopf-Frakturen – Nachuntersuchung zur Sportfähigkeit und Erprobung eines neuen OP-Verfahrens mittels Ballon-Osteoplastie im Kadavermodell**

**Dirk Matthias Müller**

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Medizin

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. Ernst J. Rummeny  
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. Peter Biberthaler  
2. Priv.-Doz. Dr. Stephan G. F. Lorenz  
3. Priv.-Doz. Dr. Lorenz Stötter

Die Dissertation wurde am 13.03.2013 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 13.11.2013 angenommen.

---

**PUBLIKATIONEN**

Mit Genehmigung der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München wurden Teile dieser Doktorarbeit bereits vorab veröffentlicht:

Return to Sports Activity After Tibial Plateau Fractures, 89 Cases With Minimum 24-Month Follow-up

Tobias M. Kraus, Frank Martetschläger, **Dirk Müller**, Karl F. Braun, Philipp Ahrens, Sebastian Siebenlist, Ulrich Stöckle, and Gunther H. Sandmann

The American Journal of Sports Medicine, 2012 Dec; 40(12):2845-52

DOI: 10.1177/0363546512462564

2012 Impact factor: 4,439

Balloon osteoplasty - a new technique for reduction and stabilisation of impression fractures in the tibial plateau: a cadaver study and first clinical application

Ahrens P, Sandmann G, Bauer J, König B, Martetschläger F, **Müller D**, Siebenlist S, Kirchhoff C, Neumaier M, Biberthaler P, Stöckle U, Freude T

International Orthopaedics 2012 Sep; 36(9):1937-40.

DOI: 10.1007/s00264-012-1592-8

2012 Impact factor: 2,319

Balloon osteoplasty - a new technique for minimally invasive reduction and stabilisation of Hill-Sachs lesions of the humeral head: a cadaver study

Sandmann GH, Ahrens P, Schaeffeler C, Bauer JS, Kirchhoff C, Martetschläger F, **Müller D**, Siebenlist S, Biberthaler P, Stöckle U, Freude T.

International Orthopaedics 2012 Nov; 36(11):2287-91.

DOI: 10.1007/s00264-012-1644-0

2012 Impact factor: 2,319

Tibiakopffrakturen im alpinen Skisport – Rückkehr auf die Skipiste oder Karriereende?

Nachuntersuchung von 28 Fällen mit einem mindest Follow-up von 2 Jahren

**D. Müller**, G.H. Sandmann, F. Martetschläger, U. Stöckle, T.M. Kraus

Sportverletzung Sportschaden 2014; 28(1): 24-30

DOI: 10.1055/s-0034-1366146

2012 Impact factor: 0,458

## ZUSAMMENFASSUNG

Diese Doktorarbeit besteht aus zwei Teilen, Teil 1 ist eine Nachuntersuchungs-Studie und der experimentelle Teil 2 beschreibt eine neue OP-Technik.

### TEIL 1 (Nachuntersuchung „Return to Sports Activity“)

**Hintergrund:** Tibiakopf-Frakturen gehören zu den schwersten Verletzungen des Kniegelenkes. Da sich die meisten in der Literatur vorhandenen Studien auf den Langzeit Outcome und die Prävention der posttraumatischen Arthrose konzentrieren, existieren nur wenige Daten zur Sportfähigkeit nach Tibiakopf-Frakturen.

**Hypothese:** Sowohl Freizeitsportler als auch professionelle Sportler werden nach der Tibiakopf-Fraktur in ihrer Sportfähigkeit und ihrem Arbeitsleben stark eingeschränkt sein. Trotz langer Rehabilitationszeiten werden die Patienten ihre Sportaktivitäten hin zu weniger die Knie belastenden Sportarten ändern.

**Studiendesign:** Fallserie; Level of evidence: 4.

**Methoden:** Insgesamt 89 Patienten konnten in die Nachuntersuchungs-Studie eingeschlossen werden. Die Daten wurden anhand eines standardisierten Fragebogens erhoben.

Die Einschlusskriterien waren Tibiakopf-Frakturen, die zwischen 2003 und 2009 am Klinikum rechts der Isar der TU München operativ versorgt wurden. Der Nachbeobachtungszeitraum („Follow-up“) für die Studie betrug mindestens 24 Monate.

Die Sportaktivität der Patienten wurde zu folgenden Zeitpunkten erhoben: Vor der Verletzung, 1 Jahr postoperativ und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (im Mittel 52,8 Monate postoperativ). Der klinische Outcome wurde gemessen anhand von Lysholm Score, Tegner Activity Scale, der Activity Rating Scale (ARS), und der visuellen Analogskala für Schmerz (VAS). Zur Klassifikation der Frakturen wurden die AO-Klassifikation und die Schatzker-Klassifikation verwendet.

**Ergebnisse:** Zum Zeitpunkt der Verletzung betrieben 88,8% aller Patienten Sport. 1 Jahr postoperativ betrieben nur noch 62,9% aller Patienten Sport und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung betrieben 73,0% aller Patienten wieder Sport. Von den Patienten, die professionelle Sportler waren oder an sportlichen Wettkämpfen teilnahmen (11 Patienten zum Zeitpunkt des Unfalls), betrieben zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung nur noch 2 Patienten Sport auf Wettkampfniveau.

Innerhalb der Patienten, die sportlich aktiv waren, verringerte sich die Anzahl an unterschiedlichen Sportarten signifikant von 4,9 zum Zeitpunkt der Verletzung auf 3,6 zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung ( $P < 0,001$ ). Diese Patienten trieben vor der Verletzung im Durchschnitt 2,8-mal pro Woche Sport, zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung nur noch 2,4-mal pro Woche ( $P < 0,001$ ). Vor dem Unfall trieben diese Patienten im Mittel 4,5 Stunden pro Woche Sport, zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung nur noch 3,8 Stunden ( $P = 0,007$ ).

Der Lysholm Knie Score sank von 98,7 Punkten vor dem Unfall auf 76,6 Punkte zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung ( $P < 0,001$ ). Die Schmerzen im Knie gemessen mit der VAS stiegen von 0,2 vor dem Unfall auf 2,6 zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung ( $P < 0,001$ ).

Die Hochrasanztraumata, Schatzker IV bis VI, zeigten signifikant schlechtere Ergebnisse als die Niedrig-Energie-Traumata, Schatzker I bis III, sowohl im Lysholm Score ( $P < 0,001$ ) als auch im Tegner Aktivitätsindex ( $P = 0,027$ ).

**Schlussfolgerung:** Der Mehrzahl der Patienten konnte nach der Tibiakopf-Fraktur nicht auf das vorherige Sportniveau zurückkehren. Für Patienten, die vor dem Unfall wettkampfmäßig Sport betrieben, bedeutete die Verletzung oft das Ende der sportlichen Karriere.

Insgesamt zeigte sich nach dem Unfall eine Veränderung des Sportverhaltens hin zu weniger die Knie belastenden Sportarten („low-impact“ Sportarten). Trotzdem betrieben zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung immerhin wieder 73,0% aller Patienten Sport.

## **TEIL 2 (Experimenteller Teil: Ballon-Osteoplastie von Tibiakopf-Frakturen)**

**Hintergrund:** Wie im Teil 1 der Arbeit gezeigt, sind Tibiakopf-Frakturen immer noch eine komplexe, anspruchsvoll zu behandelnde und folgenreiche Verletzung. Auch für erfahrene Unfallchirurgen sind Tibiakopf-Frakturen noch immer eine Herausforderung. Nach Tibiakopf-Frakturen kommt es schnell zu fortgeschrittener Kniegelenksarthrose, wenn die Gelenkflächen operativ nicht exakt reponiert werden. Die Standardoperationstechniken sind offene Verfahren (ORIF). In Teil 2 der Doktorarbeit werden die Entwicklung einer neuen minimal-invasiven Operationstechnik und ihre Erprobung im Kadavermodell beschrieben.

**Methoden:** Die Ballon-Kyphoplastie wird im Bereich der Wirbelsäule seit vielen Jahren erfolgreich eingesetzt. In der hier vorliegenden biomechanischen Studie wurde das minimal-invasive Instrumentarium modifiziert, um mit Hilfe der Ballon-Osteoplastie Tibiakopf-Frakturen im Kadavermodell zu reponieren.

**Ergebnisse:** In einer Reihe von Vorversuchen wurde die optimale Platzierung des Osteoplastie-Ballons ermittelt. Die besten Ergebnisse wurden erzielt, wenn der Ballon ca. 3 mm unter dem tiefsten Punkt der Fraktur platziert wurde.

Dabei zeigte sich, dass mit handelsüblichen Ballons ein nach cranial gerichtetes Anheben der Fraktur nur schwer möglich war, da der Ballon nach unten ausweichen kann. Zur Lösung des Problems wurde eine Osteo Introducer Kanüle so modifiziert, dass der Ballon aus einer seitlichen Fensterung der Kanüle austritt und der Ballon durch die bikortikale Verankerung der Kanüle im Tibiakopf abgestützt wird. Mit diesem neuen Instrument konnte ein nach oben gerichtetes Anheben der Fraktur erzielt werden.

In Versuchen im Kadavermodell konnte gezeigt werden, dass es mit der Ballon-Osteoplastie und dem neuen Instrumentarium möglich ist, Tibiakopf-Frakturen exzellent zu reponieren und die Gelenkflächen anatomisch zu rekonstruieren

**Schlussfolgerung:** Diese neue OP-Technik ist eine erfolgversprechende Methode, um Tibiakopf-Frakturen minimal-invasiv zu reponieren.

Im weiteren Verlauf der Forschung wurde diese Technik auch zur Reposition von Hill-Sachsdellen am Humeruskopf nach Schulterluxationen erfolgreich eingesetzt (siehe dazu gesonderte Publikation [59]).



---

## DANKSAGUNG

Mein Dank gilt Professor Ulrich Stöckle (Unfallchirurgie, Klinikum rechts der Isar München, jetzt BG Klinik Tübingen) für die Bereitstellung des Themas.

Bei meinem Betreuerteam, bestehend aus Dr. Gunther Sandmann, Dr. Tobias Kraus, Dr. Philipp Ahrens, Dr. Frank Martetschläger, möchte ich mich für die Betreuung dieser Arbeit bedanken, auch wenn es im hektischen unfallchirurgischen Arbeitsalltag immer wieder Terminprobleme gab. Trotz allem haben wir am Ende mehrere hervorragende Publikationen erreicht, unter anderem wurden die Ergebnisse dieser Dissertation in der renommierten Fachzeitschrift „American Journal of Sports Medicine“ veröffentlicht.

Mein besonderer Dank gilt Professor Peter Biberthaler, dem neuen Ordinarius für Unfallchirurgie am Klinikum rechts der Isar, der sich nach dem Wechsel von Professor Ulrich Stöckle an die BG Klinik Tübingen bereit erklärt hat, die formale Betreuung dieser Arbeit zu übernehmen. Vielen Dank für die Unterstützung!

Bedanken möchte ich mich auch bei dem Statistiker Dr. Alexander Hapfelmeier vom Institut für Medizinische Statistik der TU München für die Hilfe bei der statistischen Auswertung der Daten.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei allen Patienten für die Teilnahme an dieser Studie bedanken.

---

**INHALTSVERZEICHNIS**

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung Teil 1 (Nachuntersuchung)</b>   | <b>8</b>  |
| 1.1      | Tibiakopf-Frakturen als Sportunfall und Stand der Forschung   | 8         |
| 1.2      | Klassifikationen der Tibiakopf-Fraktur  | 9         |
| 1.2.1    | AO-Klassifikation der Tibiakopf-Frakturen (AO 41)   | 10        |
| 1.2.2    | Schatzker-Klassifikation der Tibiakopf-Fraktur  | 14        |
| <b>2</b> | <b>Methoden und Materialien (Teil 1)</b>  | <b>15</b> |
| 2.1      | Datenerhebung   | 15        |
| 2.2      | Fragebogen  | 15        |
| 2.2.1    | Visuelle Analogskala für Schmerz (VAS)  | 15        |
| 2.2.2    | Lysholm Score Kniefragebogen  | 16        |
| 2.2.3    | Sportaktivitäts-Fragebogen  | 17        |
| 2.2.4    | Activity Rating Scale   | 18        |
| 2.2.5    | Tegner Aktivitäts-Index   | 19        |
| 2.3      | Einschluss- und Ausschlusskriterien   | 20        |
| 2.4      | Operationstechnik   | 21        |
| 2.5      | Statistik   | 22        |
| <b>3</b> | <b>Ergebnisse (Teil 1)</b>  | <b>23</b> |
| 3.1      | Demographie der Patienten   | 23        |
| 3.2      | Unfallursache und operative Versorgung  | 23        |
| 3.3      | Sport- und körperliche Aktivitäten der Patienten  | 25        |
| 3.4      | Klinisches Outcome  | 27        |
| 3.5      | AO- und Schatzker-Klassifikation: Spezifische Ergebnisse  | 29        |
| 3.6      | Subgruppen-Analyse: Alter, Metallentfernung und Meniskus- und Bänderverletzungen  | 31        |
| 3.7      | Fallbeispiele   | 33        |
| <b>4</b> | <b>Diskussion (Teil 1)</b>  | <b>35</b> |
| <b>5</b> | <b>Schlussfolgerung (Teil 1)</b>  | <b>38</b> |
| <b>6</b> | <b>Experimenteller Teil 2: Erprobung eines neuen minimal-invasiven OP-Verfahrens mittels Ballon-Osteoplastie im Kadavermodell</b> | <b>39</b> |
| <b>7</b> | <b>Methoden und Materialien (Teil 2, Ballon-Osteoplastie)</b>   | <b>40</b> |
| <b>8</b> | <b>Ergebnisse (Teil 2, Ballon-Osteoplastie)</b>   | <b>41</b> |
| 8.1      | Operationstechnik   | 41        |
| 8.2      | Das neu entwickelte Instrumentarium   | 43        |
| 8.3      | Eggshell-Technik  | 46        |
| 8.4      | CT-Bilder der Ergebnisse  | 48        |
| <b>9</b> | <b>Diskussion und Schlussfolgerung (Teil 2, Ballon-Osteoplastie)</b>  | <b>50</b> |

---

|    |  |    |
|----|--|----|
| 10 | Ausblick: Anwendung der Ballon-Osteoplastie auf andere Frakturen,<br>Hill-Sachs-Delle Humeruskopf (Teil 2) | 52 |
|    | Literaturverzeichnis _____   | 54 |
|    | Abbildungsverzeichnis _____  | 59 |
|    | Tabellenverzeichnis _____  | 61 |
|    | Abkürzungsverzeichnis _____  | 62 |
|    | Abstract _____   | 63 |
|    | Anhang _____   | 65 |

# 1 Einleitung Teil 1 (Nachuntersuchung)

Im ersten Teil der Doktorarbeit wird die klinische Nachuntersuchungs-Studie „Return to Sports Activity After Tibial Plateau Fractures, 89 Cases With Minimum 24-Month Follow-up“ beschrieben.

Diese Studie wurde veröffentlicht in The American Journal of Sports Medicine:

*Return to Sports Activity After Tibial Plateau Fractures, 89 Cases With Minimum 24-Month Follow-up; Tobias M. Kraus, Frank Martetschläger, Dirk Müller, Karl F. Braun, Philipp Ahrens, Sebastian Siebenlist, Ulrich Stöckle, and Gunther H. Sandmann; Am J Sports Med, 2012 Dec;40(12):2845-52; DOI: 10.1177/0363546512462564 [34]*

In einigen der Grafiken ist die Beschriftung in englischer Sprache, da die Grafiken für eine Publikation in einem englischsprachigen Journal erstellt wurden.

## 1.1 Tibiakopf-Frakturen als Sportunfall und Stand der Forschung

Tibiakopf-Frakturen und Tibiaschaft-Frakturen sind häufig die Folge von Sportunfällen in Risiko-Sportarten wie Skifahren oder Fußballspielen [16, 19, 29].

Viele der Patienten, die Tibiakopf-Frakturen erleiden, sind jung, aktiv und stehen mitten im Arbeitsleben. Da diese Frakturen oft lange Arbeitsunfähigkeiten nach sich ziehen, sind sie von großer ökonomischer Bedeutung.

Die Schweregrade der Frakturen reichen von nicht dislozierten Spaltbrüchen über dislozierte Kompressionsfrakturen bis hin zu komplexen Trümmerfrakturen mit Zerstörung der Gelenkflächen und ausgedehnten Knorpelschäden. Daher ist eine individuelle Planung der Therapie notwendig und es muss zwischen einer konservativen Therapie entschieden werden oder einer operativen Therapie mit Schraubenosteosynthese, Plattenosteosynthese oder winkelstabilen Platten. Da das klinische Behandlungsergebnis stark damit korreliert, wie gut die Gelenkflächen wieder rekonstruiert wurden [38, 53], hat jede chirurgische OP-Technik das Ziel, die Gelenkflächen wieder möglichst anatomisch zu rekonstruieren.

Trotz moderner OP-Techniken und neuer winkelstabiler Implantate bleiben stark dislozierte Tibiakopf-Frakturen oder Tibiakopf-Trümmerfrakturen selbst für erfahrene Unfallchirurgen eine Herausforderung.

Während sich die Studien zu Tibiakopf-Frakturen in den 1970er und 1980er Jahren mit der Frage beschäftigten, ob eine konservative oder eine operative Therapie der Tibiakopf-Frakturen bessere Ergebnisse liefert [3, 4, 6, 32, 47, 61, 63, 69], beschäftigen sich neuere Studien mit Fragen zur optimalen OP-Technik, offen versus arthroskopisch assistiert [10, 12, 18, 27], neuen winkelstabilen Implantaten [49] oder Fragen zum besten Knochenersatzmaterial [36, 64, 66].

Nur wenige Studien untersuchen auch intensiver die Kniefunktion und haben einen ausreichend langen Nachbeobachtungszeitraum [53, 72]. In der Literaturrecherche lies sich keine Studie finden, die explizit die Wiedererlangung von Sportfähigkeit und die Wiederaufnahme von schwerer körperlicher Arbeit nach Tibiakopf-Frakturen untersucht. Daher war es das Ziel dieser Studie, die Sportfähigkeit von Patienten nach operativer Therapie von Tibiakopf-Frakturen zu ermitteln. Im Speziellen untersucht diese Studie die Wiederaufnahme von unterschiedlichen Sportaktivitäten der Patienten und die Intensität dieser sportlichen Aktivität.

Die Hypothese dieser Studie war, dass die Mehrheit der Patienten ihre sportlichen Aktivitäten nach dem Unfall reduzieren wird und sich die Sportarten, welche die Patienten ausüben, hin zu weniger die Knie belastenden Sportarten ändern werden.

## 1.2 Klassifikationen der Tibiakopf-Fraktur

Für Tibiakopf-Frakturen gibt es mehrere Klassifikationen. Schon die Vielzahl der Klassifikationen zeigt, dass Tibiakopf-Frakturen nur schwer zu klassifizieren sind.

Die am häufigsten verwendeten Klassifikationen sind die AO-Klassifikation (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) [48], die Schatzker-Klassifikation [62, 63], die Klassifikation nach Tscherne [68] und die Klassifikation nach Hohl und Moore [25, 26, 46, 47]. Die Klassifikation nach Moore eignet sich insbesondere für Luxationsfrakturen.

Im Europa wird zur Einteilung der Tibiakopf-Fraktur am häufigsten die AO-Klassifikation verwendet, während in den USA am häufigsten die Schatzker-Klassifikation verwendet wird. Da die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit in einem amerikanischen Journal veröffentlicht wurden, wurden alle Frakturen sowohl nach der AO-Klassifikation als auch nach der Schatzker-Klassifikation eingeteilt.

In der Literatur wird häufig diskutiert, ob die AO-Klassifikation oder die Schatzker-Klassifikation die genauere Klassifikation der Tibiakopf-Fraktur ist:

Eine Studie von Walton et al. [70] aus dem Jahr 2003 verglich die intra- und interobserver Reliabilität der AO- und Schatzker-Klassifikation. Hier zeigte die AO-Klassifikation eine bessere intra- und interobserver Reproduzierbarkeit. Die Reproduzierbarkeit wurde als Kappa-Wert gemessen, wobei ein Kappa-Wert von 0 keine Übereinstimmung und ein Wert von 1 perfekte Übereinstimmung bedeutet. Bei der interobserver Reliabilität erreichte die AO-Klassifikation einen Wert von 0,41, während die Schatzker-Klassifikation nur einen Wert von 0,38 erreichte. Bei der intraobserver Reliabilität erreichte die AO-Klassifikation einen Kappa-Wert von 0,70, während die Schatzker-Klassifikation nur einen Wert von 0,68 erreichte. In dieser Studie von Walton et al. [70] schnitt also die AO-Klassifikation etwas besser ab.

In einer anderen Studie von Maripuri et al. [39] aus dem Jahr 2008 schnitt jedoch die Schatzker-Klassifikation bei der intraobserver Reliabilität (Kappa = 0,91 vs. 0,80) und der interobserver Reliabilität (Kappa = 0,47 vs. 0,36) besser ab als die AO-Klassifikation. Die Klassifikation nach Hohl und Moore, als dritte Klassifikation dieser Studie, schnitt am schlechtesten ab, interobserver Kappa = 0,14; intraobserver Kappa = 0,76.

Eine weitere Studie von Charalambous et al. [14] aus dem Jahr 2007 zeigte eine schlechte intra- und interobserver Reliabilität sowohl für die AO-Klassifikation (intraobserver Kappa = 0,53; interobserver Kappa = 0,43) als auch für die Schatzker-Klassifikation (intraobserver Kappa = 0,57; interobserver Kappa = 0,41).

Als Fazit der Studie schlugen die Autoren eine weitere neue Klassifikation der Tibiakopf-Fraktur vor, bei der nur noch unterteilt wird in unikondyläre Frakturen versus bicondyläre Frakturen, und pure Spaltbrüche versus Depressions-Fraktur mit oder ohne Spaltbruch. Nach Meinung der Autoren hätte eine derartige Klassifikation eine bessere Reliabilität bei der Beurteilung der Röntgenbilder.

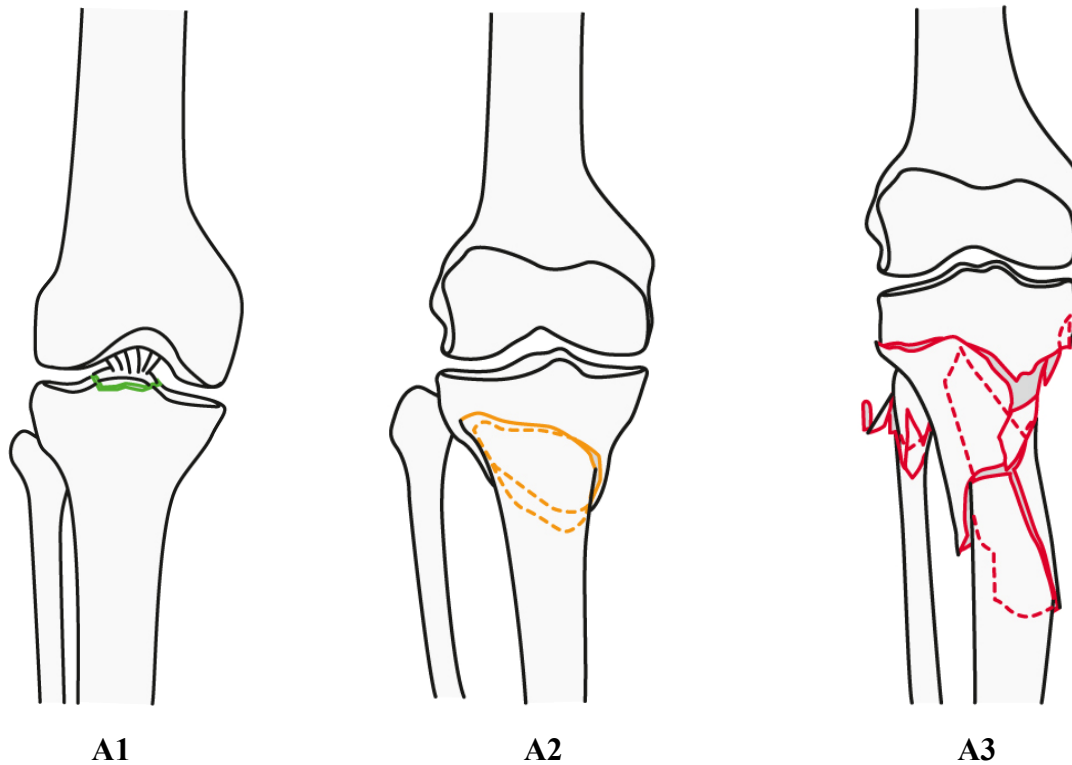
Eine weitere große Schwäche sowohl der AO- als auch der Schatzker-Klassifikation ist, dass nur der knöcherne Schaden beurteilt wird und der Weichteilschaden großteils außer Acht gelassen wird.

Dies zeigt, dass keine der Klassifikationen optimal ist und die Fraktur-Klassifikationen der Tibiakopf-Fraktur bestenfalls einen Anhaltspunkt liefern. Trotz der Schwächen aller Klassifikations-Systeme muss man sich schlussendlich für eine Klassifikation entscheiden, um für die Studie eine Vergleichbarkeit zu schaffen. Im Folgenden werden die in dieser Studie verwendete AO- und Schatzker-Klassifikation genauer erläutert.

### 1.2.1 AO-Klassifikation der Tibiakopf-Frakturen (AO 41)

Die von der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen vorgeschlagene Fraktur-Klassifikation ist im deutschsprachigen Raum weit verbreitet und beruht auf der Klassifikation der Frakturen langer Knochen von Müller et al. von 1990 [48]. Dabei wird unterschieden zwischen extraartikulären Frakturen (Typ A), unikondylären, intraartikulären Spalt-, Impressions- sowie unikondylären Kombinationsfrakturen (Typ B), sowie bikondyläre und Trümmerfrakturen (Typ C).

Die AO-Klassifikation stellt die differenzierteste aller Klassifikation dar. Wenn man alle Untergruppen berücksichtigt, ergeben sich 27 verschiedene Frakturtypen. Die Frakturen sind in Abbildung 1, Abbildung 2 und Abbildung 3 dargestellt. Das Bildmaterial stammt von der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO), die Genehmigung zur Verwendung des Bildmaterials wurde bei der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen, Davos, Schweiz eingeholt. Das Copyright liegt bei der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen, Nachdruck nur mit Genehmigung der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen.

**AO Typ A: Extraartikuläre Frakturen**

**Abbildung 1:** Einteilung der Tibiakopf-Fraktur Typ A nach der AO-Klassifikation.  
 (Die Genehmigung zur Verwendung des Bildmaterials wurde bei der AO-Foundation, Davos, Schweiz eingeholt; das Copyright liegt bei der AO-Foundation. Nachdruck nur mit Genehmigung der AO.)

Beschreibung der Unterklassen des AO Typ A:

A1: Extra-artikuläre Fraktur, Ausriss

A1.1: des Fibulaköpfchens

A1.2: der Tuberositas tibiae

A1.3: der Eminentia

A2: Extra-artikuläre Fraktur, metaphysär einfach

A2.1: schräg in der Frontalebene

A2.2: schräg in der Sagittalebene

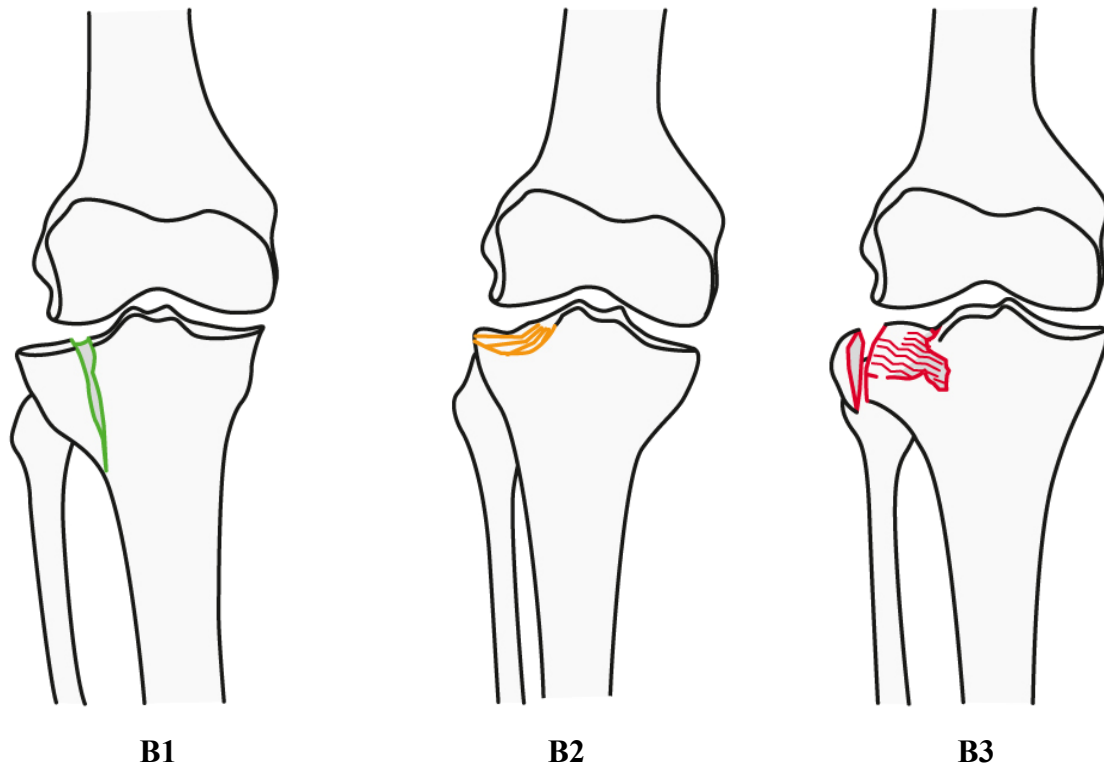
A2.3: quer

A3: Extra-artikuläre Fraktur, metaphysär mehrfragmentär

A3.1: mit intaktem Keil

A3.2: mit fragmentiertem Keil

A3.3: komplex

**AO Typ B: Partielle Gelenkfrakturen**

**Abbildung 2:** Einteilung der Tibiakopf-Fraktur Typ B nach der AO-Klassifikation  
 (Die Genehmigung zur Verwendung des Bildmaterials wurde bei der AO-Foundation, Davos, Schweiz eingeholt; das Copyright liegt bei der AO-Foundation. Nachdruck nur mit Genehmigung der AO.)

Beschreibung der Unterklassen des AO Typ B:

B1: Partiiell artikuläre Fraktur, reine Spaltung

B1.1: der lateralen Gelenkfläche

B1.2: der medialen Gelenkfläche

B1.3: schräg, mit Beteiligung der Eminentia und eines Teiles der Gelenkfläche

B2: Partiiell artikuläre Fraktur, Impression

B2.1: lateral total

B2.2: lateral begrenzt

B2.3: medial

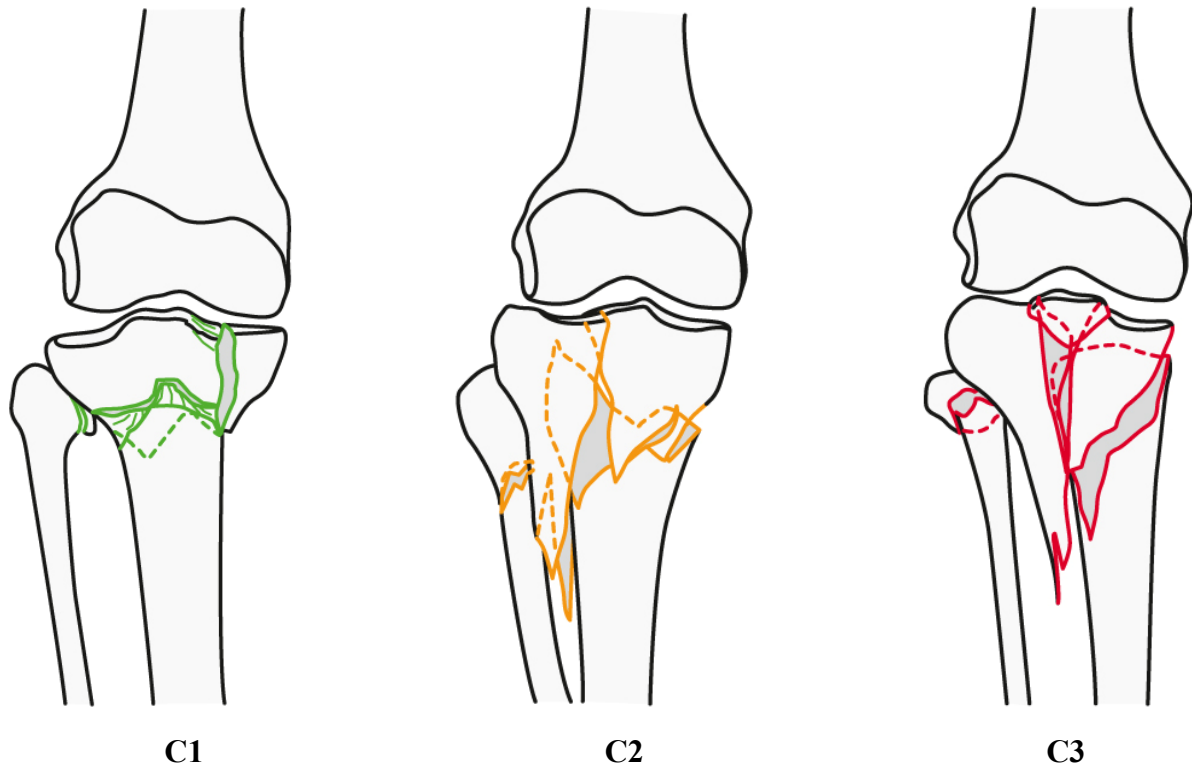
B3: Partiiell artikuläre Fraktur, Spalt-Impression

B3.1: lateral

B3.2: medial

B3.3: schräg, mit Beteiligung der Eminentia und eines Teiles der Gelenkfläche



**AO Typ C: Vollständige Gelenkfrakturen**

**Abbildung 3:** Einteilung der Tibiakopf-Fraktur Typ C nach der AO-Klassifikation.  
 (Die Genehmigung zur Verwendung des Bildmaterials wurde bei der AO-Foundation, Davos, Schweiz eingeholt; das Copyright liegt bei der AO-Foundation. Nachdruck nur mit Genehmigung der AO.)

Beschreibung der Unterklassen des AO Typ C:

C1: Vollständig artikuläre Fraktur, artikulär einfach, metaphysär einfach

C1.1: mit geringer Dislokation

C1.2: mit Dislokation eines Kondylus

C1.3: mit Dislokation beider Kondylen

C2: Vollständig artikuläre Fraktur, artikulär einfach, metaphysär mehrfragmentär

C2.1: mit intaktem Keil

C2.2: mit fragmentiertem Keil

C2.3: komplex

C3: Vollständig artikuläre Fraktur, mehrfragmentär

C3.1: lateral

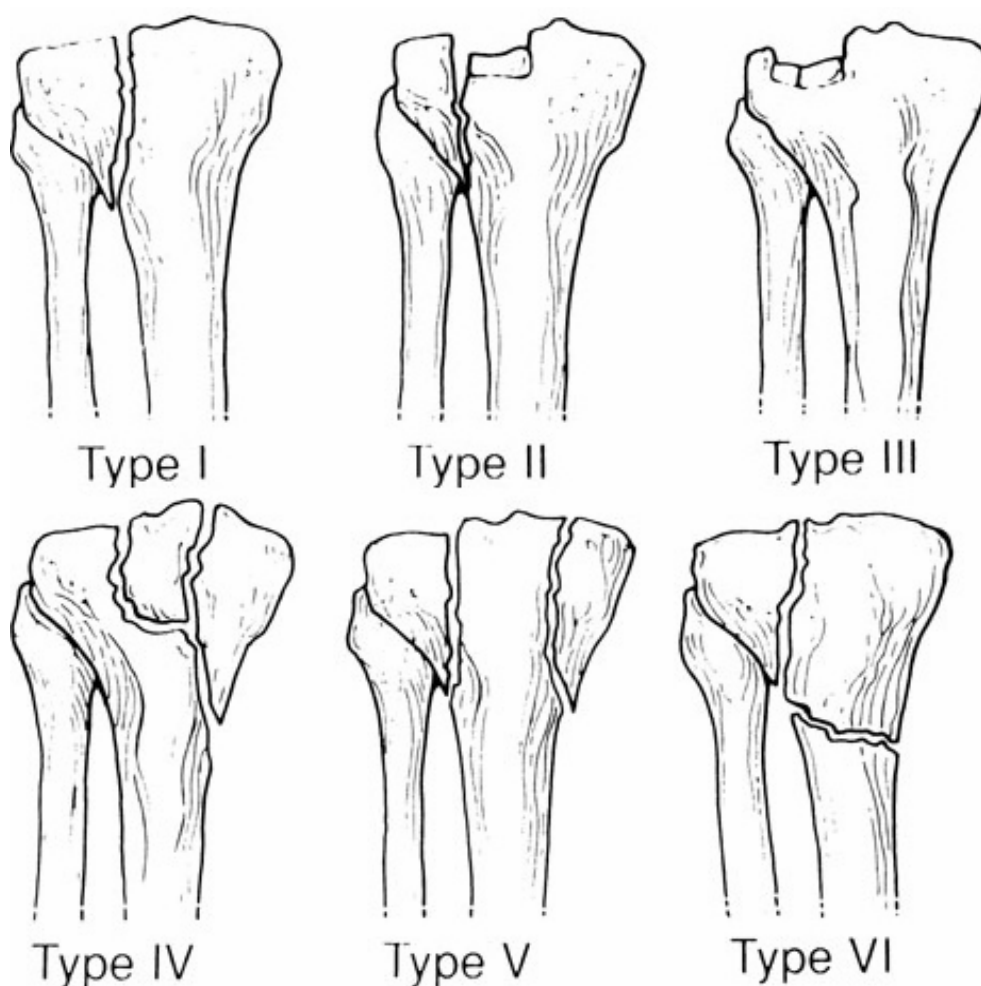
C3.2: medial

C3.3: lateral und medial

### 1.2.2 Schatzker-Klassifikation der Tibiakopf-Fraktur

Die Schatzker-Klassifikation [62, 63] ist die in den USA am häufigsten verwendete Klassifikation der Tibiakopf-Fraktur. Die Schatzker-Klassifikation war die erste Klassifikation, die zwischen medialen und lateralen Plateau-Frakturen unterschied. Diese Unterscheidung ist relevant: Das laterale Tibiaplateau ist kleiner und besitzt eine geringere Knochendichte als das mediale Plateau und kann daher schon bei Niedrig-Energie-Traumata brechen, während das große mediale Plateau in der Regel nur bei Hochrasanztraumata bricht [5].

Typ I ist ein reiner Spaltbruch des lateralen Tibiaplateaus, Typ II ist eine kombinierte Spalt-Impressionsfraktur und Typ III ist eine reine Impressionsfraktur des lateralen Tibiaplateaus. Bei der Typ IV Fraktur ist das mediale Tibiakopf-Plateau betroffen. Typ V Frakturen sind bikondyläre Frakturen, bei denen die Metaphyse und die Diaphyse intakt bleiben. Typ VI Frakturen sind Frakturen durch die Metaphyse, bei denen die Metaphyse von der Diaphyse abgetrennt wird: Dies ist die schwerste Form der Tibiakopf-Fraktur und meist die Folge von Hochrasanztraumata. Die verschiedenen Typen sind in Abbildung 4 dargestellt.



**Abbildung 4:** Schatzker Klassifikation der Tibiakopf-Fraktur

Quelle: <http://www.orthopaedia.com/display/Clerkship/Tibial+Plateau+Fractures> (Stand: 29.10.2012), Das Copyright unterliegt der Creative Commons Lizenz.

## 2 Methoden und Materialien (Teil 1)

### 2.1 Datenerhebung

Mit Hilfe eines Fragebogens wurden von Patienten, deren Tibiakopf-Fraktur operativ versorgt wurde, Daten erhoben, um ihre sportliche Aktivität zu messen. Basierend auf den Studien von Naal et al. [50] und Salzmann et al. [58], wurde ein Fragebogen verwendet, um die sportlichen Aktivitäten der Patienten zum Zeitpunkt der Verletzung, 1 Jahr postoperativ und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (im Mittel 52,8 Monate postoperativ) in 32 verschiedenen Sportarten zu erheben. In dem Fragebogenteil wurde auch nach der Zufriedenheit mit dem Ergebnis der Operation gefragt: sehr zufrieden = 1, zufrieden = 2, bedingt zufrieden = 3, unzufrieden = 4. Außerdem wurde nach der Einnahme von Schmerzmedikamenten gefragt: „Ja, regelmäßig“, „Ja, bei Bedarf“, „Nein“.

Der modifizierte Lysholm Score [37, 67] und eine visuelle Analogskala (VAS) für das subjektive Schmerzempfinden (0 = „kein Schmerz“ und 10 = „maximaler unerträglicher Schmerz“) wurden als Instrumente verwendet, um den klinischen Outcome zu messen. Die Tegner Activity Scale [67] und die Activity Rating Scale (ARS) [42] wurden verwendet, um das Niveau der sportlichen Aktivitäten der Patienten zu messen.

Alle genannten Scores wurden zu drei Zeitpunkten erhoben: Vor der Verletzung, 1 Jahr postoperativ und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung, 52,8 Monate postoperativ (= 4,4 Jahre)  $\pm$  23,1 Monate.

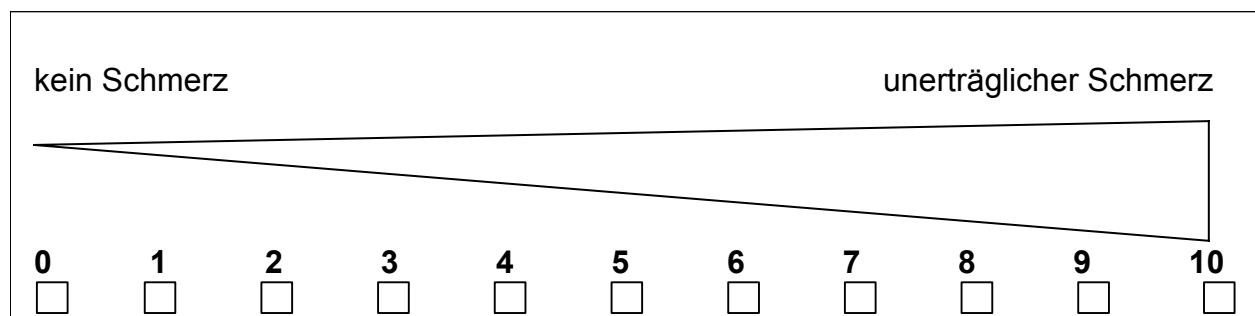
Die Studie wurde von der Ethikkommission der TU München genehmigt (IRB 5178/11).

### 2.2 Fragebogen

Im Folgenden werden die wichtigsten Bestandteile des Fragebogens vorgestellt. Der gesamte Fragebogen ist im Anhang zu finden.

#### 2.2.1 Visuelle Analogskala für Schmerz (VAS)

*Frage: Wie beurteilen Sie den Schmerz (falls vorhanden) im operierten Kniegelenk auf der unten angegebenen Skala? Bitte auf der Skala entsprechend ankreuzen:*



**Abbildung 5:** Visuelle Analogskala für Schmerz (Auswerteverision)  
Quelle: eigenes Bildmaterial

## 2.2.2 Lysholm Score Kniefragebogen

---

**Hinken (5)**

niemals (5)  
 leicht oder periodisch (3)  
 stark oder permanent (0)

---

**Treppen steigen (10)**

ohne Probleme (10)  
 mit leichter Beeinträchtigung (6)  
 nur Schritt für Schritt (2)  
 überhaupt nicht, ist unmöglich (0)

---

**Gefühl der Instabilität (25)**

nie (25)  
 mäßig beim Sport oder anderer starker Belastung (20)  
 häufig beim Sport oder anderer starker Belastung (15)  
 gelegentlich bei täglichen Aktivitäten (10)  
 häufig bei täglichen Aktivitäten (5)  
 bei jedem Schritt (0)

---

**Schwellung (10)**

nie (10)  
 bei starker Beanspruchung (6)  
 bei leichter Beanspruchung (2)  
 permanent (0)

---

**Belastung /Stockhilfe (5)**

uneingeschränkt möglich (5)  
 ist nur mit Stock oder Gehhilfe möglich (2)  
 ist überhaupt nicht möglich (0)

---

**In die Hocke gehen (5)**

ohne Probleme (5)  
 mit leichter Beeinträchtigung (4)  
 nicht über 90° im Kniegelenk (2)  
 überhaupt nicht, ist unmöglich (0)

---

**Schmerzen (25)**

nie (25)  
 unkonstant und leicht bei starker Belastung (20)  
 bei starker Beanspruchung (15)  
 bei Spaziergängen von 2 km und mehr (10)  
 bereits bei Spaziergängen von weniger als 2 km (5)  
 permanent und stark (0)

---

**Blockierung (15)**

keine Blockierung und kein Gefühl der Einklemmung(15)  
 Gefühl der Einklemmung aber keine Blockierung (10)  
 gelegentliche Blockierung (6)  
 häufige Blockierung (2)  
 blockiertes Gelenk (0)

**Abbildung 6:** Lysholm Score Kniefragebogen (Auswerteverision)  
 Summe Lysholm Score maximal erreichbar 100 Punkte.  
 Quelle: eigenes Bildmaterial

### 2.2.3 Sportaktivitäts-Fragebogen

*Frage: Bitte geben Sie die Sportarten bzw. Aktivitäten an, die Sie regelmäßig vor der Operation ausgeübt haben bzw. derzeit ausüben. Beachten Sie bitte Folgendes:*

*Life-Time bedeutet: Geben Sie die Sportarten an, die Sie irgendwann im Leben für eine gewisse Zeit regelmäßig ausgeübt haben. Sie müssen nichts ankreuzen, wenn Sie nie eine Sportart regelmäßig ausgeübt haben.*

*Jahr vor OP bedeutet: Geben Sie die Sportarten an, die Sie im letzten Jahr vor der Knieverletzung regelmäßig ausgeübt haben. Sie müssen nichts ankreuzen, wenn Sie keine Sportart regelmäßig ausgeübt haben.*

*1 Jahr nach OP bedeutet: Geben Sie die Sportarten an, die Sie 1 Jahr nach der Knieverletzung regelmäßig ausgeübt haben. Sie müssen nichts ankreuzen, wenn Sie keine Sportart regelmäßig ausgeübt haben.*

*Aktuell bedeutet: Geben Sie die Sportarten an, die Sie jetzt / zurzeit regelmäßig ausüben. Sie müssen nichts ankreuzen, wenn Sie keine Sportart regelmäßig ausüben.*

|                          | <u>Life-Time</u>         | <u>Jahr vor OP</u>       | <u>1 Jahr nach OP</u>    | <u>Aktuell</u>           |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. Nordic Walking        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Jogging               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Inline Skating        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Bergwandern           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. Bergsteigen/Klettern  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. Radfahren             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7. Mountainbiking        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8. Schwimmen             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9. Fitness/Krafttraining | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10. Aerobic              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 11. Gymnastik/Turnen     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 12. Aqua Fit             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 13. Alpin Ski            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 14. Langlauf             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 15. Snowboard            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 16. Eishockey            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 17. Eislauf              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 18. Golf                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 19. Tennis Einzel        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 20. Tennis Doppel        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 21. Tischtennis          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 22. Badminton            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 23. Fussball             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 24. Handball             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

|                       |                          |                          |                          |                          |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>25. Basketball</b> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>26. Volleyball</b> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>27. Kampfsport</b> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>28. Reiten</b>     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>29. Tanzen</b>     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>30. Segeln</b>     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>31. Wasserski</b>  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>32. Rudern</b>     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Abbildung 7: Sportaktivitäts-Fragebogen (Auswerteversion), Quelle: eigenes Bildmaterial

### 2.2.4 Activity Rating Scale

Frage: Bitte geben Sie an, wie oft Sie jede Aktivität in Ihrem gesündesten und aktivsten Zustand in den letzten Wochen ausgeübt haben. (Sie müssen ein Kreuz in das entsprechende Feld eintragen, insgesamt also vier Kreuze)

|  | Weniger als einmal im Monat  | Einmal im Monat              | Einmal in der Woche          | Zwei- bis dreimal in der Woche | Viermal in der Woche oder öfters |
|--|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| <b>Laufen/Rennen:</b><br>Laufen oder Rennen während Sie einen Sport betreiben, oder Jogging  | <input type="checkbox"/> (0) | <input type="checkbox"/> (1) | <input type="checkbox"/> (2) | <input type="checkbox"/> (3)   | <input type="checkbox"/> (4)     |
| <b>Schnelle Richtungswechsel:</b> Schnelle Richtungswechsel beim Laufen  | <input type="checkbox"/> (0) | <input type="checkbox"/> (1) | <input type="checkbox"/> (2) | <input type="checkbox"/> (3)   | <input type="checkbox"/> (4)     |
| <b>Abbremsen:</b><br>Beim Laufen zu einem schnellen Stopp kommen   | <input type="checkbox"/> (0) | <input type="checkbox"/> (1) | <input type="checkbox"/> (2) | <input type="checkbox"/> (3)   | <input type="checkbox"/> (4)     |
| <b>Drehen/Schwenken:</b><br>Während eines Sports Ihren Körper drehen während Ihr Fuss auf dem Boden steht; Zum Beispiel Ski-fahren, Inline Skate, einen Ball treten, werfen oder schlagen (Golf, Tennis, Squash, usw.) | <input type="checkbox"/> (0) | <input type="checkbox"/> (1) | <input type="checkbox"/> (2) | <input type="checkbox"/> (3)   | <input type="checkbox"/> (4)     |

[Summe Activity Rating Scale max. 16 Punkte]

Abbildung 8: Activity Rating Scale (ARS) (Auswerteversion), Quelle: eigenes Bildmaterial

## 2.2.5 Tegner Aktivitäts-Index

Frage: Bitte kreuzen Sie in der untenstehenden Liste die höchste Stufe an, in die Sie sich einordnen können.

10. **Wettkampfsport**   
Fußball (nationale und internationale Elite)
9. **Wettkampfsport**   
Fußball (niedrigere Ligen), Eishockey, Ringen oder Kampfsport, Gymnastik
8. **Wettkampfsport**   
Squash oder Badminton, Leichtathletik (Sprungdisziplinen), Alpin Ski
7. **Wettkampfsport**   
Tennis, Leichtathletik (Laufdisziplinen), Motocross, Handball, Basketball  
**Freizeitsport**   
Fußball, Eishockey, Squash, Leichtathletik (Sprungdisziplinen)
6. **Freizeitsport**   
Tennis, Badminton, Leichtathletik (Laufdisziplinen), Motocross, Handball, Basketball, Alpin Ski, Jogging (mindestens 5 Mal pro Woche)
5. **Arbeit/Beruf**   
Schwere körperliche Arbeit (z. B. Bauarbeiten, Waldarbeiten, usw.)  
**Wettkampfsport**   
Velo oder Mountainbike, Langlauf  
**Freizeitsport**   
Jogging auf unebenem Untergrund (mindestens 2 Mal pro Woche)
4. **Arbeit/Beruf**   
Mässig schwere körperliche Arbeit (z. B. Chauffeur, schwere Hausarbeiten, Lagerarbeit, usw.)  
**Freizeitsport**   
Rad oder Mountainbike, Langlauf, Jogging auf ebenem Untergrund (mindestens 2 Mal pro Woche)
3. **Arbeit/Beruf**   
Leichte körperliche Arbeit (z. B. Gastronomie, Pflegeberufe, usw.)  
**Wettkampf- oder Freizeitsport**   
Schwimmen  
**Waldspaziergänge (auf unebenem Untergrund) möglich**
2. **Arbeit/Beruf**   
Leichte Arbeit (wechselnd Sitzen, Stehen, Laufen und Treppensteigen)  
**Gehen auf unebenem Untergrund möglich, aber keine Waldspaziergänge**
1. **Arbeit/Beruf**  
Sitzende Tätigkeit (z. B. Büro, Callcenter, usw.)  
**Gehen auf ebenem Untergrund möglich**
0. **Krankschreibung oder IV-Rente wegen Kniebeschwerden**

Abbildung 9: Tegner Activity Scale (Auswerteversion), Quelle: eigenes Bildmaterial

## 2.3 Einschluss- und Ausschlusskriterien

Zwischen Januar 2003 und April 2009 wurden in der Klinik für Unfallchirurgie am Klinikum rechts der Isar der TU München insgesamt 172 Patienten mit Tibiakopf-Frakturen operativ versorgt.

Davon erfüllten 109 der Patienten die Einschlusskriterien: Operativ versorgte Tibiakopf-Frakturen bei Patienten mit geschlossenen Epiphysenfugen und einem Nachbeobachtungszeitraum („Follow-up“) von mindestens 24 Monaten.

Die Ausschlusskriterien dieser Studie waren:

- Nicht-operative behandelte Tibiakopf-Frakturen
- Polytraumata oder Begleitverletzungen, bei denen die Tibiakopf-Fraktur nicht die schwerste Verletzung war (n = 5)
- Weitere Verletzungen im Strahl der gleichen Extremität (n = 3)
- Bilaterale Tibiakopf-Frakturen (n = 1),
- Wohnsitz außerhalb Deutschlands (n = 4)
- Psychosen oder Suchterkrankungen (n = 6)
- Behindert / gehbehindert bereits vor der Tibiakopf-Fraktur (n = 5)
- Schwere vorbestehende Grunderkrankung (n = 3)
- Alter über 76 Jahre am Tag der Operation (n = 19)
- Nur Re-Osteosynthese im Klinikum rechts der Isar nach initialer Operation außerhalb (n = 9)
- pathologische Frakturen (n = 1)

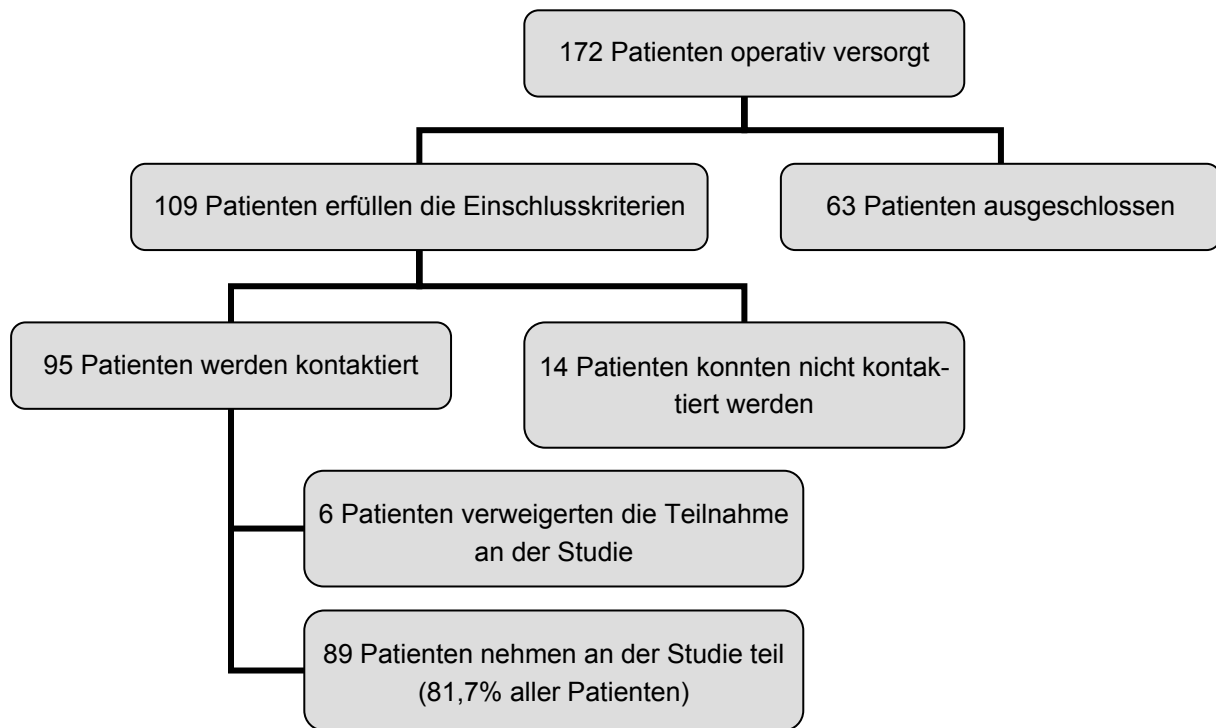
Drei Patienten wurden ausgeschlossen, nachdem bei Ihnen in der Follow-up Periode eine hohe Tibia Osteotomie (HTO) durchgeführt wurde, um eine Fehlstellung der Beinachse zu korrigieren, und weitere 3 Patienten wurden ausgeschlossen, nachdem bei Ihnen in der Follow-up Zeit eine totale Knie-Endoprothese (KTEP) implantiert wurde. Ein Patient verstarb während der Follow-up Periode und 14 Patienten konnten zur Nachuntersuchung nicht erreicht werden, da sie unbekannt verzogen waren. Sechs Patienten weigerten sich an der Studie teilzunehmen.

Die verbleibenden 89 Patienten wurden in die Studie aufgenommen, dies entspricht 81,7% aller Patienten, welche die Einschlusskriterien erfüllt haben.

In Abbildung 10 ist eine Übersicht über die Patienten der Studie dargestellt.

Alle Frakturen wurden klassifiziert nach der AO-Klassifikation (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen [48] und der Schatzker-Klassifikation [62, 63].





**Abbildung 10:** Patient Flow Diagram: Übersicht über die Patienten der Studie  
Quelle: eigenes Bildmaterial

## 2.4 Operationstechnik

Die Patienten wurden in Rückenlage auf dem OP-Tisch platziert, wobei das betroffene Bein so gelagert wurde, dass eine Flexion von 90 Grad im Kniegelenk möglich war.

Für unilaterale Frakturen wurde ein lateraler, gerader Standard-Zugangsweg verwendet. Nach der Arthrotomie wurde das Knie inspiziert auf Verletzungen an Bändern, Menisken und am Gelenkknorpel. Das Vorderhorn des Meniskus wurde abgehoben, um eine bessere Übersicht zu schaffen und wurde nach Reposition der Fraktur mit absorbierbaren Nähten refixiert.

Nach anatomischer Reposition wurden die Frakturen mit Schrauben fixiert und mit winkelstabilen L- oder T-Platten abgestützt.

Bei isolierten Spaltbrüchen wurde die Reposition in der Regel arthroskopisch kontrolliert und mit kanülierten 7,0 oder 7,3 mm Schrauben fixiert. Bei Impressionsfrakturen wurden die Frakturfragmente durch den Frakturspalt abgehoben, oder es wurde ein Kortikalis-Fenster angelegt, um die Fraktur aufzustößeln. Wenn notwendig, wurden die verbleibenden Knochendefekte mit autologem Knochen aufgefüllt, der am Beckenkamm entnommen wurde, oder mit Knochenersatzmaterial (Chronos, Synthes Inc., Umkirch, Germany). Abschließend wurde die Fraktur mit einer Platte abgestützt.

Bei bikondylären Frakturen wurde zusätzlich ein medialer Zugang angelegt, um die Fraktur zu reponieren und das mediale Fragment im Sinne einer Doppelplattenosteosynthese fixieren zu können.

In der postoperativen Rehabilitation wurde den Patienten in den ersten 6 Wochen eine Belastung des Beines mit 20 kg erlaubt. Wenn operativ der Meniskus reinsertiert wurde, wurde die Knieflexion auf 60 Grad begrenzt. Nach einer radiologischen Kontrolle, 6 Wochen postoperativ, wurde die Gewichts-Belastung von der 6. bis zur 12. postoperativen Woche schrittweise erhöht. 12 Wochen postoperativ durften die Patienten das Knie mit ihrem vollen Gewicht belasten.

## 2.5 Statistik

Die statistische Auswertung der Daten wurde mit dem Software Paket SPSS (Version 19, IBM Corp, Somers, New York) durchgeführt.

Zunächst wurden alle Daten, die für statistische Tests verwendet wurden, auf Normalverteilung untersucht. Anschließend wurden die normalverteilten Daten mit T-Tests für verbundene bzw. unabhängige Stichproben verglichen. Die nicht-normalverteilten Daten wurden mit dem Wilcoxon signed-rank Test und dem Mann-Whitney U Test verglichen (verbundene bzw. unabhängige Stichproben). Gruppendaten wurden mit einer univariaten Varianzanalyse verglichen. Das Signifikanzniveau wurde für alle Tests auf  $P < 0,05$  gesetzt.

Soweit nicht anders gekennzeichnet, sind die deskriptiven Ergebnisse als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung dargestellt. Alle Konfidenzintervalle sind als 95% Konfidenzintervalle dargestellt.

In den Boxplots wird die Länge des Kastens („Box“) durch das erste und dritte Quartil (25 bzw. 75%-Perzentil) der Verteilung begrenzt. Dieser Interquartilsbereich umfasst somit 50% der Werte. Die Querlinie der Box repräsentiert den Median. Die von der Box nach oben bzw. unten ausgehenden Linien („Whiskers“) führen zum jeweils höchsten bzw. niedrigsten Wert innerhalb des 1,5 fachen Interquartilsbereiches, sofern dieser Wert kein Ausreißer ist.

## 3 Ergebnisse (Teil 1)

### 3.1 Demographie der Patienten

Insgesamt standen 89 korrekt ausgefüllte Fragebögen zur Auswertung zur Verfügung, das entspricht 81,7% aller Patienten, welche die Einschlusskriterien der Studie erfüllt haben.

Die postoperative Follow-up Dauer war im Mittel  $52,8 \pm 23,1$  Monate (Range: 24 – 97 Monate), was einem mittleren Follow-up von 4,4 Jahren entspricht. Das durchschnittliche Alter der Patienten lag bei  $47,2 \pm 13,6$  Jahren (Range: 14 – 76 Jahre). Die Kohorte dieser Studie bestand aus 44 Männern (49,4%) und 45 Frauen (50,6%), siehe Tabelle 1.

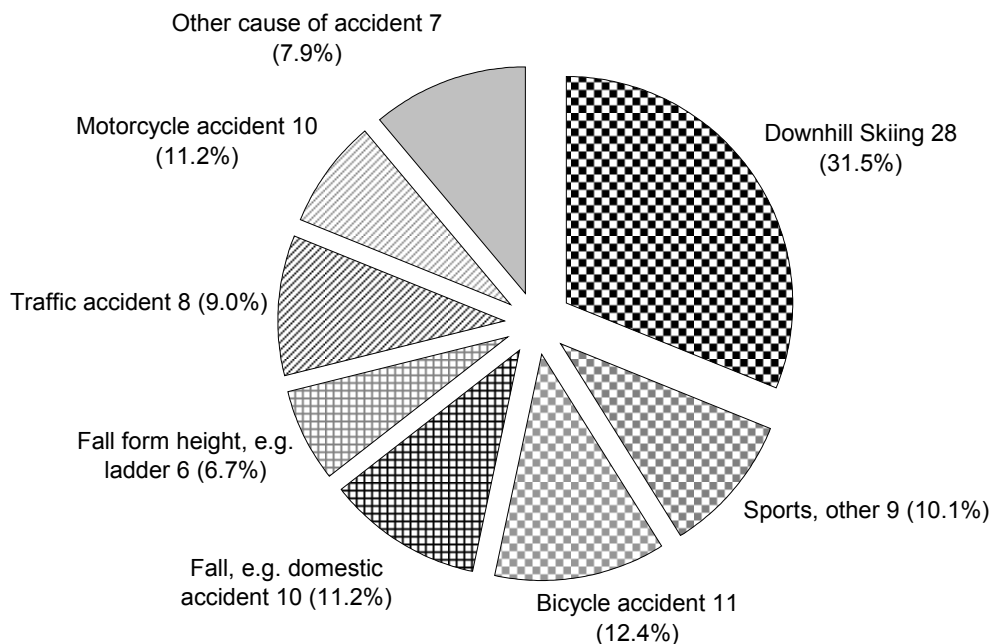
| <b>Patient Demographics</b>             |   |
|---|---|
| <b>Number of patients</b>               | 89  |
| <b>Number of fractures</b>              | 89  |
| <b>Male</b>                             | 44 men (49.4%)                                |
| <b>Female</b>                           | 45 women (50.6%).                             |
| <b>Follow-up</b>                        | 52.8 $\pm$ 23.1 months (range 24 – 97 months) |
| <b>Age at operation</b>                 | 47.2 $\pm$ 13.6 years (range 14 – 76)         |
| <b>Fracture-Classification AO (41-)</b> | (n=89)  |
| <b>A1</b>                               | 0 (0%)  |
| <b>A2</b>                               | 1 (1.1%)                                      |
| <b>A3</b>                               | 2 (2.2%)                                      |
| <b>B1</b>                               | 10 (11.2%)                                    |
| <b>B2</b>                               | 18 (20.2%)                                    |
| <b>B3</b>                               | 34 (38.2%)                                    |
| <b>C1</b>                               | 2 (2.2%)                                      |
| <b>C2</b>                               | 2 (2.2%)                                      |
| <b>C3</b>                               | 20 (22.5%)                                    |

*Tabelle 1: Demographie der Patienten*

### 3.2 Unfallursache und operative Versorgung

In unserer Fallserie wurden 53,9% aller Tibiakopf-Frakturen durch Sportunfälle verursacht. Skifahren war mit 31,5% aller Fälle die häufigste Unfallursache. Weitere häufige Ursachen für die Tibiakopf-Frakturen waren Verkehrsunfälle (20,2%), insbesondere Motorradunfälle (11,2%) und Stürze (17,9%), siehe Abbildung 11.

Die Unfallursache hatte maßgeblichen Einfluss auf den Schweregrad der Fraktur. Während die Skiverletzungen meist AO Typ B Verletzungen waren (78,6% Typ B Frakturen; 21,4% Typ C Frakturen), resultierten bei Motorradunfällen als Hochrasanztaumata häufiger AO Typ C Frakturen (60,0% Typ B Frakturen; 40,0% Typ C Frakturen).



**Abbildung 11:** Unfallursache, absolute Anzahl (und in Prozent), Quelle: eigenes Bildmaterial

Von den 89 ausgewerteten Patienten dieser Studie, wurden 63 Frakturen (70,8%) offen operiert (ORIF), 21 Frakturen (23,6%) wurden arthroskopisch assistiert operiert, und 5 minimal dislozierte Frakturen (5,6%) wurden mit perkutanen Schrauben versorgt.

Osteosyntheseplatten wurden bei 53 Frakturen verwendet (59,6% aller Frakturen), von diesen Platten waren 50 (94,3%) winkelstabile Platten, zwei Platten (3,8%) waren „less invasive stabilization system“ (LISS) Platten und eine Osteosyntheseplatte (1,9%) war eine konventionelle Platte.

Knochendefekte mussten in 39 Fällen gefüllt werden (43,8% aller Frakturen); das Knochenersatzmaterial wurde vom Chirurgen gewählt:  $\beta$ -TCP Keramik Knochenersatzmaterial (Chronos, Synthes Inc) wurde bei 24 Frakturen verwendet (61,5% aller Knochendefekte), Spongiosa-Knochen aus dem Beckenkamm wurde bei 9 Frakturen verwendet (23,1% aller Knochendefekte), allogener Spongiosa-Knochen aus Hüftköpfen von Spendern wurde bei 5 Frakturen verwendet (12,8% aller Knochendefekte) und eine Kombination aus allogenem Knochen und Knochenersatzmaterial (Chronos, Synthes Inc., Umkirch, Germany) wurde bei einem Patienten angewendet (2,6% aller Knochendefekte, die aufgefüllt wurden).

### 3.3 Sport- und körperliche Aktivitäten der Patienten

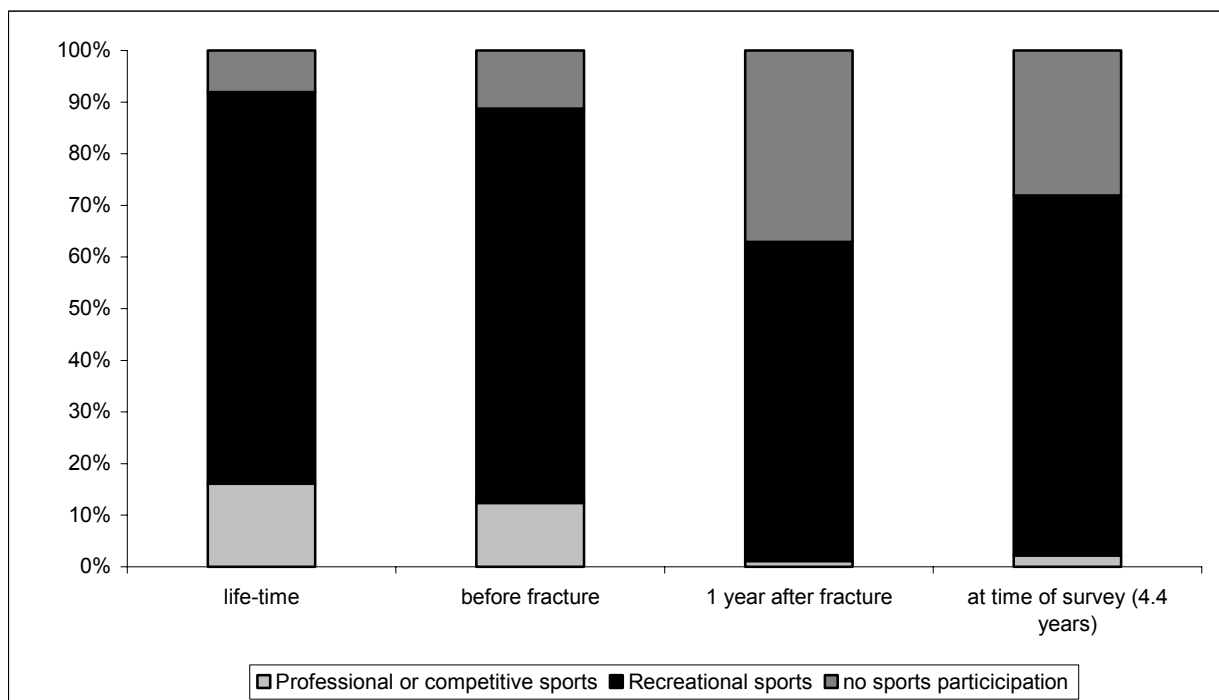
Im Jahr vor dem Unfall betrieben 88,8% der Patienten Sport. Die Patienten, die Sport trieben, waren im Durchschnitt in  $4,9 \pm 2,6$  verschiedenen Sport-Disziplinen aktiv (Range: 1 – 12). 12,4% der Patienten nahmen im Jahr vor der Verletzung an Sport-Wettkämpfen teil oder waren professionelle Sportler.

Ein Jahr postoperativ trieben nur noch 63,9% der Patienten Sport, diese betrieben nur noch durchschnittlich  $3,0 \pm 1,8$  verschiedene Sportarten (Range: 1 – 8), was einem signifikanten Rückgang entspricht ( $P < 0,001$ ).

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung, durchschnittlich 52,8 Monate postoperativ, trieben 73,0% der Patienten Sport, diese betrieben durchschnittlich  $3,6 \pm 2,0$  verschiedene Sportarten (Range: 1 – 9), was verglichen mit einem Jahr postoperativ wieder einen signifikanten Anstieg der sportlichen Aktivität bedeutet ( $P < 0,001$ ).

Für die Sportler, die vor der Verletzung wettkampfmäßig oder professionell Sport betrieben, bedeutete die Tibiakopf-Fraktur in 9 von 11 Fällen das Ende der sportlichen Karriere (81,8%). Nur einer der 11 Patienten konnte ein Jahr postoperativ wieder wettkampfmäßig oder professionell Sport ausüben (9,1%) und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung trieben nur 2 der 11 Patienten wieder wettkampfmäßig oder professionell Sport (18,2%), siehe Abbildung 12.

In unserer Fallserie mussten 4 Patienten (4,5%) auf Grund der Knieverletzung ihren Beruf aufgeben, oder in einen körperlich weniger belastenden Beruf wechseln.

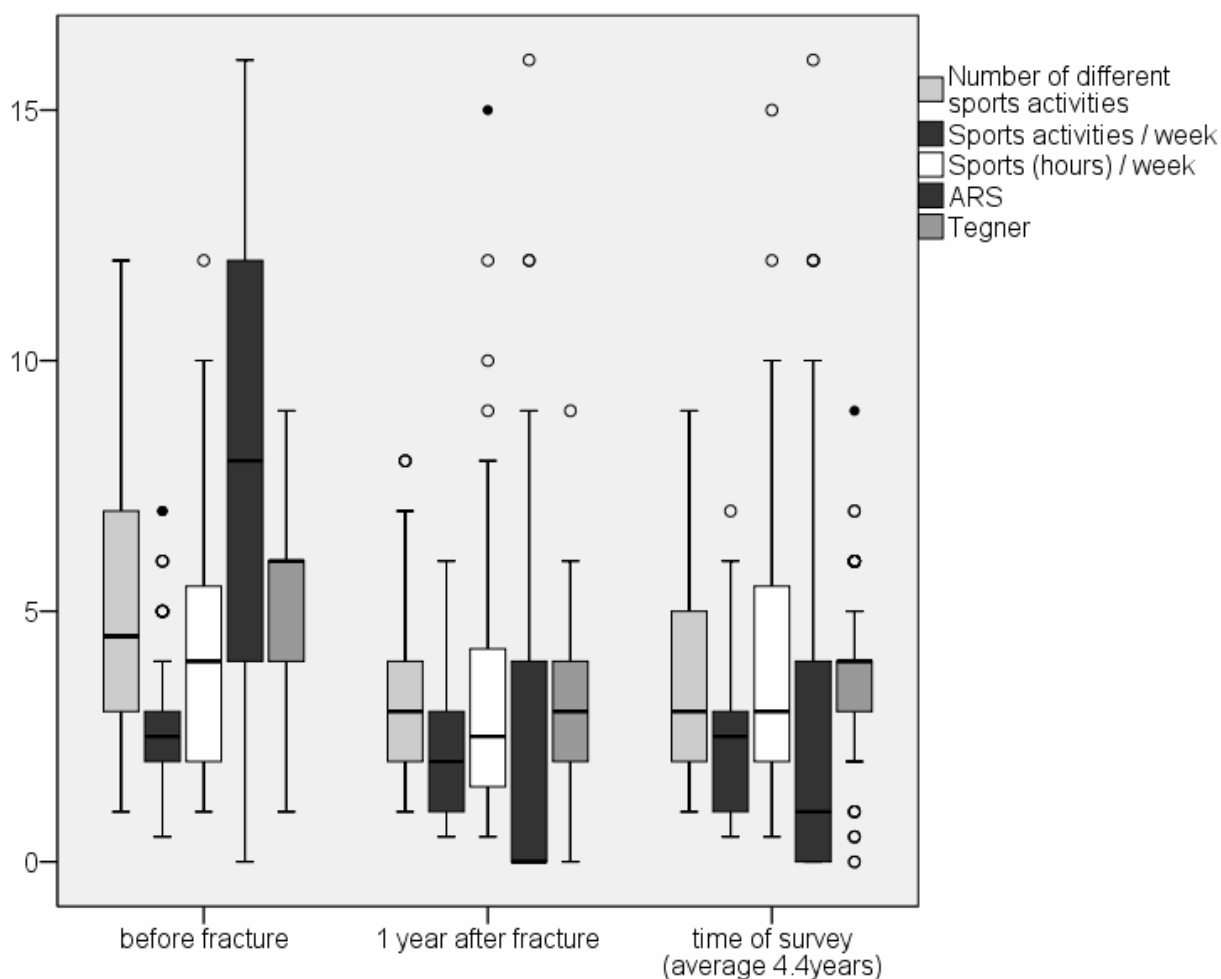


**Abbildung 12:** Sportaktivitätsniveau der Patienten, höchstes Niveau im Leben, vor dem Unfall, 1 Jahr post-OP und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung. Quelle: eigenes Bildmaterial

Nach der Knieverletzung nahm die sportliche Aktivität der Patienten sowohl in der Häufigkeit pro Woche, als auch in der Dauer der Trainingseinheiten pro Woche ab. Vor dem Unfall trieben die Patienten durchschnittlich  $2,8 \pm 1,6$  mal pro Woche Sport (Range: 0,5 – 7), mit einer Dauer von  $4,5 \pm 3,7$  Stunden pro Woche (Range: 1 – 22).

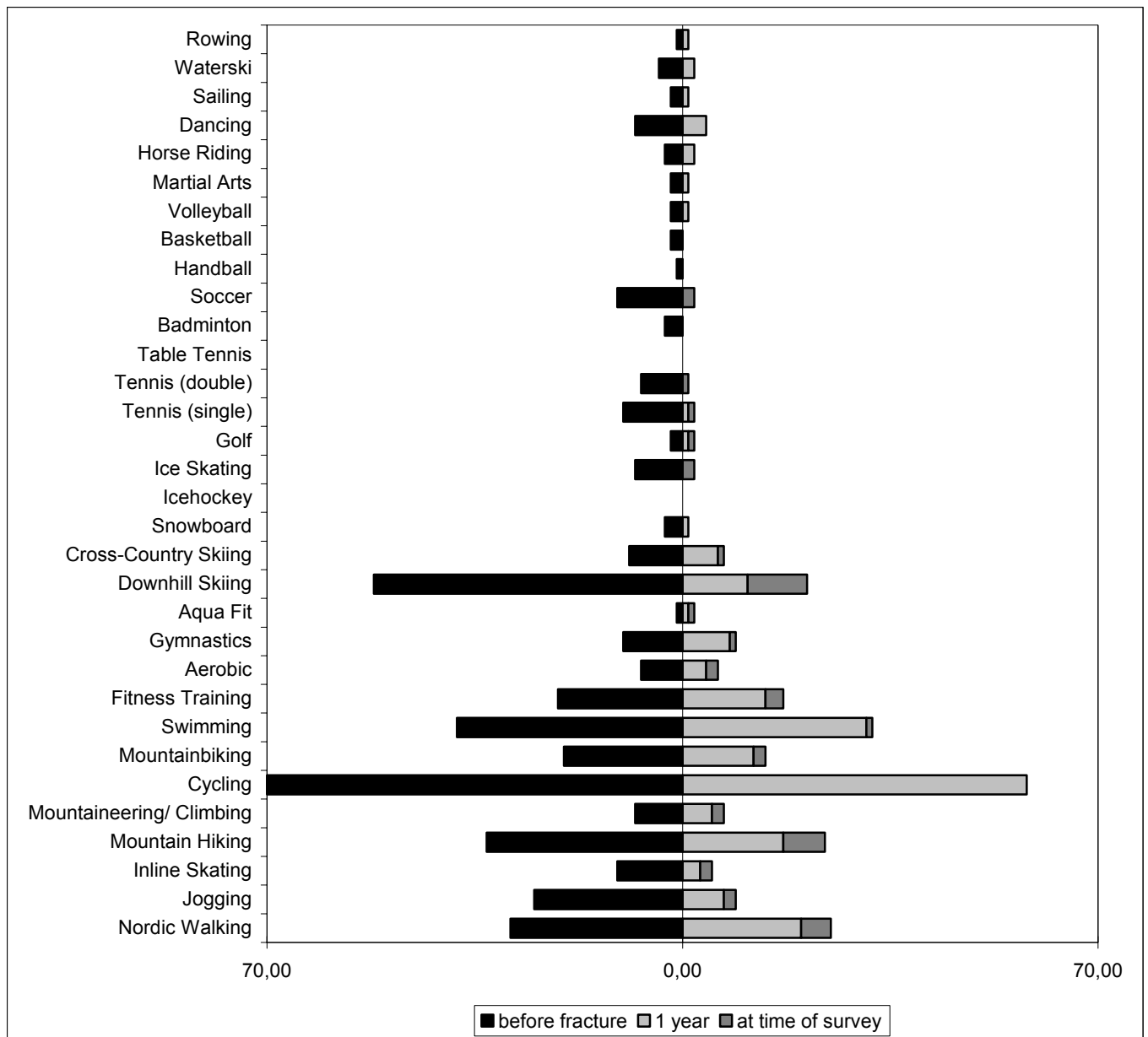
Ein Jahr postoperativ nahm sowohl die Häufigkeit von Sportaktivitäten pro Woche auf  $2,2 \pm 1,3$  (Range: 0,5 – 6;  $P < 0,001$ ) als auch die Dauer auf  $3,4 \pm 2,9$  Stunden pro Woche (Range: 0,5 – 15;  $P = 0,011$ ) signifikant ab.

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung, durchschnittlich 52,8 Monate postoperativ, hatte die Häufigkeit von Sportaktivitäten pro Woche auf  $2,4 \pm 1,4$  (Range: 0,5 – 7;  $P = 0,003$ ) und die Dauer auf  $3,8 \pm 2,8$  Stunden pro Woche (Range: 0,5 – 15;  $P = 0,026$ ) verglichen mit einem Jahr postoperativ, wieder signifikant zugenommen, siehe Abbildung 13.



**Abbildung 13:** Outcome Scores, Balkenlänge siehe Statistikeil. Quelle: eigenes Bildmaterial

Auch die von den Patienten am häufigsten ausgeübten Sportarten änderten sich nach der Tibiakopf-Fraktur. Die Top-5 häufigsten Sportarten änderten sich von „high-impact“ Sportarten mit hoher Kniebelastung wie Skifahren (58,4% der Patienten vor dem Unfall) und Joggen (28,1% vor dem Unfall), hin zu „low-impact“ Sportarten mit weniger Kniebelastung, wie Nordic Walking (22,5% ein Jahr nach der Tibiakopf-Fraktur). Fahrradfahren blieb die Nummer 1 unter den Sportaktivitäten der Patienten. Die Anzahl der Patienten die Fahrradfahren als Sport betrieben, verringerte sich jedoch von 78,7% vor der Tibiakopf-Fraktur auf 65,2%, siehe Abbildung 14.



**Abbildung 14:** Sportarten und Anzahl der Patienten die diese Sportarten betrieben, zum Zeitpunkt der Verletzung (links), 1 Jahr post-OP und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (rechts).  
Quelle: eignes Bildmaterial

### 3.4 Klinisches Outcome

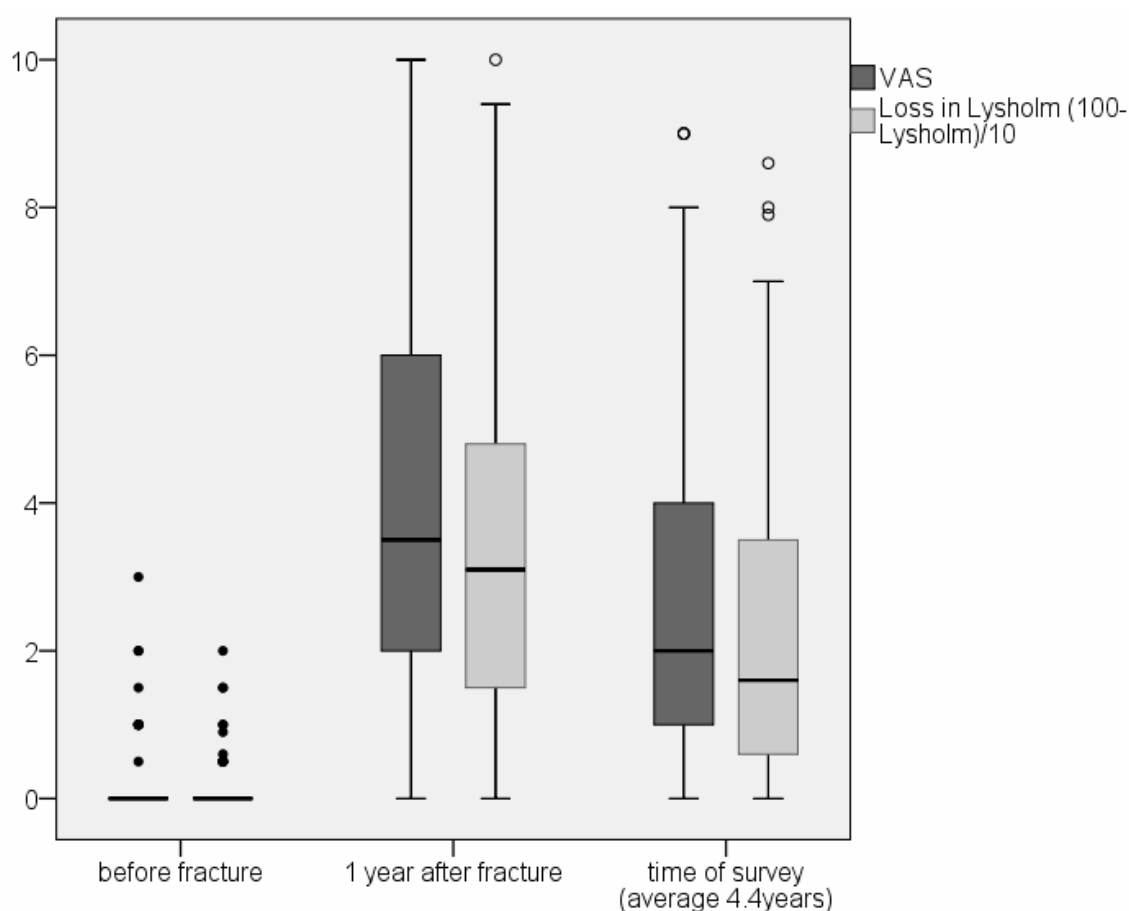
Die Gesamtzufriedenheit mit dem Ergebnis der Operation, auf einer Skala von 1 (sehr zufrieden) bis 4 (unzufrieden), lag im Mittel bei  $1,6 \pm 0,9$  (Range: 1-4); 57,3% der Patienten waren sehr zufrieden, 31,5% waren zufrieden, 4,5% waren bedingt zufrieden und 6,7% waren nicht zufrieden mit dem Ergebnis der Operation.

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (im Mittel 52,8 Monate postoperativ) benötigten 12,4% der Patienten gelegentlich bei Bedarf Schmerzmedikamente wegen Schmerzen im betroffenen

Knie und 4,5% der Patienten nahmen regelmäßig Schmerzmedikamente wegen ihrer Knie-schmerzen ein.

Die Schmerzen im Knie, gemessen an der visuellen Analogskala für Schmerz (VAS), stiegen nach der Tibiakopf-Fraktur signifikant von  $0,2 \pm 2,5$  (Range: 0 – 3) vor dem Unfall auf  $3,7 \pm 2,7$  (Range 0 – 10) ein Jahr nach der Tibiakopf-Fraktur ( $P < 0,001$ ) und sanken dann wieder signifikant bis zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (52,8 Monate postoperativ) auf  $2,6 \pm 2,4$  (Range 0 – 9;  $P < 0,001$ ).

Der Lysholm Score sank signifikant von  $98,7 \pm 3,6$  (Range: 80 – 100) vor der Verletzung auf  $66,2 \pm 24,1$  (Range 0 – 100) ein Jahr postoperativ ( $P < 0,001$ ) und stieg dann bis zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (52,8 Monate postoperativ) wieder signifikant an auf  $76,6 \pm 21,0$  (Range 14 – 100;  $P < 0,001$ ).



**Abbildung 15:** Klinisches Outcome, Vor dem Unfall lag der Schmerz bei den meisten Patienten bei 0, daher reduziert sich der Boxplot auf einen Strich. Quelle: eigenes Bildmaterial

Das Sportniveau der Patienten, gemessen am Tegner Aktivitäts-Index, sank signifikant von  $5,2 \pm 1,6$  (Range 1 – 9) vor der Tibiakopf-Fraktur auf  $3,0 \pm 1,8$  (Range 0 – 9) ein Jahr postoperativ ( $P < 0,001$ ) und stieg dann wieder signifikant bis zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (52,8 Monate postoperativ) auf  $3,6 \pm 1,7$  (Range: 0 – 9;  $P < 0,001$ ).

Der Score des Activity Rating Scale (ARS) sank signifikant von  $6,9 \pm 4,7$  (Range 0 – 16) vor der Tibiakopf-Fraktur, auf  $2,0 \pm 3,3$  (Range 0 – 16) ein Jahr postoperativ ( $P < 0,001$ ) und



stieg dann bis zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (52,8 Monate postoperativ) wieder signifikant auf  $2,9 \pm 3,8$  (Range 0 – 16;  $P < 0,001$ ).

Die Patienten gaben an, dass sich ihre Sportfähigkeit nach der Tibiakopf-Fraktur signifikant verschlechtert hatte. Auf der subjektiven Skala von -2 bis +2 sank die Sportfähigkeit der Patienten um  $-0,96 \pm 0,7$  Punkte (Range: -2 bis 0;  $P < 0,001$ ).

### 3.5 AO- und Schatzker-Klassifikation: Spezifische Ergebnisse

Von den 89 Tibiakopf-Frakturen waren, nach der AO-Klassifikation [48], 3 (3,4%) Typ A Frakturen, 62 (69,7%) Typ B Frakturen und 24 (27,0%) Typ C Frakturen, siehe Tabelle 2.

| AO-Classification specific results                       | AO A                     | AO B                    | AO C                    | All                     |
|--|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>n=</b>  | 3                        | 62                      | 24                      | 89                      |
| <b>Average age (years)</b>                               | 56                       | 47                      | 46                      | 47                      |
| <b>Follow-up (months)</b>                                | 91                       | 52                      | 50                      | 53                      |
| <b>Delta VAS</b>   | 1.2<br>(CI: 0.5-1.9)     | 2.0<br>(CI: 1.5-2.5)    | 3.7<br>(CI: 2.7-4.7)    | 2.4<br>(CI: 2.0-2.9)    |
| <b>Loss in Lysholm (-)</b>                               | 24.0<br>(CI: -19.1-67.1) | 15.6<br>(CI: 11.7-19.4) | 39.0<br>(CI: 28.6-49.3) | 22.2<br>(CI: 17.8-26.5) |
| <b>Loss in number of different sports activities (-)</b> | 0.33<br>(CI: -1.1-1.8)   | 1,3<br>(CI: 0.8-1.7)    | 2.6<br>(CI: 1.5-3.7)    | 1.6<br>(CI: 1.2-2.1)    |
| <b>Loss in sports activities / week (-)</b>              | 0.0<br>(CI: -)           | 0,7<br>(CI: 0.4-1.0)    | 0.9<br>(CI: 0.4-1.5)    | 0.7<br>(CI: 0.5-1.0)    |
| <b>Loss in sports (hours) / week (-)</b>                 | 0.0<br>(CI: -)           | 1,1<br>(CI: 0.5-1.7)    | 1.7<br>(CI: 0.1-3.2)    | 1.2<br>(CI: 0.6-1.8)    |
| <b>Loss in ARS (-)</b>                                   | 0.0<br>(CI: -)           | 3,6<br>(CI: 2.5-4.7)    | 5.8<br>(CI: 3.9-7.6)    | 4.0<br>(CI: 3.1-5.0)    |
| <b>Loss in Tegner (-)</b>                                | 0,7<br>(CI: -0.8-2.1)    | 1,3<br>(CI: 0.9-1.6)    | 2.3<br>(CI: 1.7-3.0)    | 1.5<br>(CI: 1.2-1.9)    |
| <b>Self reported satisfaction 1(best) - 4</b>            | 1.33<br>(CI: -0.1-2.77)  | 1.6<br>(CI: 1.4-1.8)    | 1.7<br>(CI: 1.2-2.1)    | 1.6<br>(CI: 1.4-1.8)    |

**Tabelle 2:** Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) Klassifikation spezifische Ergebnisse. Die Werte sind dargestellt als Mittelwert (95% Konfidenzintervall).

Wenn man nur die AO Typ A und Typ B Frakturen miteinander vergleicht, zeigt sich kein statistisch signifikanter Unterschied für den klinischen Outcome, gemessen am Lysholm Score ( $P = 0,354$ ) und dem VAS ( $P = 0,498$ ). Auch bei der Sportfähigkeit, gemessen am Tegner Score ( $P = 0,458$ ), dem ARS ( $P = 0,152$ ) und dem Sportarten spezifischen Fragebogen, zeigte sich kein signifikanter Unterschied.

Die bikondylären AO Typ C Frakturen zeigten, verglichen mit den Typ A und B Frakturen signifikant größere Verluste beim Lysholm-Score ( $P < 0,001$ ). Bei den Typ C Frakturen zeigte sich auch ein signifikant höheres Schmerzniveau, gemessen an der VAS ( $P = 0,001$ ), ver-

glichen mit den Typ A und B Frakturen, sowie eine signifikante Reduktion des Tegner Aktivitäts Score um  $-2,3$  Punkte zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung im Vergleich zu vor dem Unfall ( $P = 0,002$ ). Trotz der Schmerzen und der reduzierten Kniefunktion trieben die Patienten weiterhin Sport und zeigten keinen signifikanten Unterschied bei der Sporthäufigkeit pro Woche ( $P = 0,428$ ) und der Dauer der Sportaktivitäten pro Woche ( $P = 0,357$ ) verglichen mit den Typ A und B Frakturen. Ein signifikanter Unterschied zeigte sich bei der Anzahl der verschiedenen Sportaktivitäten ( $P = 0,004$ ), siehe Tabelle 2.

Nach der Schatzker-Klassifikation [62, 63] klassifiziert, umfasste diese Studie 9 (10,1%) laterale Spaltbrüche Typ I, 32 (36%) Spalt-/Impression-Kombinationsfrakturen Typ II, 18 (20,2%) laterale Impressionsfrakturen Typ III, 4 (4,5%) mediale Typ IV Frakturen, 3 (3,4%) bikondyläre Typ V Frakturen und 23 (25,8%) Typ VI Frakturen mit diaphysärer Diskontinuität.

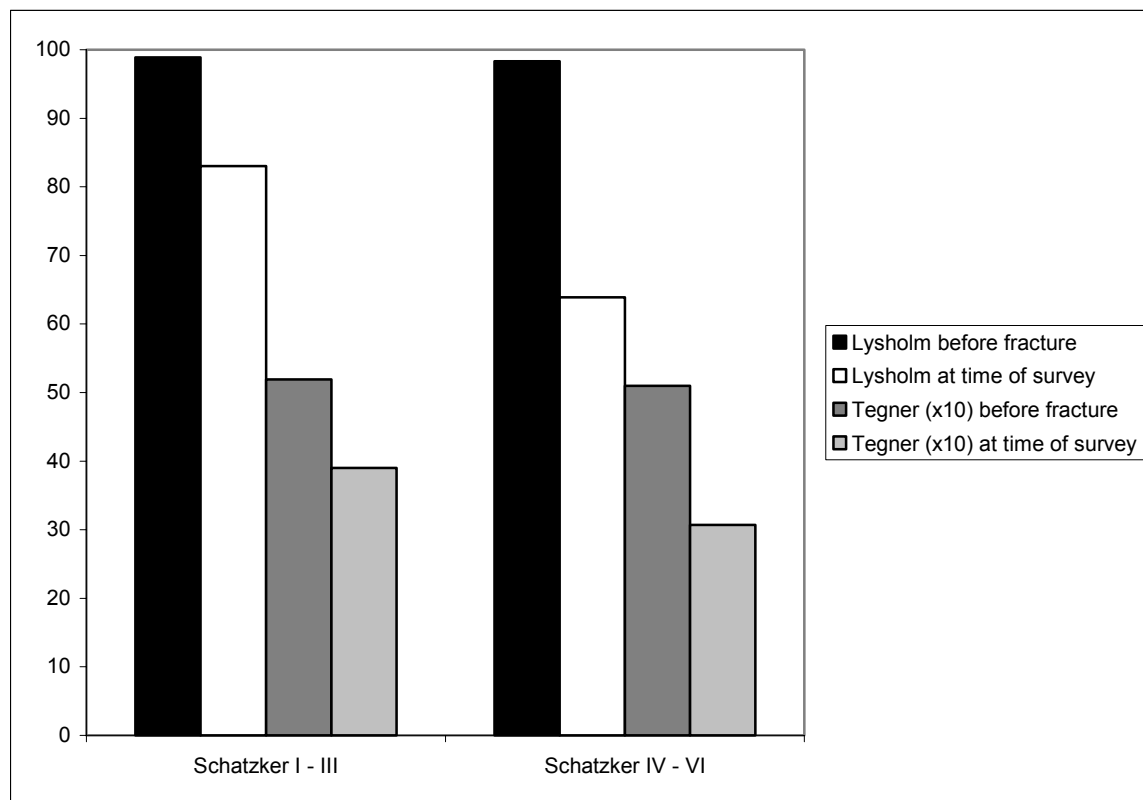
Bei den klinischen Ergebnissen fiel auf, dass Typ II Frakturen, die laterale Spalt-/Impression-Kombinationsfrakturen sind, schlechtere Ergebnisse zeigten als reine laterale Spaltbrüche (Typ I) oder laterale Impressionsbrüche (Typ III).

Die bikondylären Frakturen Typ V und VI (29,2% aller Frakturen) zeigten die schlechtesten Ergebnisse, siehe Tabelle 3.

| Schatzker specific results                           | I                      | II                      | III                    | IV                     | V                        | VI                      |
|--|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| <b>n= 89</b>   | 9                      | 32                      | 18                     | 4                      | 3                        | 23                      |
| <b>Average age (years)</b>                           | 43                     | 49                      | 46                     | 46                     | 59                       | 47                      |
| <b>Follow-up (months)</b>                            | 53                     | 48                      | 63                     | 41                     | 34                       | 55                      |
| <b>Delta VAS</b>                                     | 2.2<br>(CI: 0.7-3.8)   | 2.1<br>(CI: 1.3-2.9)    | 2.0<br>(CI: 0.9-3.1)   | 1.4<br>(CI: 0.2-2.6)   | 3.2<br>(CI: 1.3-5.1)     | 3.5<br>(CI: 2.4-4.6)    |
| <b>Loss in Lysholm (-)</b>                           | 12.2<br>(CI: 3.7-20.8) | 18.0<br>(CI: 12.0-24.1) | 13.9<br>(CI: 6.2-21.6) | 9.25<br>(CI: 0.7-17.8) | 33.7<br>(CI: -18.7-86.0) | 39.0<br>(CI: 28.4-49.5) |
| <b>Loss in number of different sports activities</b> | 0.7<br>(CI: 0.0-1.3)   | 1.6<br>(CI: 0.8-2.3)    | 1.0<br>(CI: 0.2-1.8)   | 0.8<br>(CI: 0.8-2.3)   | 1.0<br>(CI: -1.5-3.5)    | 2.7<br>(CI: 1.6-3.9)    |
| <b>Loss in sports activities / week</b>              | 0.5<br>(CI: 0.7-1.7)   | 0.9<br>(CI: 0.4-1.4)    | 0.4<br>(CI: 0.2-1.0)   | 0.1<br>(CI: 0.3-0.5)   | 0.7<br>(CI: 0.8-2.1)     | 0.9<br>(CI: 0.3-1.5)    |
| <b>Loss in sports hours / week (-)</b>               | 0.6<br>(CI: 0.3-1.5)   | 1.6<br>(CI: 0.5-2.7)    | 0.5<br>(CI: 0.1-1.1)   | 0.0<br>(CI: -)         | 1.0<br>(CI: -1.5-3.5)    | 1.7<br>(CI: 0.1-3.3)    |
| <b>Loss in ARS (-)</b>                               | 3.3<br>(CI: 0.4-7.1)   | 4.4<br>(CI: 2.8-6.0)    | 2.3<br>(CI: 0.6-4.0)   | 2.5<br>(CI: -3.5-8.5)  | 7.0<br>(CI: -5.9-19.9)   | 5.1<br>(CI: 3.2-7.0)    |
| <b>Loss in Tegner (-)</b>                            | 1.2<br>(CI: 0.1-2.2)   | 1.6<br>(CI: 1.0-2.1)    | 0.8<br>(CI: 0.3-1.4)   | 0.5<br>(CI: -1.1-2.1)  | 1.5<br>(CI: -1.8-4.8)    | 2.4<br>(CI: 1.7-3.1)    |
| <b>Self reported satisfaction 1(best) - 4</b>        | 1.7<br>(CI: 1.1-2.2)   | 1.7<br>(CI: 1.4-2.0)    | 1.4<br>(CI: 1.1-1.8)   | 1.5<br>(CI: 0.6-2.4)   | 1.7<br>(CI: 0.2-3.1)     | 1.6<br>(CI: 1.2-2.1)    |

**Tabelle 3:** Schatzker Klassifikation spezifische Ergebnisse. Die Werte sind dargestellt als Mittelwert (95% Konfidenzintervall).

Für die weitere Analyse wurden die Patienten in Niedrig-Energie-Traumata (Schatzker I bis III) und Hochrasanztraumata (Schatzker IV bis VI) aufgeteilt [5]. Bei den Hochrasanztraumata zeigten sich, verglichen mit den Niedrig-Energie-Traumata, signifikant schlechtere Ergebnisse in den klinischen Outcome Scores wie dem Lysholm Score ( $P < 0,001$ ) und dem Tegner Score ( $P = 0,027$ ), siehe Abbildung 16.



**Abbildung 16:** Klinische Outcome Scores: Lysholm Score und Tegner Scores zum Zeitpunkt der Verletzung und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung, eingeteilt in Niedrig-Energie Traumata (Schatzker I bis III) und Hochrasanztraumata (Schatzker IV bis IV). Quelle: eigenes Bildmaterial

### 3.6 Subgruppen-Analyse: Alter, Metallentfernung und Meniskus- und Bänderverletzungen

In diesem Abschnitt wurde untersucht, welchen Einfluss die Parameter Alter, Metallentfernung, Meniskus- und Bänderverletzungen auf das klinische Ergebnis haben. Dazu wurden entsprechende Subgruppen verglichen.

Für die Subgruppen-Analyse bezüglich des Alters wurden die Patienten nach dem Alter am Unfalltag wie folgt in drei Gruppen unterteilt: Gruppe I jünger als 30 Jahre ( $n = 9$ ), Gruppe II 30 bis 60 Jahre ( $n = 69$ ) und Gruppe III älter als 60 Jahre ( $n = 17$ ). In allen Gruppen waren die klinischen Outcome Scores, das Aktivitätsniveau und die Intensität der sportlichen Aktivitäten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung und ein Jahr postoperativ niedriger als vor der Verletzung. Es zeigte sich jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den Altersgruppen.

Bei der Subgruppenanalyse bezüglich der Metallentfernung wurde untersucht, wie sich die Metallentfernung auf das Outcome auswirkt. Den Patienten mit Tibiakopf-Frakturen wurde die Metallentfernung bei knöcherner Konsolidierung nach 12 Monaten empfohlen.

Bei den Patienten dieser Fallserie wurde bei 60 Patienten (67,4% aller Patienten), durchschnittlich  $14,4 \pm 6,5$  Monate postoperativ (Range: 5 – 38 Monate), das Osteosynthesematerial entfernt. Bei 29 Patienten wurde das Osteosynthesematerial nicht entfernt. Für eine weitere Analyse wurden die Patienten der Studie in zwei Gruppen aufgeteilt: Patienten, die eine Metallentfernung durchführen ließen, und Patienten, die eine Metallentfernung ablehnten. Die Schweregrade der Frakturen waren in beiden Gruppen gleich verteilt, sowohl in der Niedrig-Energie Gruppe als auch in der Hochrasanztraumata Gruppe wurden bei 67% aller Patienten das Metall entfernt. Zwischen den Gruppen zeigte sich kein Unterschied in der VAS ( $P = 0,893$ ) und im Lysholm Score ( $P = 0,964$ ). Interessanterweise zeigten jedoch die Patienten, bei denen eine Metallentfernung durchgeführt wurde, signifikant schlechtere Ergebnisse im Tegner Score ( $P = 0,028$ ). Auch bei der Gesamtzufriedenheit mit dem Ergebnis der Operation waren die Patienten, bei denen das Metall entfernt wurde, weniger zufrieden mit dem Ergebnis der Operation (1,72 vs. 1,38;  $P = 0,083$ ). Auf diesen Punkt wird im Diskussionsteil noch genauer eingegangen.

Bei 14 Patienten (15,7%) zeigten sich intraoperativ Meniskusschäden. Die Meniskusverletzungen wurden im Fall eines Risses genäht, bei Ausrissen der Meniskuswurzel wurde diese reinseriert. Bänderverletzungen lagen bei 13 (14,6%) aller Patienten vor. Von diesen Verletzungen waren 4 knöcherne Ausrisse des vorderen Kreuzbandes (ACL), weitere 4 waren Risse des vorderen Kreuzbandes, 2 waren kombinierte Verletzungen des vorderen und des hinteren Kreuzbandes (PCL), 2 Patienten hatten ein gerissenes Innenband und ein Patient hatte einen Riss des Außenbandes. Beim klinischen Outcome zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe mit Bänderverletzungen und der ohne Bänderverletzungen, weder beim Tegner Score ( $P = 0,693$ ), noch im Lysholm Score ( $P = 0,374$ ) oder bei der Sporthäufigkeit in Stunden pro Woche ( $P = 0,365$ ). Eine weitere Subgruppenanalyse zwischen den verschiedenen Bandverletzungen war auf Grund der geringen Fallzahl der Patienten in den Gruppen statistisch nicht sinnvoll.

### 3.7 Fallbeispiele

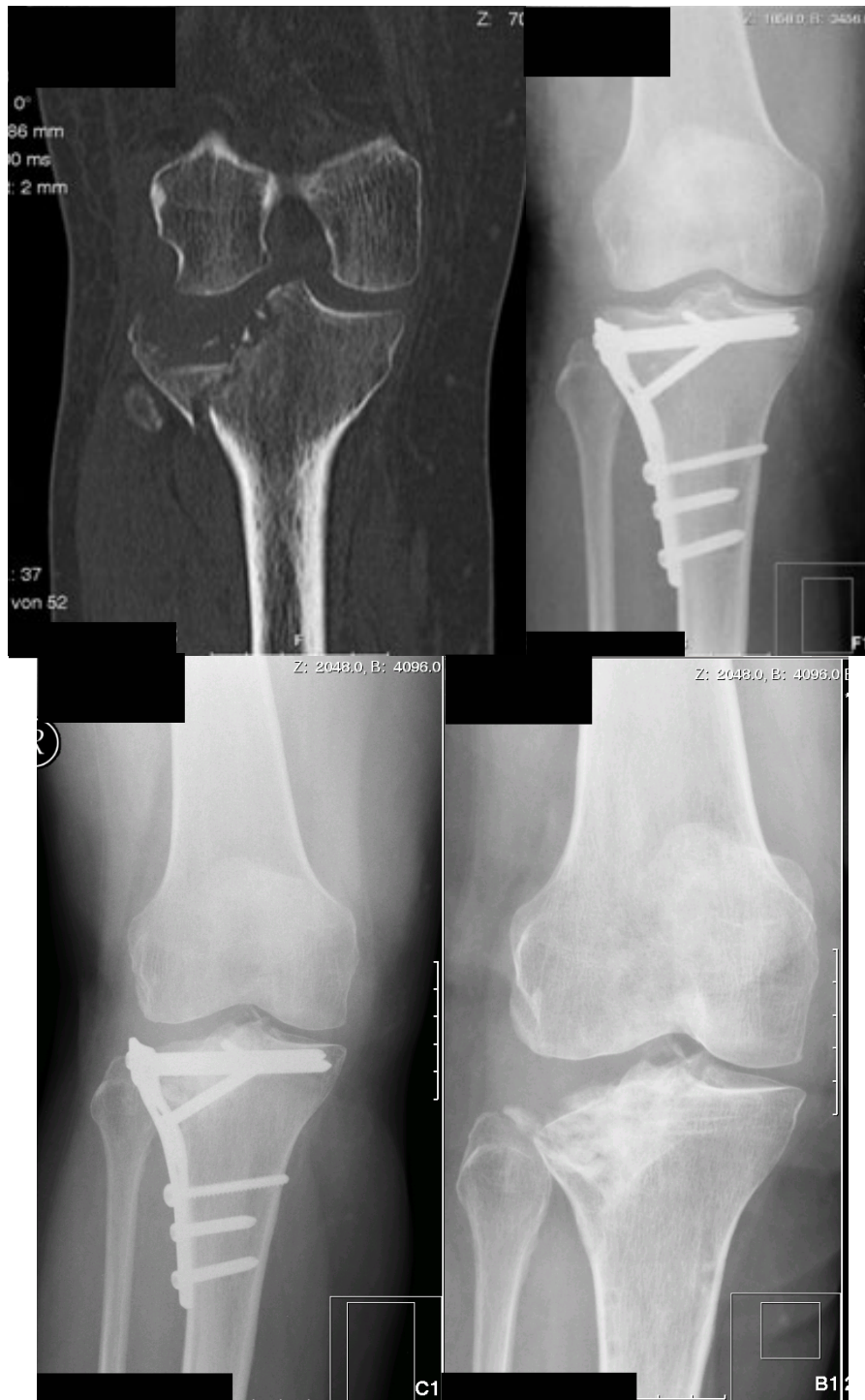
#### POSITIV



**Abbildung 17:** Fallbeispiel eines günstigen Heilungsverlaufes: Der 42 Jahre alte männliche Patient hatte beim Skifahren eine Tibiakopf-Fraktur erlitten. Die Fraktur wurde mit einer winkelstabilen Platte versorgt und mit Chronos<sup>®</sup> TCP Knochenersatzmaterial unterfüttert. Bei der Metallentfernung war die Fraktur knöchern vollständig konsolidiert und der Patient konnte Sport auf dem gleichen Niveau wie vor der Verletzung betreiben. Zu diesem Zeitpunkt fuhr er auch bereits wieder Ski.

Quelle: eigenes Bildmaterial

## NEGATIV



**Abbildung 18:** Fallbeispiel eines ungünstigen Heilungsverlaufes: Die 69-jährige Patientin erlitt eine Tibiakopf-Fraktur AO 41-B3, die mit einer winkelstabilen Platte und Beckenkamm-Knochen versorgt wurde. Nach guter initialer Reposition durch die Operation kam es im Verlauf zum Nachsintern des lateralen Tibiaplateaus. Im vierten Bild sieht man den Zustand nach der Materialentfernung. Im weiteren Verlauf wurde die Patientin mit einer totalen Knie-Endoprothese versorgt. Daher wurde die Patientin von der Studie ausgeschlossen. Quelle: eigenes Bildmaterial.

## 4 Diskussion (Teil 1)

Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass die anatomische Rekonstruktion des Tibiaplateaus und damit die Wiederherstellung der Beinachse wichtige Einflussfaktoren für ein gutes klinisches Ergebnis in der Frakturversorgung sind [38, 53]. Marsh et al. [41] zeigten, dass die Verletzung des Gelenkknorpels bei der Gelenkfraktur der wichtigste Faktor ist, der später zur Entwicklung einer posttraumatischen Arthrose führt.

Da sich die meisten in der Literatur vorhandenen Studien auf den Langzeit Outcome und die Prävention der posttraumatischen Arthrose konzentrieren, existieren nur wenige Daten zur Wiedererlangung der Sportfähigkeit („Return to Sports Activity“) nach Tibiakopf-Frakturen. Es ist jedoch wichtig, diese Ergebnisse zur Sportfähigkeit nach der Tibiakopf-Frakturen zu kennen, da sich die Patienten auch nach einer schweren Verletzung eine Wiederherstellung der vollen Funktionalität erhoffen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie stützen die Hypothese, dass Tibiakopf-Frakturen einen großen Einfluss auf die zukünftigen Sportaktivitäten der Patienten haben. Trotz der guten klinischen Ergebnisse gaben die Patienten ihre ambitionierten Sportaktivitäten nach der Tibiakopf-Fraktur oft auf und änderten ihre Sportarten hin zu „low-impact“ Sportarten. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der Studie, dass Hochrasanztraumata (Schatzker IV bis VI) zu schlechteren Ergebnissen führen als Niedrig-Energie-Traumata (Schatzker I bis III), wie dies auch schon in vorherigen Studien gezeigt wurde [5].

Im Unterschied zu anderen Studien, in denen Verkehrsunfälle die häufigste Ursache für Tibiakopf-Frakturen waren [38, 53], waren in dieser Studie Sportunfälle mit 53,9% die häufigste Unfallursache. Innerhalb dieser großen Anzahl von Sportunfällen wurde ein beachtlicher Anteil durch Verletzungen beim Skifahren verursacht (n = 28; 31,5%). Diese hohe Anzahl von Skiunfällen in dieser Fallserie könnte damit zusammenhängen, dass München 100 km von den großen Skigebieten der Alpen entfernt ist und entsprechend viele Skiunfälle in Münchner Kliniken behandelt werden.

Der Vergleich von Ski- und Motorradunfällen zeigt, dass es einen Zusammenhang zwischen Unfallursache und Frakturtyp gibt. Während die Skiverletzungen meist AO Typ B Verletzungen waren (78,6% Typ B Frakturen; 21,4% Typ C Frakturen), resultierten bei Motorradunfällen als Hochrasanztraumata häufiger die schwereren AO Typ C Frakturen (60,0% Typ B Frakturen; 40,0% Typ C Frakturen).

Auch die Tatsache, dass in der vorliegenden Studie ein Höchstalter als Ausschlusskriterium gewählt wurde, könnte dazu beigetragen haben, dass auf Grund der relativ jungen und sportlichen Patienten dieser Studie Sport- und Skiunfälle häufiger aufgetreten sind.

In der Literatur gab es eine kontroverse Diskussion über die Inzidenz von Tibiakopf-Frakturen bei Skiunfällen in den 1980er und 1990er Jahren. Während einige Autoren von einer niedrigen Inzidenz von Tibiakopf-Frakturen beim Skifahren berichten, ungefähr 1,5% aller Skifahrer-Verletzungen [44], berichten andere Autoren von höheren Zahlen [57]. Dabei sollte man jedoch beachten, dass diese Studien aus den 1980er Jahren auf einer relativ kleinen Anzahl von Patienten basieren. In einer neueren Studie aus dem Jahr 2009 konnten Wasden et al. [71] zeigen, dass sich Skifahrer häufig Verletzungen der unteren Extremität zuziehen, was möglicherweise an der Neueinführung von Carving Skiern und dem damit verbundenen aggressiveren Fahrstil liegt. Die in der vorliegenden Studie gefundene niedrige Inzidenz von Tibiakopf-Frakturen bei Snowboardern stimmt mit den Angaben in der Literatur überein [1, 71], in der vorliegenden Fallserie kam auf 28 Skifahrer nur ein Snowboarder.

Da 53,9% der Patienten dieser Studie Sportunfälle erlitten hatten und 76,4% der Patienten Freizeit-Sportler waren, lässt sich der Schluss ziehen, dass die meisten Patienten (durchschnittliches Alter der Patienten 47,2 Jahre), die typischen „weekend warrior“ [35] waren. Dieser Typ von Sportler arbeitet typischerweise von 9 Uhr morgens bis 5 Uhr abends oder länger unter der Woche und findet nur am Wochenende Zeit, um Sport zu treiben. Diese Freizeitsportler haben hohe sportliche Ambitionen, es mangelt ihnen jedoch an körperlicher Fitness und sportlicher Erfahrung, was zu schweren Sportverletzungen wie Tibiakopf-Frakturen führt.

Da die Patienten bei einem Durchschnittsalter von 47,2 Jahren mitten im Arbeitsleben stehen und eine Tibiakopf-Fraktur eine lange Arbeitsunfähigkeit nach sich zieht, ist diese Verletzung auch von großer wirtschaftlicher Bedeutung. Von den Patienten dieser Studie mussten 4 Patienten (4,5%) nach der Tibiakopf-Fraktur ihren bisherigen Beruf aufgeben oder in einen körperlich weniger anspruchsvollen Beruf wechseln.

Für professionelle Sportler oder Wettkampfsportler bedeutete die Tibiakopf-Fraktur in 9 von 11 Fällen (81,8%) das Ende der sportlichen Karriere. Diese große Zahl unterstreicht den enormen Einfluss der Tibiakopf-Fraktur auf die Kniegelenksfunktion. Bei professionellen Sportlern muss in der postoperativen Rehabilitation nicht nur die Kniefunktion, sondern auch die Atrophie der Muskulatur berücksichtigt werden. Die Implementierung von spezifischeren Rehabilitationsprogrammen, wie diese bereits in der Knorpelchirurgie angewandt werden [17, 51], könnte professionellen und Wettkampfsportlern helfen, häufiger und schneller wieder auf ihr sportliches Niveau von vor dem Unfall zurückzukehren.

In der vorliegenden Studie hat sich gezeigt, dass die Folgen der Tibiakopf-Frakturen nicht nur professionelle Sportler wesentlich beeinträchtigen, sondern auch die Freizeitsportler. Diese Patienten stellen der Großteil dieser Studie und mussten nach dem Unfall ebenfalls ihre sportlichen Aktivitäten anpassen. Während vor dem Unfall 58,4% aller Patienten Alpinski fuhren, waren es zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung nur noch 23,6% der Patienten. Schwerere Formen der Tibiakopf-Fraktur, wie die AO Typ C Fraktur, führten dazu, dass die Patienten nach dem Unfall Sportarten mit hoher Belastung der Kniegelenke („high-impact“ Sportarten) nicht mehr ausübten, wie dies auch zu erwarten war. Darüber hinaus zeigte sich, dass die Patienten die Sportarten mieden, bei denen sich der Unfall ereignet hatte. Neben der funktionellen Einschränkung der Kniegelenksfunktion gaben viele Patienten an, dass sie Risikosportarten aufgegeben hatten, weil sie weitere Sportverletzungen vermeiden und einem Fortschreiten die Kniegelenkserkrankung vorbeugen wollten.

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Markhardt et al. [40], hing die Sportfähigkeit nach dem Unfall vom Typ der Tibiakopf-Fraktur ab. Niedrig-Energie Tibiakopf-Frakturen (Schatzker Typ I bis III) [5] zeigten signifikant bessere Ergebnisse als die Hochrasanztraumata (Schatzker IV bis IV), gemessen an den Parametern verschiedene Sportarten, Sport pro Woche, der ARS und dem Tegner Score. Die schlechteren Ergebnisse der bikondylären Frakturen wurden auch bereits in vielen anderen Studien gezeigt [68, 72].

In den meisten bisherigen Studien zu Tibiakopf-Frakturen wurde der „return-to-sports“ Aspekt nur als Nebenaspekt behandelt und diese Studien untersuchten nur eine kleine Anzahl von Patienten. In einer aktuellen Studie von Siegler et al. [65] wird über 21 Patienten mit Schatzker Typ I – III Frakturen berichtet, wobei der „return-to-sports“ Aspekt nur anhand des Tegner Score gemessen wurde. Die Autoren der Studie berichteten, dass 57% der Patienten durchschnittlich nach 14 Monaten wieder Sport trieben. Über das Sportniveau dieser Patienten vor der Verletzung lagen keine Daten vor. Holzach et al. [27] publizierten eine Studie über 16 Patienten mit AO Typ B Frakturen und einer Follow-up Zeit zwischen 1 und 6,5 Jahren. Holzach et al. berichteten, dass 14 der 16 Patienten wieder auf das Sportniveau vor dem Un-



fall zurückkehrten. Jedoch wurde die Sportaktivität der Patienten in ihrer Studie nicht besonders präzise gemessen: Die Sportaktivität der Patienten wurde in ihrer Studie nur gemessen durch die Kategorien: wie vorher, weniger, viel weniger und kein Sport. Gill et al. [18] publizierten eine Fallserie von 25 Tibiakopf-Frakturen bei Skifahrern und berichteten, dass 84% der Patienten wieder zur vollen sportlichen Aktivität zurückkehrten. Jedoch bleibt unklar, mit welcher Methode die Wiedererlangung der vollen sportlichen Aktivität gemessen wurde, da dies nicht in der Publikation beschrieben wird.

In einer detaillierten Analyse aus dem Jahr 1997 teilten Houben et al. [28] ihre 46 Patienten in 3 Gruppen mit verschiedenen langen Follow-up Zeiten ein: Gruppe I hatte eine Follow-up Zeit < 37 Monate, Gruppe II hatte eine Follow-up Zeit zwischen 37 und 71 Monate und Gruppe III hatte die längste Follow-up Zeit mit > 71 Monate. Sie berichteten, dass die Patienten zwischen 37 und 71 Monate postoperativ die besten Ergebnisse hatten und begründeten dies damit, dass die Patienten in Gruppe I noch in ihrer postoperativen Rehabilitationszeit waren und daher schlechtere Ergebnisse hatten, während die Patienten in Gruppe III mit der längsten Follow-up Zeit bereits Probleme durch eine beginnende posttraumatische Arthrose hatten und deswegen schlechtere Ergebnisse hatten. Diese Ergebnisse von Houben et al. sind vereinbar mit den Resultaten dieser Studie, in der sich zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (im Mittel 52,8 Monate postoperativ) bessere Ergebnisse zeigten als nach einem Jahr postoperativ.

Bei den Subgruppen-Analysen wurde unter anderem der Einfluss der Metallentfernung untersucht und es zeigte sich, dass Patienten mit Metallentfernung ein signifikant schlechteres Ergebnis im Tegner Score hatten als die Patienten ohne Metallentfernung. Auch bei der Gesamtzufriedenheit mit dem Ergebnis der Operation waren die Patienten, bei denen das Metall entfernt wurde, weniger zufrieden mit dem Ergebnis der Operation. Über den kausalen Zusammenhang lässt sich hier nur spekulieren. Die naheliegende Vermutung ist, dass die Patienten, denen es schon nach der ersten Operation gut ging, eher die Metallentfernung ablehnten und keine weitere Operation wünschten, während die Patienten, die nach der ersten Operation noch Beschwerden hatten, eher einer Metallentfernung zustimmten und davon noch eine weitere Besserung erhofften. Es ist eher unwahrscheinlich, dass die Metallentfernungs-Operation das schlechtere Ergebnis in der Metallentfernungs-Gruppe verursacht hat.

Die Grenzen dieser Studie liegen zum einen im retrospektiven Design der Studie, die Patienten wurden nach ihren Sportaktivitäten gefragt, die in manchen Fällen schon viele Jahre zurück lagen, was möglicherweise etwas Erinnerungsbias (Recall Bias) erzeugt hat. Zum anderen hat die Studie nur eine mittel-lange Follow-up Zeit, wodurch sich keine Schlüsse über eine spätere Entwicklung von posttraumatischer Arthrose und die Sportaktivitäten der Patienten zu einem späteren Zeitpunkt ziehen lassen.

Eine weitere Einschränkung dieser Studie ist, dass von den im Nachuntersuchungszeitraum insgesamt 109 operierten Patienten nur 89 Patienten nachuntersucht wurden, 20 Patienten (18,3%) konnten nicht nachuntersucht werden oder verweigerten die Teilnahme an der Studie, wodurch möglicherweise etwas Selektionsbias (Selection Bias) entstanden ist.

Insgesamt präsentiert diese Studie die klinischen Ergebnisse von 89 Patienten mit Tibiakopf-Frakturen und ihre Sportfähigkeit nach einer mittleren Follow-up Zeit von  $52 \pm 23,1$  Monaten postoperativ. Die Sportaktivität der Patienten wurde gemessen anhand speziell entwickelter Fragebögen und international akzeptierten und evaluierten Aktivitäts-Scores. Diese Studie ist die bisher größte Fallserie mit der längsten Follow-up Zeit, die speziell die Sportfähigkeit und die Sportaktivitäten von Patienten nach Tibiakopf-Frakturen untersucht.

## 5 Schlussfolgerung (Teil 1)

Die vorliegende Studie zeigt, dass Tibiakopf-Frakturen einen großen qualitativen und quantitativen Einfluss auf die Sportfähigkeit und Sportaktivität der Patienten haben.

Der Anstieg der Sportfähigkeit vom Zeitpunkt ein Jahr postoperativ bis zum Ende des Nachuntersuchungszeitraumes (im Mittel 52,8 Monate postoperativ) unterstreicht, dass eine lange Rehabilitationsphase nach Tibiakopf-Frakturen notwendig ist.

Die Mehrzahl der Patienten war mit dem Gesamtergebnis der Operation zufrieden und erzielte zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung beim Lysholm Score gute Werte. Trotzdem sind Tibiakopf-Frakturen eine schwerere Beeinträchtigung für Profi- und Freizeit-Sportler und die meisten Patienten waren gezwungen, ihre Sportaktivitäten zu reduzieren oder mussten sogar den Wettkampfsport ganz aufgeben.

Die Ergebnisse dieser Studie haben auch gezeigt, dass Patienten mit schwerwiegenderen Frakturen (Schatzker IV bis VI), hervorgerufen durch Hochrasanztraumata, signifikant schlechtere Ergebnisse haben und in ihrer Sportfähigkeit stärker eingeschränkt sind.

Die Patienten dieser Studie änderten nach der Tibiakopf-Fraktur ihre Sportarten, weg von Sportarten mit hoher Kniebelastung („high-impact“) hin zu Sportarten mit geringerer Kniebelastung („low-impact“). Ob dies eine direkte Folge der Verletzung und der damit verbundenen Schmerzen und eingeschränkten Kniefunktion ist oder ob dies durch ein Vermeidungsverhalten verursacht wird, bleibt unklar.

## 6 Experimenteller Teil 2: Erprobung eines neuen minimal-invasiven OP-Verfahrens mittels Ballon-Osteoplastie im Kadavermodell

In zweiten Teil der Doktorarbeit wird die Entwicklung eines neuen OP-Verfahrens für die Tibiakopf-Fraktur und seine Erprobung im Kadavermodell beschrieben. Die Ergebnisse dieser Studie sind in folgenden Publikationen zu finden:

*Balloon osteoplasty - a new technique for reduction and stabilisation of impression fractures in the tibial plateau: a cadaver study and first clinical application;* Ahrens P, Sandmann G, Bauer J, König B, Martetschläger F, **Müller D**, Siebenlist S, Kirchhoff C, Neumaier M, Biberthaler P, Stöckle U, Freude T; *Int Orthop.* 2012 Sep;36(9):1937-40; DOI: 10.1007/s00264-012-1592-8 [2]

*Balloon osteoplasty - a new technique for minimally invasive reduction and stabilisation of Hill-Sachs lesions of the humeral head: a cadaver study;* Sandmann GH, Ahrens P, Schaeffler C, Bauer JS, Kirchhoff C, Martetschläger F, **Müller D**, Siebenlist S, Biberthaler P, Stöckle U, Freude T.; *Int Orthop.* 2012 Nov;36(11):2287-91; DOI: 10.1007/s00264-012-1644-0 [59]

Wie im ersten Teil der Doktorarbeit gezeigt, stellt die Versorgung von Tibiakopf-Frakturen selbst für erfahrene Unfallchirurgen immer noch eine Herausforderung dar. Das klinische Outcome der Tibiakopf-Frakturen ist, wie in Teil 1 der Arbeit nachgewiesen, noch verbesserungswürdig. Über die Jahre wurden neue OP-Verfahren für die Tibiakopf-Frakturen eingesetzt, wie arthroskopisch assistierte Techniken [10, 18] oder das von Holzach et al. [27] entwickelte minimal-invasive kannülierte Instrumentarium.

In der Wirbelsäulenchirurgie werden seit längerem Kyphoplastie-Ballons eingesetzt [7, 56], mit denen sich osteoporotische Wirbelkörper-Frakturen auf elegante Art und Weise minimal-invasiv reponieren lassen. In letzter Zeit wurden einige Studien publiziert, in denen diese Ballons auch zur Reposition anderer Frakturen eingesetzt wurden wie z.B. Calcaneus-Frakturen, Cuboid-Frakturen, distale Radius-Frakturen, Acetabulum-Frakturen und Orbitaboden-Frakturen [21, 23, 30, 31, 33, 45]. Es war daher naheliegend, diese Osteoplastie-Ballons auch zur minimal-invasiven Reduktion von Tibiakopf Impressions-Frakturen zur verwenden. In der vorliegenden Doktorarbeit wurde dazu ein OP-Verfahren entwickelt und im Kadavermodell erprobt.

## 7 Methoden und Materialien (Teil 2, Ballon–Osteoplastie)

Für diese biomechanische Studie wurden 6 Kadaver Beine (3 Paare), verwendet, die von der Anatomischen Anstalt der LMU München zur Verfügung gestellt wurden. Die Einschlusskriterien dieser Studie waren: Intakte Kniegelenke, ohne Frakturen oder Zeichen einer Arthrose, keine Bandinstabilitäten oder Voroperationen am Kniegelenk.

Zunächst wurden in Vorversuchen die geeignete OP-Technik und modifizierte Instrumente entwickelt. Danach wurden die Hauptversuche durchgeführt, um das neue OP-Verfahren zu verifizieren.

Für jedes Bein wurden Computertomographien des Kniegelenkes zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt: Am unversehrten Kniegelenk, nach Setzen der standardisierten Fraktur und nach der Reposition der Impressionsfraktur mittels Ballon-Osteoplastie. Die Impressionsfrakturen (Schatzker Typ III, AO 41-B2.2) wurden nach Arthrotomie des Kniegelenkes und Perforation der Gelenkfläche mit einem Metallwerkzeug gesetzt.

Die Reposition der Frakturen wurde mithilfe kommerziell erhältlicher, aus der Wirbelsäulenchirurgie bekannter, Kyphoplastie-Ballons durchgeführt: KyphX Xpander® und KyphX Exact® (Kyphon/Medtronic, Sunnyvale, CA, USA). Außerdem wurde ein selbst entwickeltes neues Instrument verwendet, das weiter unten im Text beschrieben wird.

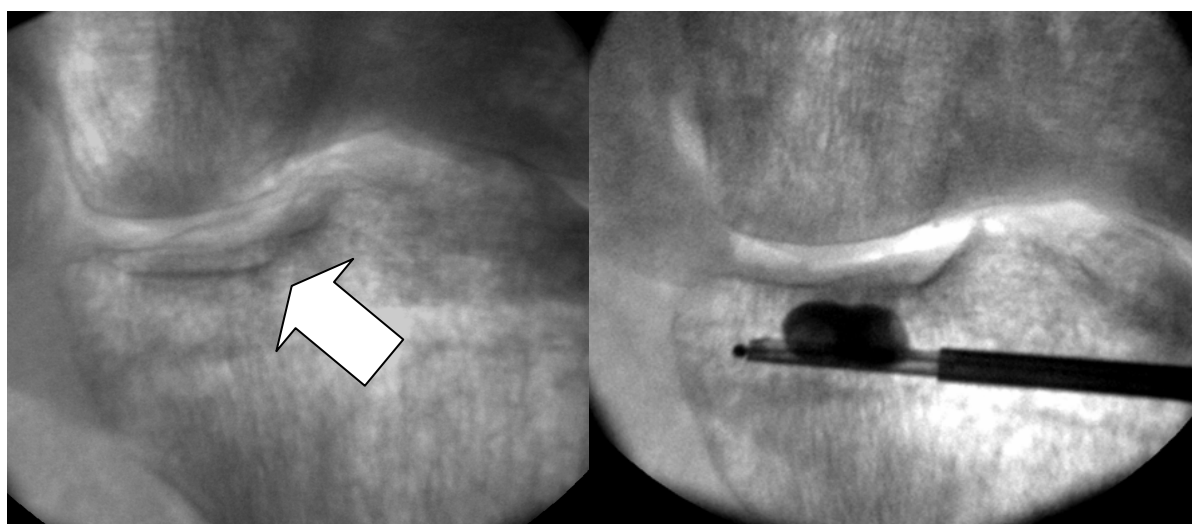
Die Computertomographien wurden im Institut für diagnostische und interventionelle Radiologie der Technischen Universität München an einem 256-Zeilen Multidetektor Computertomograph (MDCT) durchgeführt (Philips, Best, Niederlande), mit einem hoch auflösenden Scan-Protokoll (Auflösung in der Ebene 0,25 mm, Schichtdicke 0,6 mm).

## 8 Ergebnisse (Teil 2, Ballon-Osteoplastie)

### 8.1 Operationstechnik

Die Operationstechnik basierte auf der in der Kyphoplastie von Wirbelkörpern eingesetzten Technik: Unter Bildwandler-Kontrolle wurde nach einer Stichinzision auf der gegenüberliegenden Seite des frakturierten Tibiaplateaus ein Kirschner-Draht (K-Draht) unter der Fraktur platziert. Über den K-Draht wurde mit einer Einführkanüle (Osteo Introducer, Kyphon/Medtronic, Sunnyvale, CA, USA) ein Arbeitskanal geschaffen. Dieser Arbeitskanal ermöglicht das Einführen des mit Kontrastmittel gefüllten Osteoplastie-Ballons unter die Fraktur. Unter Bildwandler-Kontrolle wurde der Ballon stufenweise aufgedehnt, bis die Fraktur reponiert war, siehe Abbildung 19.

Die Reposition erfolgte aufgrund der plastischen Deformierung des Knochens in mehreren Schritten. Anschließend wurde der Ballon entleert, herausgezogen, und die entstandene Höhle wurde mit PMMA Knochenzement (KyphX® HV-R™, Kyphon/Medtronic, Sunnyvale, CA, USA) oder injizierbarem Tricalciumphosphat aufgefüllt.



*Abbildung 19: Reposition einer Tibiakopf-Fraktur (Pfeil) mit einem KyphX Exact® Ballon unter Bildwandler-Kontrolle. Quelle: eigenes Bildmaterial*

Die richtige Platzierung des Osteoplastie-Ballons ist der entscheidende Schritt bei dieser OP-Technik: Wird der Osteoplastie-Ballon zu weit von der Fraktur entfernt platziert, ist es nicht möglich die Fraktur anzuheben. Wird der Ballon zu nah an die Fraktur heran gesetzt, dann dehnt sich der Ballon nur in den weichen mittleren Teil der Trümmerzone aus und hebt nur diesen an, was zu einer Stufenbildung in der Gelenkfläche führt. In den Experimenten hat sich gezeigt, dass eine optimale Reposition der Fraktur möglich ist, wenn der Osteoplastie-Ballon ca. 3 mm unter der tiefsten Stelle der Trümmerzone platziert wird.

Kritisch bei der Platzierung des Osteoplastie-Ballons ist, dass der Operateur im Prinzip nur einen Versuch zur Platzierung des Arbeitskanals hat, da man bei weiteren Versuchen der Platzierung immer wieder in den alten Arbeitskanal rutscht.

Als Zugangsweg wurden verschiedene Zugänge getestet. Am besten hat sich ein Zugang von der Seite des intakten Tibiakopfes bewährt. Daher wurde bei einer Fraktur des lateralen Tibiaplateaus ein Zugang vom medialen Tibiaplateau gewählt. Dies gibt dem Osteoplastie-Ballon einen längeren Abstützbereich im Tibiakopf und ermöglicht ein effektives Anheben der Frakturzone, siehe Abbildung 19, Abbildung 22 und Abbildung 23. Es wurde auch mit einem Zugangsweg durch die Tuberositas Tibiae experimentiert, da erwartet wurde, dass die stabile Tuberositas Tibiae dem Osteoplastie-Ballon eine noch bessere Abstützung bietet. Bei diesem Zugangsweg gestaltet sich jedoch die optimale Platzierung des Ballons schwierig. Für den klinischen Alltag hat der Zugangsweg vom nicht betroffenen Kompartiment aus auch den Vorteil, dass die oftmals kompromittierten Weichteile bei Tibiakopf-Frakturen geschont werden.

Zunächst wurde mit den beiden kommerziell erhältlichen, aus der Wirbelsäulenchirurgie bekannten Ballons KyphX Xpander® und KyphX Exact® (Kyphon/Medtronic, Sunnyvale, CA, USA) experimentiert. Hierbei wurden die Ballons so angewendet, wie es der Hersteller für Wirbelkörper-Frakturen empfiehlt.

Hier zeigte sich ein grundlegender Unterschied zur Kyphoplastie bei osteoporotischen Wirbelkörper-Frakturen: Während es bei Wirbelkörper-Frakturen gewünscht ist, dass sich der Ballon in alle Richtungen aufdehnt und den frakturierten Wirbelkörper nach oben und nach unten aufdehnt, befindet sich bei einer Tibiakopf-Fraktur die Trümmerzone nur cranial des Ballons und der Ballon soll sich eben auch nur in diese Richtung ausdehnen. Eine effektive Reposition ist daher mit einem konventionellen Ballon nicht möglich. Zudem wird eine unnötig große Osteoplastie-Höhle geschaffen und gesunder Spongiosa-Knochen zerstört.

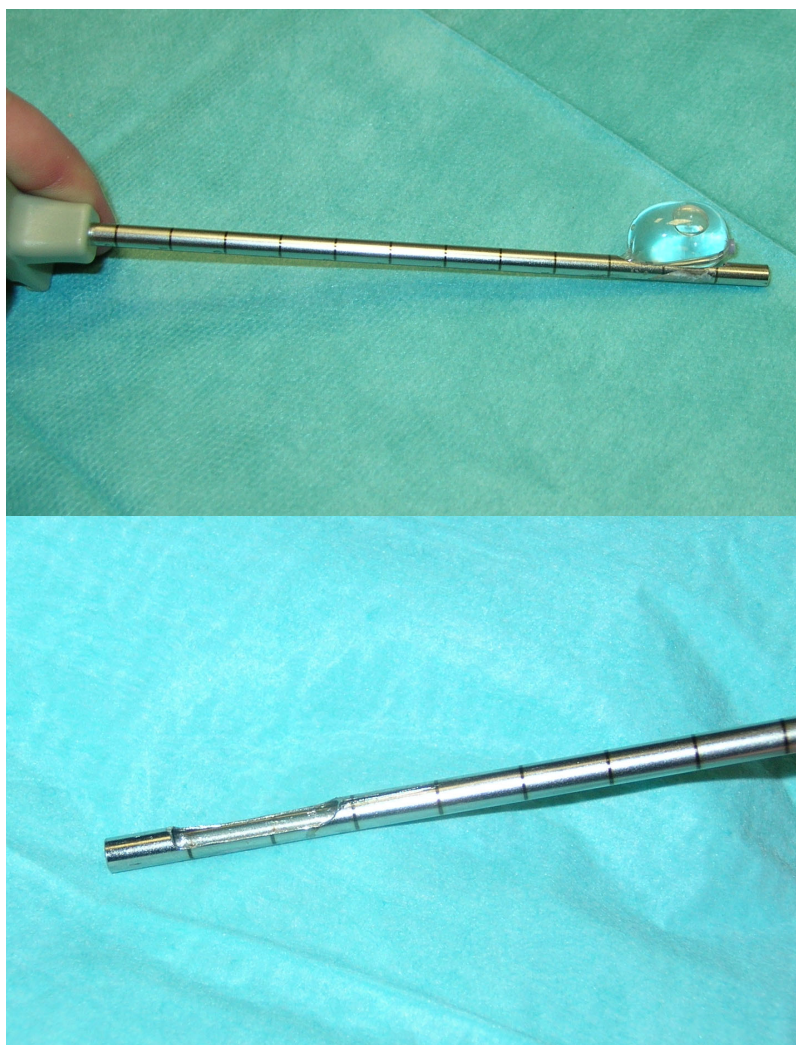
Von der Firma Medtronic gibt es für Spezialanwendungen in der Wirbelsäulenchirurgie bereits einen weiteren Ballon KyphX Exact® (Kyphon/Medtronic, Sunnyvale, CA, USA), der sich gerichtet nur in eine Richtung ausdehnt. Dieser Ansatz ist im Prinzip gut, allerdings zeigt sich, dass dieser Ballon für die großen Tibiakopf-Frakturen viel zu klein ist und durch das geringe Volumen des Ballons Tibiakopf-Frakturen nicht effektiv aufgerichtet werden können.

Inzwischen (2013) wurden auch von einigen andern Autoren Studien und erste Fallserien zur Tibiakopf-Osteoplastie publiziert [22, 52, 73]. Alle diese Operateure hatten das gleiche Problem, nämlich die gerichtete Expansion des Ballons, um so die imprimierte Gelenkfläche nach cranial anzuheben. Die Autoren der anderen Studien fanden eigene Lösungen für dieses Problem: Pizanis et al. [52] publizierten als technischen Trick K-Drähte unter dem Ballon einzubringen, und in ihrer Bildserie sind 4 K-Drähte unter dem Ballon platziert, um ein Ausdehnen des Ballons nach oben zu bewirken. Die anderen Studien, Hahnhaussen et al. [22] und Werner et al. [73], verwenden einen zweiten Osteoplastie-Ballon und platzieren diesen unter den ersten Osteoplastie-Ballon, um diesen nach unten abzustützen und ein Wandern des Ballons nach unten zu verhindern. Die OP-Technik mit zwei Ballons erzeugt eine große Höhle im Tibiakopf und zerstört unnötigerweise gesunde Spongiosa im Tibiakopf.

Bereits in unserer ersten Veröffentlichung [2], haben wir ein neues Werkzeug beschrieben, mit dem sich das Problem elegant und minimal-invasiv lösen lässt. Im nächsten Abschnitt wird dieses im Rahmen der Versuche neu entwickelte Instrument beschrieben.

## 8.2 Das neu entwickelte Instrumentarium

Um der bereits erwähnten Problematik entgegen zuwirken, dass der Osteoplastie-Ballon sich in alle Richtungen ausdehnt und ein gerichtetes Anheben der imprimierten Gelenkfläche nach cranial mit einem handelsüblichen Osteoplastie-Ballon nicht möglich ist, wurde ein neues Instrument entwickelt, das ein gerichtetes Ausdehnen des Ballons ermöglicht. Das neue Instrument ist in Abbildung 20 dargestellt.



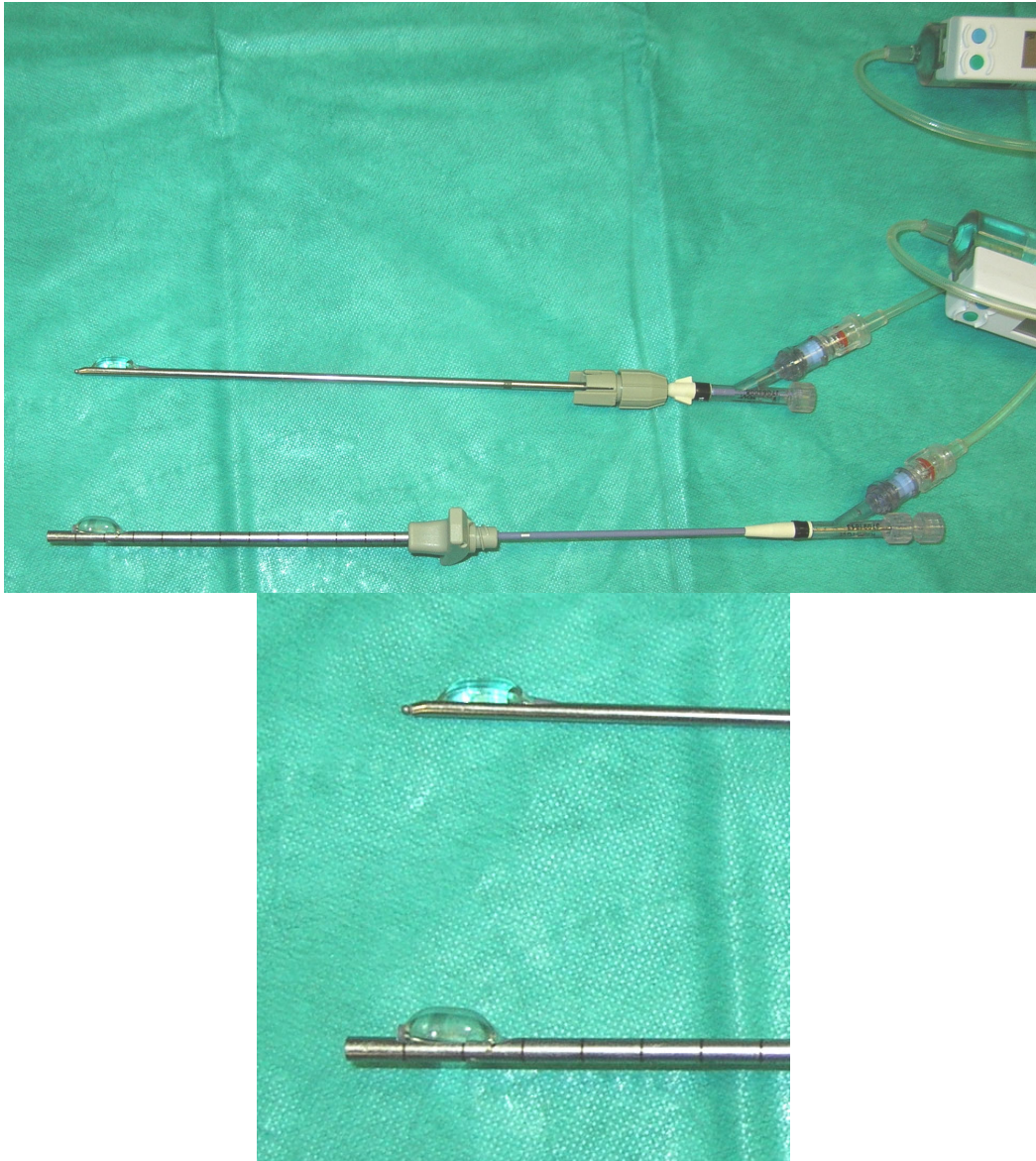
*Abbildung 20: Neues Instrument für die Tibiakopf-Osteoplastie, das eine gerichtete Expansion des Ballons ermöglicht. Quelle: eigenes Bildmaterial*

Bei den Vorversuchen zeigte es sich, dass mit einer handelsüblichen Kanüle die Expansion des Ballons nicht in der gewünschten Weise verläuft. Deshalb wurden im Rahmen dieser Dissertation mehrere Veränderungen an der Einführkanüle (Osteo Introducer, Kyphon/Medtronic, Sunnyvale, CA, USA) vorgenommen und im Kadavermodell erprobt. Die besten Ergebnisse lieferte eine Kanüle, in die mit einer Fräsmaschine ein seitliches 25 mm langes Fenster in einem Abstand von 5 mm zum distalen Ende der Kanüle gefräst wurde. Die Größe der Öffnung beträgt die Hälfte des Umfanges der Kanüle.

Der Osteoplastie-Ballon wird nun so in der Kanüle platziert, dass er sich durch das Fenster ausdehnt. Mit zunehmender Füllung „luxiert“ der Ballon aus dem Fenster der Kanüle und



ermöglicht ein gezieltes Anheben der Fraktur. Durch ein Drehen am Handgriff der Kanüle ist eine Korrektur der Richtung der Ausdehnung möglich, was zu exzellenten Repositionsergebnissen führt. Auch die größten Osteoplastie-Ballons können so unidirektional „gerichtet“ aufgedehnt werden. Durch die bikortikale Verankerung des neuen Instruments auf beiden Seiten des Tibiakopfes ist eine exzellente Abstützung des Osteoplastie-Ballons möglich.



**Abbildung 21:** Vergleich Ballon KyphX Exact® (Kyphon/Medtronic, Sunnyvale, CA, USA) (oberes Bild) mit dem neuen Instrument (unteres Bild).

Bei gleichem Druck hat das neue Instrument bereits ein viel größeres Volumen.

Quelle: eigenes Bildmaterial.

Ein Vergleich des neuen Instruments mit dem kommerziell erhältlichen KyphX Exact® (Kyphon/Medtronic, Sunnyvale, CA, USA) ist in Abbildung 21 dargestellt. Da das neue Instrument selbst hergestellt wurde, besitzt es noch keine Zulassung und wurde deshalb bislang nur in Kadaverstudien eingesetzt. Das neu entwickelte Instrument wurde auch Mitarbeitern der Firma Medtronic präsentiert, so dass mit der Zulassung einer kommerziellen Version des neuen Instruments in absehbarer Zeit zu rechnen ist.



Eine erfolgreiche Anwendung zur Operation einer Schatzker Typ III (= AO Typ B2.2) Fraktur im Kadavermodell ist in Abbildung 22 dargestellt.



**Abbildung 22:** Reposition einer Tibiakopf-Fraktur mit dem neu entwickelten Instrument unter Bildwandlerkontrolle. Bild 1 bis 3: a.p. Ansicht, Bild 4: seitliche Ansicht. Quelle: eigenes Bildmaterial

Das neue Instrument wurde auch erfolgreich zur Reposition von Hill-Sachs-Dellen am Humeruskopf eingesetzt, siehe Kapitel 10. Hier wurde auch mit einer gebogenen Variante des Instrumentes experimentiert, die sich jedoch nicht bewährt hat.

Die anfängliche Befürchtung, das neue Instrument könnte auf Grund der scharfen Kanten die Ballons platzen lassen, hat sich nicht bestätigt. In den Versuchen platzten die Ballons beim Einsatz des neuen Instruments genau so selten wie ohne das neue Instrument.

### 8.3 Eggshell-Technik

Der Austritt von Knochenzement ist bei der Kyphoplastie von Wirbelkörper-Frakturen eine gefürchtete Komplikation, die zur Knochenzement-Lungenembolie und anderen schweren Operations-Zwischenfällen führen kann. Um dies zu vermeiden, wurde durch Greene et al. [20] die sogenannte Eggshell-Technik entwickelt.

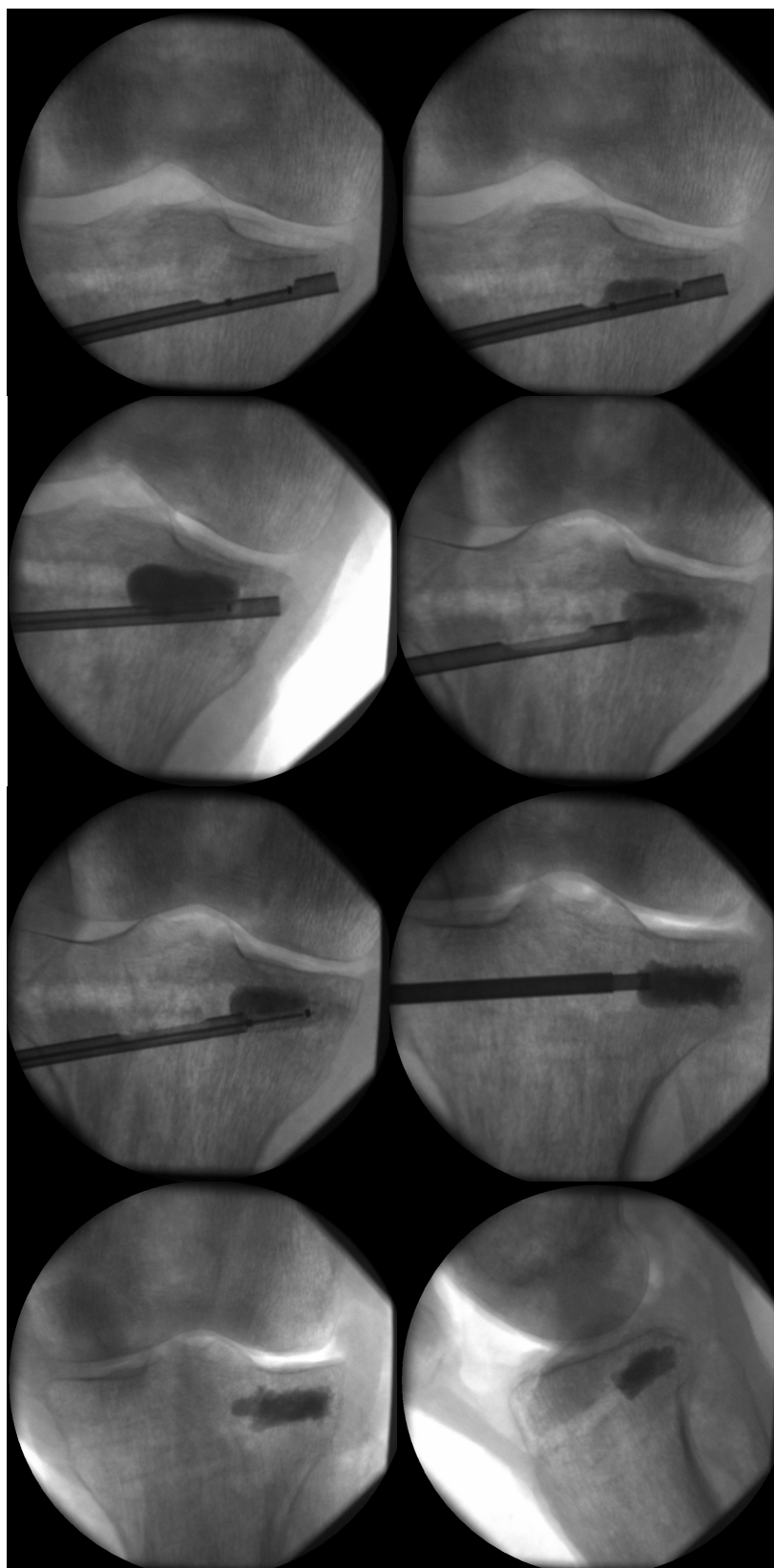
Bei der Eggshell-Technik wird zunächst eine dünne Schale aus Knochenzement gebildet, die nach Aushärtung das Austreten von Knochenzement verhindert.

Entsprechend wurde in dieser Studie die Eggshell-Technik für den Tibiakopf modifiziert. Nach der Reposition der Fraktur mit dem Osteoplastie-Ballon wurde 1 ml PMMA Knochenzement (KyphX® HV-R™, Kyphon/Medtronic, Sunnyvale, CA, USA) in die Osteoplastie-Höhle injiziert. Nun wurde der Osteoplastie-Ballon (KyphX Xpander®, Kyphon/Medtronic, Sunnyvale, CA, USA) wieder eingeführt und aufgedehnt, um den Knochenzement leicht in den umgebenden spongiösen Knochen zu drücken.

Nach Aushärtung dieser Schale kann in einem nächsten Schritt die restliche Osteoplastie-Höhle mit Knochenzement aufgefüllt werden. Durch Anwendung dieser Technik kann der Austritt von Knochenzement durch den Frakturbereich in den Gelenkspalt verhindert werden. Die Anwendung dieser Technik ist in Abbildung 23 dargestellt.

Die einzelnen, in Abbildung 23 dargestellten, Schritte der Eggshell OP-Technik sind:

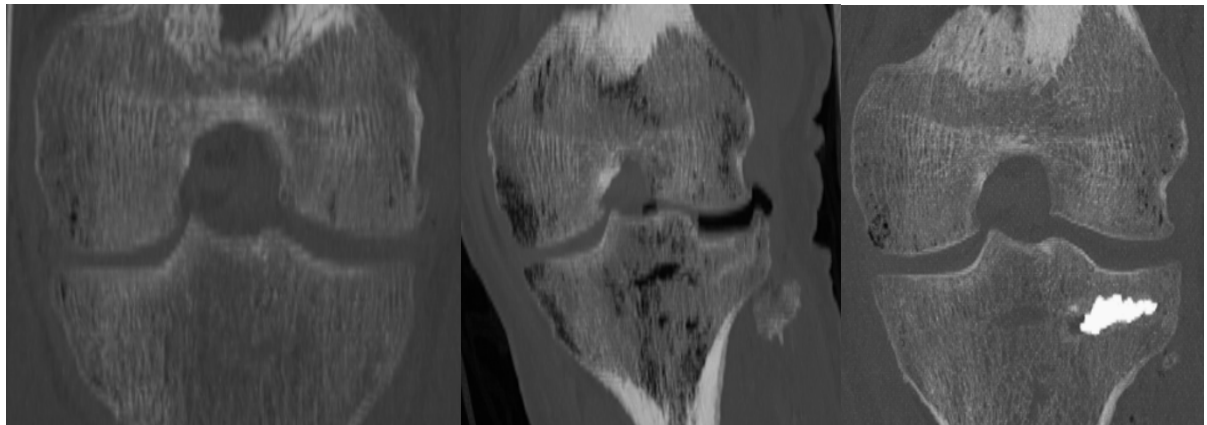
- Bild 1: Platzieren des neuen Instruments ca. 3 mm unter dem tiefsten Punkt der Fraktur
- Bild 2 und 3: Schrittweises Aufdehnen des Osteoplastie-Ballons unter Bildwandler-Kontrolle
- Bild 4: Injizieren von 1 ml Knochenzement
- Bild 5: Durch erneutes Einführen und Aufdehnen des Osteoplastie-Ballons wird die „Eggshell“ geschaffen
- Bild 6: Nach dem Aushärten der „Eggshell“ wird diese mit Knochenzement gefüllt.
- Bild 7: Operations-Ergebnis in der a.p. Ansicht
- Bild 8: Operations-Ergebnis in der seitlichen Ansicht



*Abbildung 23: Reposition einer Tibiakopf-Fraktur mit dem neu entwickelten Instrument in Eggshell-Technik. Quelle: eigenes Bildmaterial*

## 8.4 CT-Bilder der Ergebnisse

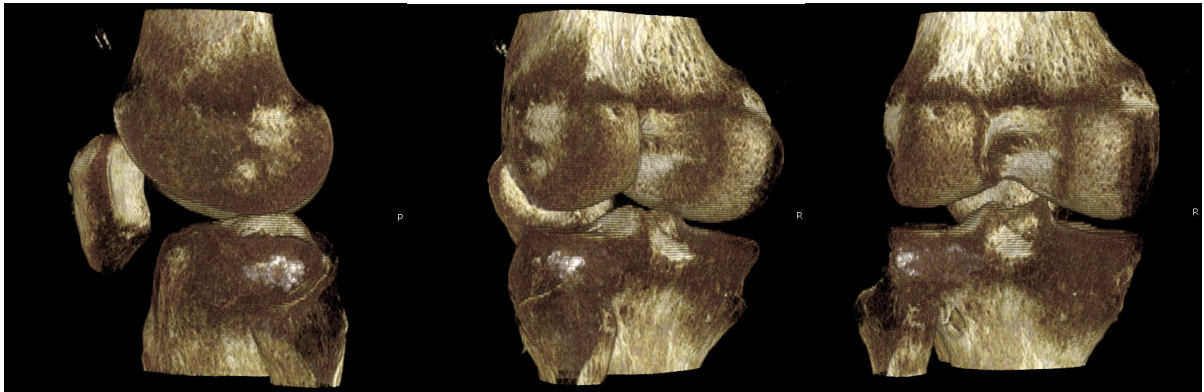
In Zusammenarbeit mit dem Institut für diagnostische und interventionelle Radiologie der Technischen Universität München wurden alle Kadaver-Tibiaköpfe vor und nach der Operation mit einem hochauflösenden CT-Protokoll gescannt. Im Folgenden sind einige der Ergebnisse dargestellt.



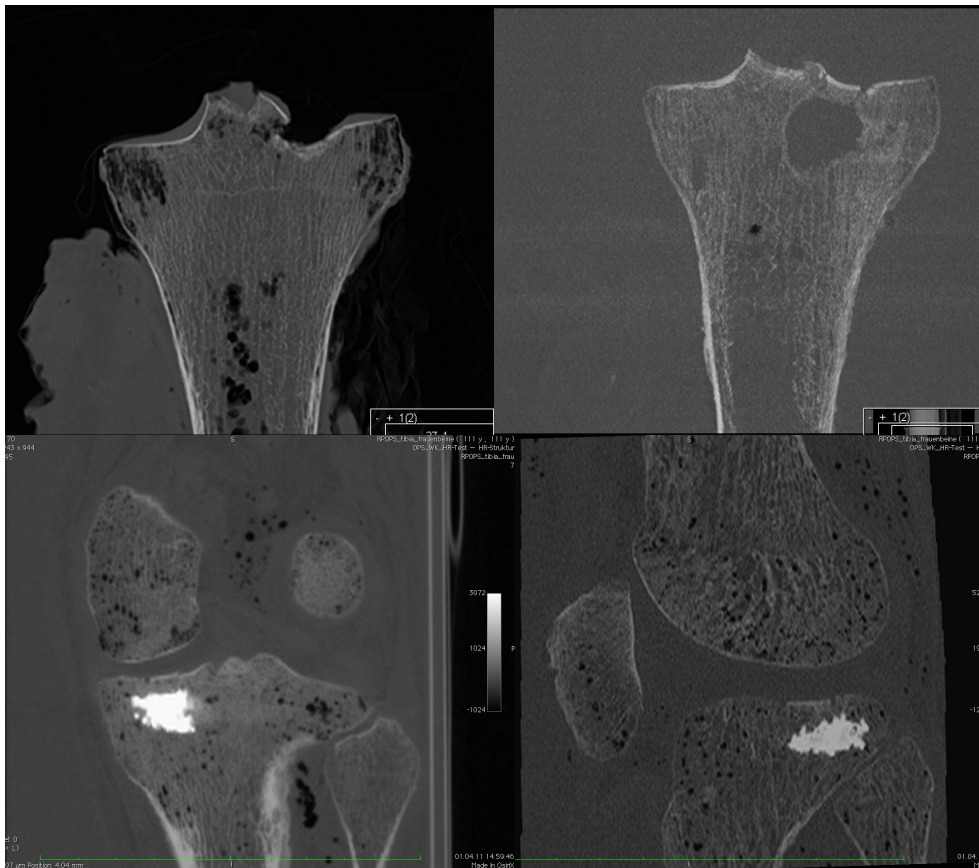
**Abbildung 24:** CT-Bilderserie zur Tibiakopf Ballon-Osteoplastie im Kadaver-Modell.  
Bild 1: Natives Kontroll-CT, Bild 2: Standardisierte Impressionsfraktur des lateralen Tibiaplateaus,  
Bild 3: Nach erfolgter Ballon-Osteoplastie und Auffüllen der Kavität mittels Knochenzement.  
Quelle: eigenes Bildmaterial



**Abbildung 25:** 3D-Rekonstruktions-Serie einer lateralen Tibiakopf-Fraktur.  
Bild 1: Kniegelenk nach der Fraktur, Bild 2: Schnittbild der Fraktur, Bild 3: Schnittbild nach erfolgter  
Ballon-Osteoplastie und Auffüllen der Kavität mittels Knochenzement. Quelle: eigenes Bildmaterial



**Abbildung 26:** 3D-Rekonstruktionen eines Kniegelenkes nach Reposition der in Abbildung 24 dargestellten Tibiakopf-Fraktur. Quelle: eigenes Bildmaterial



**Abbildung 27:** CT-Bilderserie zur Tibiakopf Ballon-Osteoplastie im Kadaver-Modell  
 Bild 1: Standardisierte Impressionsfraktur des Tibiaplateaus, Bild 2: Repositionsergebnis nach Reposition mit Ballon, Bild 3 und 4: Nach Auffüllen der Osteoplastie-Höhle mit Knochenzement.  
 Quelle: eigenes Bildmaterial

## 9 Diskussion und Schlussfolgerung (Teil 2, Ballon-Osteoplastie)

Die Ballon-Osteoplastie für Tibiakopf-Frakturen ist eine neue minimal-invasive OP-Technik, die eine interessante Alternative zur offenen Reposition von Tibiakopf-Frakturen darstellt. Wenn keine weitere Abstützung der Fraktur durch Schrauben oder Platten notwendig ist, kommt diese Methode mit einer Stichinzision und einem Zugangsweg von 4 mm Durchmesser im Knochen aus.

Erleichtert wird dieses neue minimal-invasive Verfahren durch die neu entwickelte Kanüle. Diese vereint in sich zwei Vorteile: Zum einen kann durch die Kanülierung ein normaler Kyphoplastie Ballon austreten, der im Vergleich zu den auf den Markt befindlichen gerichteten Ballons ein größeres Volumen aufweist, zum anderen ermöglicht der vorhandene Handgriff, vergleichbar mit einem Lenkrad, das gerichtete Insufflieren des Ballons. So konnte in einer Kadaverstudie gezeigt werden, dass durch die Benutzung dieses neuen Instrumentes weitere Hilfsmittel wie etwa K-Drähte oder ein zweiter Kyphoplastie Ballon überflüssig wurden. Darüber hinaus wurde die Tibiakopf-Osteoplastie in unserer Klinik auch im klinischen Alltag bereits erprobt und führte zu exzellenten Repositionsergebnissen [2].

Bei der Erprobung des neuen OP-Verfahrens im Kadavermodell hat sich gezeigt, dass die Anwender eine steile Lernkurve hatten. Insbesondere die richtige Platzierung der Osteoplastie-Ballons war anfangs schwierig und gelang mit zunehmendem Training immer besser. An dieser Stelle sei jedem Chirurgen, der dieses OP-Verfahren neu in sein Programm aufnehmen möchte, geraten, zunächst die richtige Platzierung der Osteoplastie-Ballons im Kadavermodell zu üben. Möglicherweise ist vor dem Platzieren der Kanüle auch das Setzen von K-Drähten ratsam, die im Knochen einen kleineren Defekt hinterlassen. In unseren Studien hat sich dabei gezeigt, dass eine Distanz von 3 mm zur Fraktur die besten Ergebnisse lieferte. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Broome et al. [8, 9], die ebenfalls einen Abstand von 2-3 mm empfehlen. Der Ballon darf natürlich auch nicht zu nah an der Fraktur platziert werden, da sonst die Gelenkfläche falsch reponiert wird. Werner et al. [73] beschrieben in ihrer Arbeit einen Abstand von ca. 1 cm zur Fraktur, was in unseren Versuchen zu keiner effektiven Reposition führte. Letztlich sind dies aber nur ungefähre Richtwerte, da Ausläufer der Fraktur manchmal im Bildwandler nicht exakt zu beurteilen sind und die Angabe der Millimeter auch stark von der Messmethode abhängt.

Für die Zukunft sind spezielle größere und stabilere Ballons, die höheren Druck aushalten, für den Tibiakopf erforderlich, die teilweise bereits in der Entwicklung sind. Da die größeren, stabileren Ballons mehr „Hubkraft“ haben, wird dann auch der oben diskutierte Abstand zur Trümmerzone nicht mehr so kritisch zu sehen sein. Auch das Problem der gelegentlich platzenden Ballons dürfte damit gelöst werden.

Wir erhoffen uns von der Industrie zudem die Weiterentwicklung unserer gefensterten Kanüle, um so die Anwendung generell zu vereinfachen.

Als Füllmaterial für den entstandenen Knochendefekt wurden bisher PMMA Knochenzement und injizierbares Kalziumphosphat verwendet. Insbesondere für junge Patienten ist die Weiterentwicklung von injizierbarem, resorbierbarem Kalziumphosphat-Knochenersatzmaterial wünschenswert. Denkbar wäre darüber hinaus auch die durch die Osteoplastie entstandene Höhle mit spongiosen Knochen zu füllen.

Die Grenzen der neuen OP-Technik sind die Trümmerfrakturen des Tibiakopfes, Schatzker V und VI und AO Typ C. Hier wird die Ballon-Osteoplastie die offene Reposition nicht ersetzen



können, da die Trümmerfrakturen zu kompliziert sind und der Ballon die einzelnen Trümmer erst recht auseinander drücken würde. Darüber hinaus ist bei derartigen Frakturen eine direkte Einsicht der Gelenkfläche zur Referenzierung der einzelnen Fragmente der Bildwandleruntersuchung überlegen.

In Zeiten der Ökonomisierung im Gesundheitswesen muss auch die Kostenfrage diskutiert werden. Da die Osteoplastie-Ballons teuer sind, liegen die Operationskosten über denen herkömmlicher Operationen. Ob dieser Kosten-Nachteil durch kürzere Krankenhaus-Liegezeiten und kurze Rehabilitationszeiten kompensiert werden kann, muss in Zukunft durch genaue Kosten-Analysen geklärt werden.

Als die vorliegende Studie in den Jahren 2010/ 2011 von unserer Arbeitsgruppe durchgeführt und publiziert wurde, war das OP-Verfahren der Ballon-Osteoplastie für die Tibiakopf-Fraktur neu und noch im experimentellen Stadium und es gab nur einzelne Fallberichte dazu [9, 24, 54], die ohne Resonanz blieben. Mittlerweile, im Jahr 2013, ist das OP-Verfahren der Ballon-Osteoplastie für die Tibiakopf-Fraktur etabliert und wird weit verbreitet angewandt [22, 52, 73], was das große Interesse an diesem neuen OP-Verfahrens zeigt.

Es gibt sogar eine Homepage (<http://balloonosteoplasty.com/>, Stand: 8. Februar 2013), die sich mit der Ballon-Osteoplastie beschäftigt und auf der alle Artikel zum Thema Ballon-Osteoplastie gesammelt werden.

Auch bei Youtube gibt es inzwischen ein Instruktionsvideo der Firma Medtronic zur Ballon-Osteoplastie der Tibiakopf-Fraktur (<http://www.youtube.com/watch?v=xv-uZxYl-7s>, Stand 8. Februar 2013) und zwei Operationsvideos von amerikanischen Chirurgen, die dieses Operationsverfahren für Tibiakopf-Frakturen bereits im klinischen Alltag anwenden (<http://www.youtube.com/watch?v=pzIOO9dazRY>, Stand 8. Februar 2013), Mauffrey (<http://www.youtube.com/watch?v=H-C18yqGVZE>, Stand 8. Februar 2013) hat dazu ein besonders ausführliches Video veröffentlicht, in dem diese Technik arthroskopisch assistiert demonstriert wird.

Auch für andere Frakturtypen wird die Ballon-Osteoplastie immer häufiger angewendet, wie beispielsweise ein Artikel aus 2012 für die Calcaneus-Fraktur zeigt [43]. Zum Thema Ballon-Osteoplastie von Tibiakopf-Frakturen und distalen Radiusfrakturen sind kürzlich auch neue in-vitro Studien veröffentlicht worden, was das große Interesse an der Thematik unterstreicht [8].

Neue Entwicklungen wie stärkere, größere Ballons und neue Instrumente, wie die von uns entwickelte modifizierte Kanüle, werden in Zukunft das Indikationsgebiet der Ballon-Osteoplastie noch weiter ausweiten. Die weitere Entwicklung der Ballon-Osteoplastie bleibt spannend.

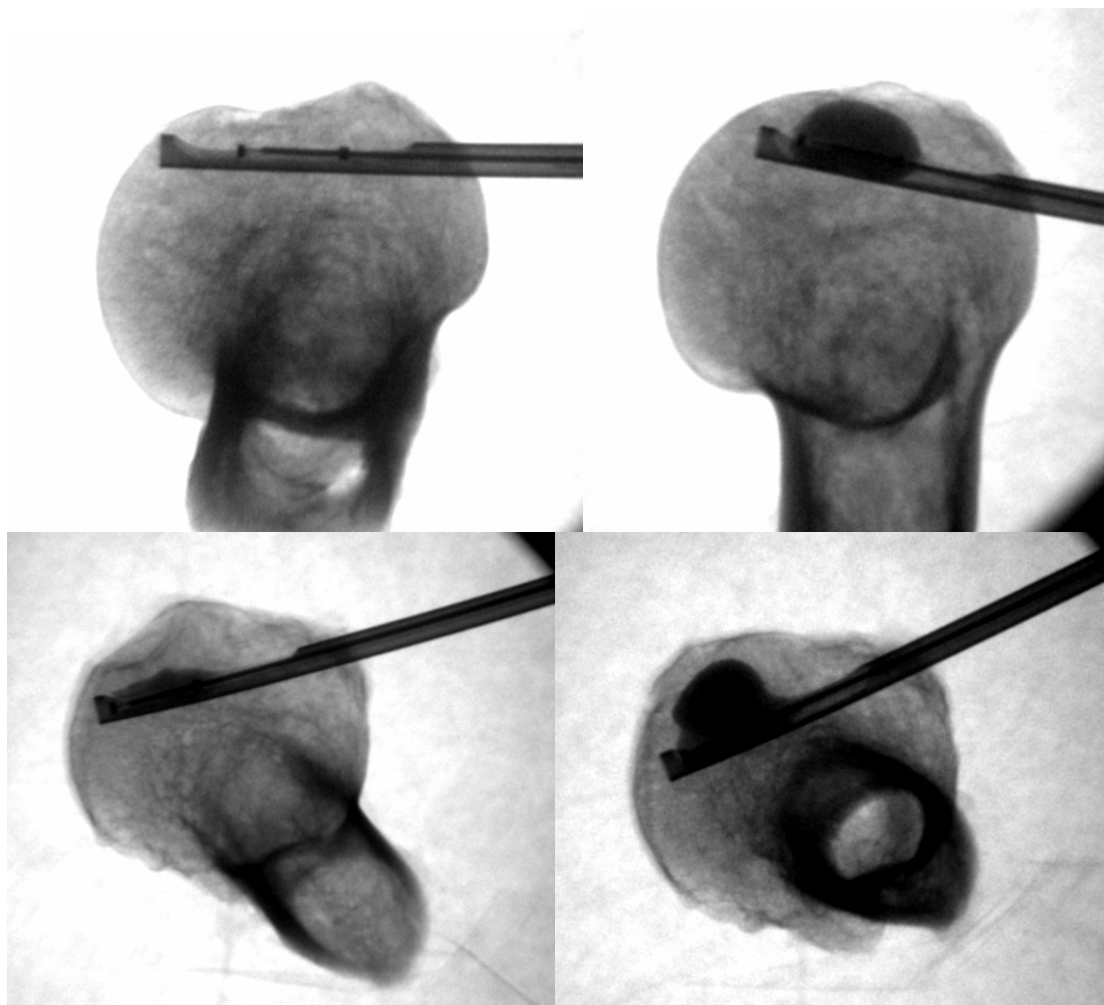
Sicherlich wird diese neue OP-Technik nicht bei allen Frakturtypen anwendbar sein, aufgrund der Minimal-Invasivität stellt sie aber eine interessante Erweiterung der OP-Techniken für speziell ausgewählte Frakturen dar.

## 10 Ausblick: Anwendung der Ballon-Osteoplastie auf andere Frakturen, Hill-Sachs-Delle Humeruskopf (Teil 2)

Basierend auf den Arbeiten zum Tibiakopf wurde eine weitere Anwendung des Osteoplastieverfahrens an der Schulter entwickelt, die entsprechende Veröffentlichung ist zu finden unter:

*Balloon osteoplasty - a new technique for minimally invasive reduction and stabilisation of Hill-Sachs lesions of the humeral head: a cadaver study; Sandmann GH, Ahrens P, Schaeffeler C, Bauer JS, Kirchhoff C, Martetschläger F, Müller D, Siebenlist S, Biberthaler P, Stöckle U, Freude T. Int Orthop. 2012 Nov;36(11):2287-91. DOI: 10.1007/s00264-012-1644-0 [59]*

Die Hill-Sachs-Delle ist eine häufige Begleitverletzung bei der Schulterluxation [15, 55]. Es handelt sich dabei um eine Impressionsfraktur des Humeruskopfes durch den Glenoidrand. Ab einer gewissen Größe und entsprechender Lage der Läsion kann die Hill-Sachs-Delle am Glenoidrand einhaken („engaging Hill-Sachs-Defekt“) und so zu rezidivierenden Schulterluxationen führen [11].



**Abbildung 28:** Bildwander-Aufnahmen der Ballon-Osteoplastie einer Hill-Sachs-Delle am Humeruskopf mit dem neu entwickelten Instrument, Obere Bildreihe: a.p. Ansicht, Untere Bildreihe: axiale Ansicht, Quelle: eigenes Bildmaterial



Im Rahmen dieser Studie wurde im Kadavermodell auch untersucht, ob und wie die Hill-Sachs-Delle durch Ballon-Osteoplastie reduziert werden kann. Eine Bilderserie dazu ist in Abbildung 28 dargestellt.

Wie auch bei der Tibiakopf-Fraktur, konnten die Hill-Sachs-Dellen der Humerusköpfe in der Kadaverstudie gut reponiert werden. Bei 6 Humerusköpfen konnte das Volumen der Hill-Sachs-Delle von  $1420 \pm 482 \text{ mm}^3$  auf ein Volumen von  $282 \pm 191 \text{ mm}^3$  reduziert werden, was einer Reduktion von 80% entspricht. Getestet mit einem t-Test für verbundene Stichproben, entspricht das einer signifikanten Abnahme des Volumens der Läsion. Für weitere Details wird an dieser Stelle auf die entsprechende Publikation verwiesen [59].

Ob sich die guten Ergebnisse aus dem Kadavermodell auch auf echte Operationen in vivo übertragen lassen, wird die Zukunft zeigen. Im Gegensatz zur Ballon-Osteoplastie des Tibiakopfes, die inzwischen auch in der Praxis erfolgreich eingesetzt wird [2, 22, 52, 73], wird diese OP-Technik für den Humeruskopf noch nicht angewendet. Unsere Publikation der neuen OP-Technik hat auf jeden Fall reges Interesse in der Fachwelt erzeugt und es gab nach der Publikation zahlreiche Zuschriften, die eine Umsetzbarkeit dieser OP-Technik weiter diskutierten [13, 60]. Experimentell war die Reposition problemlos möglich, eine arthroskopisch assistierte Anwendung ist vielversprechend und ist in Planung.

Daneben ist eine Erweiterung des Spektrums auch für andere Frakturen denkbar. So könnte unter anderem mit kleinen Ballons auch eine Impressionsfraktur im Bereich der Fußwurzelknochen in minimal-invasiver Technik versorgt werden.

## LITERATURVERZEICHNIS

1. Abu-Laban, R.B., *Snowboarding injuries: an analysis and comparison with alpine skiing injuries*. CMAJ, 145 (1991) 1097-1103
2. Ahrens, P., Sandmann, G., Bauer, J., König, B., Martetschlager, F., Müller, D., Siebenlist, S., Kirchhoff, C., Neumaier, M., Biberthaler, P., Stockle, U., and Freude, T., *Balloon osteoplasty--a new technique for reduction and stabilisation of impression fractures in the tibial plateau: a cadaver study and first clinical application*. Int Orthop, 36 (2012) 1937-1940
3. Anglen, J.O. and Healy, W.L., *Tibial plateau fractures*. Orthopedics, 11 (1988) 1527-1534
4. Apley, A.G., *Fractures of the tibial plateau*. Orthop Clin North Am, 10 (1979) 61-74
5. Berkson, E.M. and Virkus, W.W., *High-energy tibial plateau fractures*. J Am Acad Orthop Surg, 14 (2006) 20-31
6. Blokker, C.P., Rorabeck, C.H., and Bourne, R.B., *Tibial plateau fractures. An analysis of the results of treatment in 60 patients*. Clin Orthop Relat Res, (1984) 193-199
7. Boonen, S., Wahl, D.A., Nauroy, L., Brandi, M.L., Bouxsein, M.L., Goldhahn, J., Lewiecki, E.M., Lyritis, G.P., Marsh, D., Obrant, K., Silverman, S., Siris, E., Akesson, K., and Foundation, C.S.A.F.W.G.o.I.O., *Balloon kyphoplasty and vertebroplasty in the management of vertebral compression fractures*. Osteoporos Int, 22 (2011) 2915-2934
8. Broome, B., Mauffrey, C., Statton, J., Voor, M., and Seligson, D., *Inflation osteoplasty: in vitro evaluation of a new technique for reducing depressed intra-articular fractures of the tibial plateau and distal radius*. J Orthop Traumatol, 13 (2012) 89-95
9. Broome, B. and Seligson, D., *Inflation osteoplasty for the reduction of depressed tibial plateau fractures: description of a new technique*. Eur J Orthop Surg Traumatol, 20 (2010) 663-666
10. Buchko, G.M. and Johnson, D.H., *Arthroscopy assisted operative management of tibial plateau fractures*. Clin Orthop Relat Res, (1996) 29-36
11. Burkhart, S.S. and De Beer, J.F., *Traumatic glenohumeral bone defects and their relationship to failure of arthroscopic Bankart repairs: significance of the inverted-pear glenoid and the humeral engaging Hill-Sachs lesion*. Arthroscopy, 16 (2000) 677-694
12. Cassard, X., Beaufile, P., Blin, J.L., and Hardy, P., *[Osteosynthesis under arthroscopic control of separated tibial plateau fractures. 26 case reports]*. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot, 85 (1999) 257-266
13. Cebesoy, O. and Akan, B., *Is balloon osteoplasty attractive or questionable treatment for Hill-Sachs lesion?* Int Orthop, 36 (2012) 2597; author reply 2599-2600
14. Charalambous, C.P., Tryfonidis, M., Alvi, F., Moran, M., Fang, C., Samarji, R., and Hirst, P., *Inter- and intra-observer variation of the Schatzker and AO/OTA classifications of tibial plateau fractures and a proposal of a new classification system*. Ann R Coll Surg Engl, 89 (2007) 400-404
15. Chen, A.L., Hunt, S.A., Hawkins, R.J., and Zuckerman, J.D., *Management of bone loss associated with recurrent anterior glenohumeral instability*. Am J Sports Med, 33 (2005) 912-925
16. Court-Brown, C.M. and McBirn, J., *The epidemiology of tibial fractures*. J Bone Joint Surg Br, 77 (1995) 417-421

17. Della Villa, S., Kon, E., Filardo, G., Ricci, M., Vincentelli, F., Delcogliano, M., and Marcacci, M., *Does intensive rehabilitation permit early return to sport without compromising the clinical outcome after arthroscopic autologous chondrocyte implantation in highly competitive athletes?* Am J Sports Med, 38 (2010) 68-77
18. Gill, T.J., Moezzi, D.M., Oates, K.M., and Sterett, W.I., *Arthroscopic reduction and internal fixation of tibial plateau fractures in skiing.* Clin Orthop Relat Res, (2001) 243-249
19. Goga, I.E. and Gongal, P., *Severe soccer injuries in amateurs.* Br J Sports Med, 37 (2003) 498-501
20. Greene, D.L., Isaac, R., Neuwirth, M., and Bitan, F.D., *The eggshell technique for prevention of cement leakage during kyphoplasty.* J Spinal Disord Tech, 20 (2007) 229-232
21. Gupta, A.K., Gluck, G.S., and Parekh, S.G., *Balloon reduction of displaced calcaneus fractures: surgical technique and case series.* Foot Ankle Int, 32 (2011) 205-210
22. Hahnhausen, J., Hak, D.J., Weckbach, S., Heiney, J.P., and Stahel, P.F., *Percutaneous inflation osteoplasty for indirect reduction of depressed tibial plateau fractures.* Orthopedics, 35 (2012) 768-772
23. Heim, K.A., Sullivan, C., and Parekh, S.G., *Cuboid reduction and fixation using a kyphoplasty balloon: a case report.* Foot Ankle Int, 29 (2008) 1154-1157
24. Heiney, J.P. and O'Connor, J.A., *Balloon Reduction And Minimally Invasive Fixation (BRAMIF) for Extremity Fractures with the Application of Fast-Setting Calcium Phosphate.* J Orthop, 7 (2010) e8
25. Hohl, M., *Tibial condylar fractures.* J Bone Joint Surg Am, 49 (1967) 1455-1467
26. Hohl, M. and Luck, J.V., *Fractures of the tibial condyle; a clinical and experimental study.* J Bone Joint Surg Am, 38-A (1956) 1001-1018
27. Holzach, P., Matter, P., and Minter, J., *Arthroscopically assisted treatment of lateral tibial plateau fractures in skiers: use of a cannulated reduction system.* J Orthop Trauma, 8 (1994) 273-281
28. Houben, P.F., van der Linden, E.S., van den Wildenberg, F.A., and Stapert, J.W., *Functional and radiological outcome after intra-articular tibial plateau fractures.* Injury, 28 (1997) 459-462
29. Hunter, R.E., *Skiing injuries.* Am J Sports Med, 27 (1999) 381-389
30. Iida, K., Sudo, A., and Ishiguro, S., *Clinical and radiological results of calcium phosphate cement-assisted balloon osteoplasty for Colles' fractures in osteoporotic senile female patients.* J Orthop Sci, 15 (2010) 204-209
31. Ishiguro, S., Oota, Y., Sudo, A., and Uchida, A., *Calcium phosphate cement-assisted balloon osteoplasty for a Colles' fracture on arteriovenous fistula forearm of a maintenance hemodialysis patient.* J Hand Surg Am, 32 (2007) 821-826
32. Jensen, D.B., Rude, C., Duus, B., and Bjerg-Nielsen, A., *Tibial plateau fractures. A comparison of conservative and surgical treatment.* J Bone Joint Surg Br, 72 (1990) 49-52
33. König, B., Khodadadyan, C., Schäffler, A., Pflugmacher, R., and U., S., *Perkutane navigierte Ballonreposition einer dislozierten Acetabulumfraktur.* Der Unfallchirurg, 110 (2007) 1072-1075
34. Kraus, T.M., Martetschlager, F., Muller, D., Braun, K.F., Ahrens, P., Siebenlist, S., Stockle, U., and Sandmann, G.H., *Return to Sports Activity After Tibial Plateau Fractures: 89 Cases With Minimum 24-Month Follow-up.* Am J Sports Med, 40 (2012) 2845-2852

35. Kruger, J., Ham, S.A., and Kohl, H.W., 3rd, *Characteristics of a "weekend warrior": results from two national surveys*. Med Sci Sports Exerc, 39 (2007) 796-800
36. Lobenhoffer, P., Gerich, T., Witte, F., and Tscherne, H., *Use of an injectable calcium phosphate bone cement in the treatment of tibial plateau fractures: a prospective study of twenty-six cases with twenty-month mean follow-up*. J Orthop Trauma, 16 (2002) 143-149
37. Lysholm, J. and Gillquist, J., *Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale*. Am J Sports Med, 10 (1982) 150-154
38. Manidakis, N., Dosani, A., Dimitriou, R., Stengel, D., Matthews, S., and Giannoudis, P., *Tibial plateau fractures: functional outcome and incidence of osteoarthritis in 125 cases*. Int Orthop, 34 (2010) 565-570
39. Maripuri, S.N., Rao, P., Manoj-Thomas, A., and Mohanty, K., *The classification systems for tibial plateau fractures: how reliable are they?* Injury, 39 (2008) 1216-1221
40. Markhardt, B.K., Gross, J.M., and Monu, J.U., *Schatzker classification of tibial plateau fractures: use of CT and MR imaging improves assessment*. Radiographics, 29 (2009) 585-597
41. Marsh, J.L., Borrelli, J., Jr., Dirschl, D.R., and Sirkin, M.S., *Fractures of the tibial plafond*. Instr Course Lect, 56 (2007) 331-352
42. Marx, R.G., Stump, T.J., Jones, E.C., Wickiewicz, T.L., and Warren, R.F., *Development and evaluation of an activity rating scale for disorders of the knee*. Am J Sports Med, 29 (2001) 213-218
43. Mauffrey, C., Bailey, J.R., Hak, D.J., and Hammerberg, M.E., *Percutaneous reduction and fixation of an intra-articular calcaneal fracture using an inflatable bone tamp: description of a novel and safe technique*. Patient Saf Surg, 6 (2012) 6
44. McConkey, J.P. and Meeuwisse, W., *Tibial plateau fractures in alpine skiing*. Am J Sports Med, 16 (1988) 159-164
45. Miki, T., Wada, J., Haraoka, J., and Inaba, I., *Endoscopic transmaxillary reduction and balloon technique for blowout fractures of the orbital floor*. Minim Invasive Neurosurg, 47 (2004) 359-364
46. Moore, T.M., *Fracture--dislocation of the knee*. Clin Orthop Relat Res, (1981) 128-140
47. Moore, T.M., Patzakis, M.J., and Harvey, J.P., *Tibial plateau fractures: definition, demographics, treatment rationale, and long-term results of closed traction management or operative reduction*. J Orthop Trauma, 1 (1987) 97-119
48. Müller, M.E., *The comprehensive classification of fractures of long bones*. 1990, Berlin ; New York: Springer-Verlag. xiii, 201 p.
49. Musahl, V., Tarkin, I., Kobbe, P., Tzioupis, C., Siska, P.A., and Pape, H.C., *New trends and techniques in open reduction and internal fixation of fractures of the tibial plateau*. J Bone Joint Surg Br, 91 (2009) 426-433
50. Naal, F.D., Fischer, M., Preuss, A., Goldhahn, J., von Knoch, F., Preiss, S., Munzinger, U., and Drobny, T., *Return to sports and recreational activity after unicompartmental knee arthroplasty*. Am J Sports Med, 35 (2007) 1688-1695
51. Nho, S.J., Pensak, M.J., Seigerman, D.A., and Cole, B.J., *Rehabilitation after autologous chondrocyte implantation in athletes*. Clin Sports Med, 29 (2010) 267-282, viii
52. Pizanis, A., Garcia, P., Pohlemann, T., and Burkhardt, M., *Balloon tibioplasty: a useful tool for reduction of tibial plateau depression fractures*. J Orthop Trauma, 26 (2012) e88-93

53. Rademakers, M.V., Kerkhoffs, G.M., Sierevelt, I.N., Raaymakers, E.L., and Marti, R.K., *Operative treatment of 109 tibial plateau fractures: five- to 27-year follow-up results*. J Orthop Trauma, 21 (2007) 5-10
54. Reiley, M., *Percutaneous balloon-plasty technique and results for tibial plateau, distal radius, femoral condylar, and calcaneal fractures*. J Orthop Trauma, 17 (2003) 161
55. Robinson, C.M., Shur, N., Sharpe, T., Ray, A., and Murray, I.R., *Injuries associated with traumatic anterior glenohumeral dislocations*. J Bone Joint Surg Am, 94 (2012) 18-26
56. Robinson, Y., Tschoke, S.K., Stahel, P.F., Kayser, R., and Heyde, C.E., *Complications and safety aspects of kyphoplasty for osteoporotic vertebral fractures: a prospective follow-up study in 102 consecutive patients*. Patient Saf Surg, 2 (2008) 2
57. Sahlin, Y., *Alpine skiing injuries*. Br J Sports Med, 23 (1989) 241-244
58. Salzmann, G.M., Ahrens, P., Naal, F.D., El-Azab, H., Spang, J.T., Imhoff, A.B., and Lorenz, S., *Sporting activity after high tibial osteotomy for the treatment of medial compartment knee osteoarthritis*. Am J Sports Med, 37 (2009) 312-318
59. Sandmann, G.H., Ahrens, P., Schaeffeler, C., Bauer, J.S., Kirchhoff, C., Martetschlager, F., Müller, D., Siebenlist, S., Biberthaler, P., Stockle, U., and Freude, T., *Balloon osteoplasty--a new technique for minimally invasive reduction and stabilisation of Hill-Sachs lesions of the humeral head: a cadaver study*. Int Orthop, 36 (2012) 2287-2291
60. Sandmann, G.H., Ahrens, P., Schaeffeler, C., Bauer, J.S., Kirchhoff, C., Martetschlager, F., Müller, D., Siebenlist, S., Biberthaler, P., Stöckle, U., and Freude, T., *Reply to letter to the editor: "Is balloon osteoplasty attractive or questionable treatment for Hill-Sachs lesions?"*. Int Orthop, 36 (2012) 2599-2600
61. Savoie, F.H., Vander Griend, R.A., Ward, E.F., and Hughes, J.L., *Tibial plateau fractures. A review of operative treatment using AO technique*. Orthopedics, 10 (1987) 745-750
62. Schatzker, J., *Compression in the surgical treatment of fractures of the tibia*. Clin Orthop Relat Res, (1974) 220-239
63. Schatzker, J., McBroom, R., and Bruce, D., *The tibial plateau fracture. The Toronto experience 1968--1975*. Clin Orthop Relat Res, (1979) 94-104
64. Shen, C., Ma, J., Chen, X.D., and Dai, L.Y., *The use of beta-TCP in the surgical treatment of tibial plateau fractures*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 17 (2009) 1406-1411
65. Siegler, J., Galissier, B., Marcheix, P.S., Charissoux, J.L., Mabit, C., and Arnaud, J.P., *Percutaneous fixation of tibial plateau fractures under arthroscopy: a medium term perspective*. Orthop Traumatol Surg Res, 97 (2011) 44-50
66. Simpson, D. and Keating, J.F., *Outcome of tibial plateau fractures managed with calcium phosphate cement*. Injury, 35 (2004) 913-918
67. Tegner, Y. and Lysholm, J., *Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries*. Clin Orthop Relat Res, (1985) 43-49
68. Tscherne, H. and Lobenhoffer, P., *Tibial plateau fractures. Management and expected results*. Clin Orthop Relat Res, (1993) 87-100
69. Waddell, J.P., Johnston, D.W., and Neidre, A., *Fractures of the tibial plateau: a review of ninety-five patients and comparison of treatment methods*. J Trauma, 21 (1981) 376-381
70. Walton, N.P., Harish, S., Roberts, C., and Blundell, C., *AO or Schatzker? How reliable is classification of tibial plateau fractures?* Arch Orthop Trauma Surg, 123 (2003) 396-398

- 
71. Wasden, C.C., McIntosh, S.E., Keith, D.S., and McCowan, C., *An analysis of skiing and snowboarding injuries on Utah slopes*. J Trauma, 67 (2009) 1022-1026
  72. Weigel, D.P. and Marsh, J.L., *High-energy fractures of the tibial plateau. Knee function after longer follow-up*. J Bone Joint Surg Am, 84-A (2002) 1541-1551
  73. Werner, C.M.L., Scheyerer, M.J., Schmitt, J., Wanner, G.A., and H.-P., S., *Minimal-invasive, ballonassistierte Aufrichtung und innere Fixation von Tibiaplateaufrakturen*. Der Unfallchirurg, 115 (2012) 1126-1132

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

|   |    |
|---|----|
| <b>Abbildung 1:</b> Einteilung der Tibiakopf-Fraktur Typ A nach der AO-Klassifikation. (Die Genehmigung zur Verwendung des Bildmaterials wurde bei der AO-Foundation, Davos, Schweiz eingeholt; das Copyright liegt bei der AO-Foundation. Nachdruck nur mit Genehmigung der AO.).....  | 11 |
| <b>Abbildung 2:</b> Einteilung der Tibiakopf-Fraktur Typ B nach der AO-Klassifikation (Die Genehmigung zur Verwendung des Bildmaterials wurde bei der AO-Foundation, Davos, Schweiz eingeholt; das Copyright liegt bei der AO-Foundation. Nachdruck nur mit Genehmigung der AO.).....   | 12 |
| <b>Abbildung 3:</b> Einteilung der Tibiakopf-Fraktur Typ C nach der AO-Klassifikation. (Die Genehmigung zur Verwendung des Bildmaterials wurde bei der AO-Foundation, Davos, Schweiz eingeholt; das Copyright liegt bei der AO-Foundation. Nachdruck nur mit Genehmigung der AO.).....  | 13 |
| <b>Abbildung 4:</b> Schatzker Klassifikation der Tibiakopf-Fraktur Quelle: <a href="http://www.orthopaedia.com/display/Clerkship/Tibial+Plateau+Fractures">http://www.orthopaedia.com/display/Clerkship/Tibial+Plateau+Fractures</a> (Stand: 29.10.2012), Das Copyright unterliegt der Creative Commons Lizenz. ....  | 14 |
| <b>Abbildung 5:</b> Visuelle Analogskala für Schmerz (Auswerteversion) Quelle: eigenes Bildmaterial.....  | 15 |
| <b>Abbildung 6:</b> Lysholm Score Kniefragebogen (Auswerteversion) Summe Lysholm Score maximal erreichbar 100 Punkte. Quelle: eigenes Bildmaterial .....  | 16 |
| <b>Abbildung 7:</b> Sportaktivitäts-Fragebogen (Auswerteversion), Quelle: eigenes Bildmaterial.....   | 18 |
| <b>Abbildung 8:</b> Activity Rating Scale (ARS) (Auswerteversion), Quelle: eigenes Bildmaterial.....  | 18 |
| <b>Abbildung 9:</b> Tegner Activity Scale (Auswerteversion), Quelle: eigenes Bildmaterial .....   | 19 |
| <b>Abbildung 10:</b> Patient Flow Diagram: Übersicht über die Patienten der Studie Quelle: eigenes Bildmaterial.....  | 21 |
| <b>Abbildung 11:</b> Unfallursache, absolute Anzahl (und in Prozent), Quelle: eigenes Bildmaterial .....  | 24 |
| <b>Abbildung 12:</b> Sportaktivitätsniveau der Patienten, höchstes Niveau im Leben, vor dem Unfall, 1 Jahr post-OP und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung. Quelle: eigenes Bildmaterial .....   | 25 |
| <b>Abbildung 13:</b> Outcome Scores, Balkenlänge siehe Statistikteil. Quelle: eigenes Bildmaterial .....  | 26 |
| <b>Abbildung 14:</b> Sportarten und Anzahl der Patienten die diese Sportarten betrieben, zum Zeitpunkt der Verletzung (links), 1 Jahr post-OP und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (rechts). Quelle: eigenes Bildmaterial .....   | 27 |
| <b>Abbildung 15:</b> Klinisches Outcome, Vor dem Unfall lag der Schmerz bei den meisten Patienten bei 0, daher reduziert sich der Boxplot auf einen Strich. Quelle: eigenes Bildmaterial .....  | 28 |
| <b>Abbildung 16:</b> Klinische Outcome Scores: Lysholm Score und Tegner Scores zum Zeitpunkt der Verletzung und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung, eingeteilt in Niedrig-Energie Traumata (Schatzker I bis III) und Hochrasanztraumata (Schatzker IV bis IV). Quelle: eigenes Bildmaterial.....  | 31 |
| <b>Abbildung 17:</b> Fallbeispiel eines günstigen Heilungsverlaufes: Der 42 Jahre alte männliche Patient hatte beim Skifahren eine Tibiakopf-Fraktur erlitten. Die Fraktur wurde mit einer winkelstabilen Platte versorgt und mit Chronos ® TCP Knochenersatzmaterial unterfüttert. Bei der Metallentfernung war die Fraktur knöchern vollständig konsolidiert und der Patient konnte Sport auf dem gleichen Niveau wie vor der Verletzung betreiben. Zu diesem Zeitpunkt fuhr er auch bereits wieder Ski. Quelle: eigenes Bildmaterial .....   | 33 |
| <b>Abbildung 18:</b> Fallbeispiel eines ungünstigen Heilungsverlaufes: Die 69-jährige Patientin erlitt eine Tibiakopf-Fraktur AO 41-B3, die mit einer winkelstabilen Platte und Beckenkamm-Knochen versorgt wurde. Nach guter initialer Reposition durch die Operation kam es im Verlauf zum Nachsintern des lateralen Tibiaplateaus. Im vierten Bild sieht man den Zustand nach der Materialentfernung. Im weiteren Verlauf wurde die Patientin mit einer totalen Knie-Endoprothese versorgt. Daher wurde die Patientin von der Studie ausgeschlossen. Quelle: eigenes Bildmaterial..... | 34 |

---

|  |    |
|--|----|
| <b>Abbildung 19:</b> Reposition einer Tibiakopf-Fraktur (Pfeil) mit einem KyphX Exact ® Ballon unter Bildwandler-Kontrolle. Quelle: eigenes Bildmaterial .....   | 41 |
| <b>Abbildung 20:</b> Neues Instrument für die Tibiakopf-Osteoplastie, das eine gerichtete Expansion des Ballons ermöglicht. Quelle: eigenes Bildmaterial .....   | 43 |
| <b>Abbildung 21:</b> Vergleich Ballon KyphX Exact ® (Kyphon/Medtronic, Sunnyvale, CA, USA) (oberes Bild) mit dem neuen Instrument (unteres Bild). Bei gleichem Druck hat das neue Instrument bereits ein viel größeres Volumen. Quelle: eigenes Bildmaterial.....  | 44 |
| <b>Abbildung 22:</b> Reposition einer Tibiakopf-Fraktur mit dem neu entwickelten Instrument unter Bildwandlerkontrolle. Bild 1 bis 3: a.p. Ansicht, Bild 4: seitliche Ansicht. Quelle: eigenes Bildmaterial.....   | 45 |
| <b>Abbildung 23:</b> Reposition einer Tibiakopf-Fraktur mit dem neu entwickelten Instrument in Eggshell-Technik. Quelle: eigenes Bildmaterial .....  | 47 |
| <b>Abbildung 24:</b> CT-Bilderserie zur Tibiakopf Ballon-Osteoplastie im Kadaver-Modell. Bild 1: Natives Kontroll-CT, Bild 2: Standardisierte Impressionsfraktur des lateralen Tibiaplateaus, Bild 3: Nach erfolgter Ballon-Osteoplastie und Auffüllen der Kavität mittels Knochenzement. Quelle: eigenes Bildmaterial ..... | 48 |
| <b>Abbildung 25:</b> 3D-Rekonstruktions-Serie einer lateralen Tibiakopf-Fraktur. Bild 1: Kniegelenk nach der Fraktur, Bild 2: Schnittbild der Fraktur, Bild 3: Schnittbild nach erfolgter Ballon-Osteoplastie und Auffüllen der Kavität mittels Knochenzement. Quelle: eigenes Bildmaterial.....                             | 48 |
| <b>Abbildung 26:</b> 3D-Rekonstruktionen eines Kniegelenkes nach Reposition der in Abbildung 24 dargestellten Tibiakopf-Fraktur. Quelle: eigenes Bildmaterial .....  | 49 |
| <b>Abbildung 27:</b> CT-Bilderserie zur Tibiakopf Ballon-Osteoplastie im Kadaver-Modell Bild 1: Standardisierte Impressionsfraktur des Tibiaplateaus, Bild 2:Repositionsergebnis nach Reposition mit Ballon, Bild 3 und 4: Nach Auffüllen der Osteoplastie-Höhle mit Knochenzement. Quelle: eigenes Bildmaterial.....        | 49 |
| <b>Abbildung 28:</b> Bildwandler-Aufnahmen der Ballon-Osteoplastie einer Hill-Sachs-Delle am Humeruskopf mit dem neu entwickelten Instrument, Obere Bildreihe: a.p. Ansicht, Untere Bildreihe: axiale Ansicht, Quelle: eigenes Bildmaterial.....   | 52 |



---

**TABELLENVERZEICHNIS**

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabelle 1:</b> Demographie der Patienten .....   | 23 |
| <b>Tabelle 2:</b> Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) Klassifikation spezifische Ergebnisse. Die Werte sind dargestellt als Mittelwert (95% Konfidenzintervall)..... | 29 |
| <b>Tabelle 3:</b> Schatzker Klassifikation spezifische Ergebnisse. Die Werte sind dargestellt als Mittelwert (95% Konfidenzintervall).....  | 30 |

---

**ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

|         |  |
|---------|--|
| ACL     | Anterior Cruciate Ligament (= vorderes Kreuzband)  |
| AO      | Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen        |
| a.p.    | anterior – posterior Ansicht                       |
| ARS     | Activity Rating Scale                              |
| CT      | Computer Tomographie                               |
| HTO     | Hohe Tibia Osteotomie                              |
| K-Draht | Kirschner Draht                                    |
| KTEP    | Knie Total Endoprothese                            |
| LISS    | Less Invasive Stabilization System                 |
| MDCT    | Multi Detector Computer Tomograph                  |
| ORIF    | Open reduction internal fixation                   |
| PCL     | Posterior Cruciate Ligament (= hinteres Kreuzband) |
| PMMA    | Polymethylmethacrylat                              |
| TCP     | beta Tri Calcium Phosphat Knochersatzmaterial      |
| VAS     | Visuelle Analogskala für Schmerzen                 |

## ABSTRACT

This thesis consists of two parts:

### **Part I investigates the return to sports activity after tibial plateau fractures**

Tibial plateau fractures are severe knee injuries often occurring as a consequence of sports accidents, e.g. skiing accidents.

Amateur and professional sportsmen patients will change their sporting activity after a tibial plateau fracture. Even after long time rehabilitation, their sport activities will change from risky high-impact sports to low-impact sports.

For the study, 89 patients with tibial plateau fractures, aged from 14 to 76 years, were selected. The survey was carried out with the help of a standardized questionnaire. Inclusion criteria were surgical treatment of tibial plateau fractures at our institution between 2003 and 2009 with a minimum follow-up of 24 months. The questionnaire asked for the sporting activities at the time of injury, 1 year after surgery, and at the time of the survey which was 52.8 months postoperative on the average. For the clinical evaluation the questionnaire utilized the Lysholm score, the Tegner activity scale, the activity rating scale (ARS), and a visual analogue scale (VAS) for pain perception. For fracture classification, two different classifications were used: Arbeitsgemeinschaft fuer Osteosynthesefragen (AO) and the Schatzker classifications.

At the time of injury, many patients (88.8%) were practising sports activities; the number of active sportsmen was reduced to 62.9% of all patients one year postoperative, but increased again to 73.0% at the time of the survey. Eleven patients were professional or competitive athletes at the time of injury but only 2 returned to competition sports at the time of the survey. Many patients had been practising different sports at time of the injury. The number of different sporting activities declined from 4.9 before the fracture to 3.6 at the time of the survey. The questionnaire surveyed the amount of sport activities by asking for the number of sport sessions per week and the hours spent per week practising sports. The number of sessions and the hours per week were 2.8 sessions and 4.5 hours at the time of injury on the average and declined to 2.4 sessions and 3.8 hours at the time of the survey. The Lysholm score was 98.7 points before the accident and decreased significantly to 76.6 points at the time of the survey. The VAS for pain perception was 0.2 before accident and significantly increased to 2.6 for the VAS at the time of the survey. The high-energy traumata, Schatzker IV - VI, showed significant worse results in the clinical scores compared with the low-energy traumata.

After the surgery, most of the patients changed their sports activities: They did not return to the same level of activity. Patients, who were competitive sportsmen before the surgery, had to end their career. For all active patients it was found that after the surgery there was a shift from risky high-impact activities to low impact sports. However, at the time of the survey, 73% of all patients were engaged in sports.

---

**Part II is a biomechanical cadaver study on balloon osteoplasty for tibial plateau fractures**



Fractures of the tibial plateau are among the most severe injuries of the knee joint. In order not to lead to advanced gonarthrosis, perfect joint congruency has to be restored in the surgery. Therefore, the surgery is still challenging even for experienced trauma surgeons. Open reduction and internal fixation is the standard surgical procedure for tibial plateau fractures. Part II of the thesis presents a novel technique for tibial plateau fracture surgery and its application in a cadaver study.

Balloon kyphoplasty has been successfully used in spine surgery for the reduction of osteoporotic vertebra compression fractures. In this study the balloon osteoplasty technique was applied to reduce depressed tibial plateau fractures in a cadaver study.

In a series of pre-tests the optimal technique was developed. Two issues proved the key elements for success: the exact location of the balloon and the use of a new osteo introducer needle with a special lateral opening which was build by modifying a commercially available osteo introducer needle. Basically, this modified needle allows the balloon to inflate in only one direction. This feature is required to lift the fractured tibial plateau.

The application of the balloon technique using the modified osteo introducer needle resulted in an excellent anatomic reconstruction of congruent cartilage surfaces and fracture reduction. This new minimally invasive procedure has the additional advantage of low collateral damage.

## ANHANG

|  |   |
|--|---|
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p><b>Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie</b><br/> <b>Klinikum rechts der Isar</b><br/> <b>der Technischen Universität München</b></p> <p><b>Abteilung für Unfallchirurgie</b><br/>       Leiter: Univ.-Prof. Dr. med. U. Stöckle<br/>       Ismaninger Str. 21, 81675 München</p> </div>  </div><br><p style="text-align: center;"><b><u>Fragebogen zu Ihrer Tibiakopffraktur / Nachuntersuchung</u></b></p> <p>Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,</p> <p>Bei Ihnen wurde eine Tibiakopffraktur (Schienbeinkopfraktur) in unserer Abteilung für Unfallchirurgie des Klinikums rechts der Isar in München operativ versorgt. Nun würden wir, Ihr freundliches Einverständnis vorausgesetzt, gerne im Rahmen einer klinischen Studie mit Hilfe unten angehängter Fragebögen den Therapieerfolg analysieren und erfragen wie intensiv Ihre derzeitige sportliche Aktivität ist. Diese Befragung ist völlig anonym und bezieht auf einer freiwilligen Basis. Wenn Sie sich etwa zehn Minuten Zeit nehmen, um die folgenden Fragebögen auszufüllen, würden Sie der universitären Wissenschaft einen großen Schritt weiterhelfen. Falls Sie mit der Befragung einverstanden sind, bitten wir Sie mit Ort, Datum und Unterschrift Ihr Einverständnis schriftlich niederzulegen. Nach Ausfüllen der Bögen, bitten wir Sie diese an unsere Abteilung zurückzuschicken.</p> <p>Vielen Dank für Ihre Kooperation.</p> <p>_____<br/>       Name, Vorname, Geburtsdatum</p> <p>_____<br/>       Ort, Datum, Unterschrift</p> <p><b>Es folgen nun acht verschiedenen Fragebögen, die wir Sie höflichst bitten nach bestem Wissen und Gewissen auszufüllen:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Allgemeine Fragen</li> <li>2. Visuelle Analogskala (VAS) a) vor der Tibiakopffraktur b) 1 Jahr post-OP c) derzeit</li> <li>3. Lysholm-allgemeiner Kniefragebogen - a) vor der Tibiakopffraktur b) 1 Jahr post-OP c) derzeit</li> <li>4. Sportaktivitätsfragebogen</li> <li>5. Activity Rating Scale a) vor der Tibiakopffraktur b) 1 Jahr post-OP c) derzeit</li> <li>6. Tegner Aktivitätsindex a) vor der Tibiakopffraktur b) 1 Jahr post-OP c) derzeit</li> </ol> | <p style="text-align: center;"><b>Bitte folgende Fragen genau durchlesen und Zutreffendes ankreuzen:</b><br/>       (Alle grau hinterlegten Felder sind auszufüllen)</p> <p><b>1. Allgemeine Fragen</b></p> <p>Körpergröße (cm): _____</p> <p>Gewicht (kg): _____</p> <p>Leiden Sie unter einer Grunderkrankung? (Osteoporose, Diabetes/Zucker, Herzprobleme, Bluthochdruck, Asthma, sonstige chronische Krankheiten, etc...)</p> <p>Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/></p> <p>(ggf. bitte kurze Beschreibung) _____</p> <p>Wurden Sie nach oder vor der Knie-Operation an unserer Abteilung nochmals am Knie operiert?</p> <p>Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/></p> <p>(ggf. bitte kurze Beschreibung der OP) _____</p> <p>Wann wurde das Metall entfernt?</p> <p>Op-Datum: _____</p> <p>Sind Sie zufrieden mit dem Ergebnis der Operation an Ihrem Kniegelenk?</p> <p>Sehr zufrieden <input type="checkbox"/> (1) Zufrieden <input type="checkbox"/> (2) Bedingt zufrieden <input type="checkbox"/> (3)<br/>       Unzufrieden <input type="checkbox"/> (4)</p> <p>Haben Sie aktuell Schmerzen im Knie?</p> <p>Ja, starke Schmerzen <input type="checkbox"/> (3) Ja, mässige Schmerzen <input type="checkbox"/> (2)<br/>       Ja, gelegentlich leichte Schmerzen <input type="checkbox"/> (1) Keine Schmerzen <input type="checkbox"/> (0)</p> <p>Nehmen Sie zurzeit Schmerzmedikamente wegen des Knies?</p> <p>Ja, regelmässig <input type="checkbox"/> Ja, bei Bedarf <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/></p> <p>Wenn Sie Sport treiben, müssen Sie dann zur Durchführung Schmerzmedikamente nehmen?</p> <p>Ja, regelmässig <input type="checkbox"/> Ja, bei Bedarf <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/></p> |
|--|---|

### 2. VAS (Visuelle Analog Skala)

Wie beurteilen Sie den Schmerz (falls vorhanden) im operierten Kniegelenk auf der unten angegebenen Skala? Bitte auf der Skala entsprechend ankreuzen.

**a) Vor dem Unfall**

**b) 1 Jahr nach der Operation**

**c) Derzeit**

### 3.a) Lysholm-Kniefragebogen vor dem Unfall

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <b>Hinken (5)</b>                   | <input type="checkbox"/> niemals (5)<br><input type="checkbox"/> leicht oder periodisch (3)<br><input type="checkbox"/> stark oder permanent (0)  |
| <b>Treppen steigen (10)</b>         | <input type="checkbox"/> ohne Probleme (10)<br><input type="checkbox"/> mit leichter Beeinträchtigung (6)<br><input type="checkbox"/> nur Schritt für Schritt (2)<br><input type="checkbox"/> überhaupt nicht, ist unmöglich (0)  |
| <b>Gefühl der Instabilität (25)</b> | <input type="checkbox"/> nie (25)<br><input type="checkbox"/> mäßig beim Sport oder anderer starker Belastung (20)<br><input type="checkbox"/> häufig beim Sport oder anderer starker Belastung (15)<br><input type="checkbox"/> gelegentlich bei täglichen Aktivitäten (10)<br><input type="checkbox"/> häufig bei täglichen Aktivitäten (5)<br><input type="checkbox"/> bei jedem Schritt (0) |
| <b>Schwellung (10)</b>              | <input type="checkbox"/> nie (10)<br><input type="checkbox"/> bei starker Beanspruchung (6)<br><input type="checkbox"/> bei leichter Beanspruchung (2)<br><input type="checkbox"/> permanent (0)  |
| <b>Belastung / Stockhilfe (5)</b>   | <input type="checkbox"/> uneingeschränkt möglich (5)<br><input type="checkbox"/> ist nur mit Stock oder Gehhilfe möglich (2)<br><input type="checkbox"/> ist überhaupt nicht möglich (0)  |
| <b>In die Hocke gehen (5)</b>       | <input type="checkbox"/> ohne Probleme (5)<br><input type="checkbox"/> mit leichter Beeinträchtigung (4)<br><input type="checkbox"/> nicht über 90° im Kniegelenk (2)<br><input type="checkbox"/> überhaupt nicht, ist unmöglich (0)  |
| <b>Schmerzen (25)</b>               | <input type="checkbox"/> nie (25)<br><input type="checkbox"/> unkonstant und leicht bei starker Belastung (20)<br><input type="checkbox"/> bei starker Beanspruchung (15)<br><input type="checkbox"/> bei Spaziergängen von 2 km und mehr (10)<br><input type="checkbox"/> bereits bei Spaziergängen von weniger als 2 km (5)<br><input type="checkbox"/> permanent und stark (0)               |
| <b>Blockierung (15)</b>             | <input type="checkbox"/> keine Blockierung und kein Gefühl der Einklemmung (15)<br><input type="checkbox"/> Gefühl der Einklemmung aber keine Blockierung (10)<br><input type="checkbox"/> gelegentliche Blockierung (6)<br><input type="checkbox"/> häufige Blockierung (2)<br><input type="checkbox"/> blockiertes Gelenk (0)   |

[Summe Lysholm Score max.: 100 Punkte]

| 3.b) Lysholm-Kniefragebogen 1 Jahr nach der Operation   | 3.c) Lysholm-Kniefragebogen-derzeit   |
|---|---|
| <p><b>Hinken (5)</b></p> <p><input type="checkbox"/> niemals (5)<br/> <input type="checkbox"/> leicht oder periodisch (3)<br/> <input type="checkbox"/> stark oder permanent (0)</p> <hr/> <p><b>Treppen steigen (10)</b></p> <p><input type="checkbox"/> ohne Probleme (10)<br/> <input type="checkbox"/> mit leichter Beeinträchtigung (6)<br/> <input type="checkbox"/> nur Schritt für Schritt (2)<br/> <input type="checkbox"/> überhaupt nicht, ist unmöglich (0)</p> <hr/> <p><b>Gefühl der Instabilität (25)</b></p> <p><input type="checkbox"/> nie (25)<br/> <input type="checkbox"/> mäßig beim Sport oder anderer starker Belastung (20)<br/> <input type="checkbox"/> häufig beim Sport oder anderer starker Belastung (15)<br/> <input type="checkbox"/> gelegentlich bei täglichen Aktivitäten (10)<br/> <input type="checkbox"/> häufig bei täglichen Aktivitäten (5)<br/> <input type="checkbox"/> bei jedem Schritt (0)</p> <hr/> <p><b>Schwellung (10)</b></p> <p><input type="checkbox"/> nie (10)<br/> <input type="checkbox"/> bei starker Beanspruchung (6)<br/> <input type="checkbox"/> bei leichter Beanspruchung (2)<br/> <input type="checkbox"/> permanent (0)</p> <hr/> <p><b>Belastung (5)</b></p> <p><input type="checkbox"/> uneingeschränkt möglich (5)<br/> <input type="checkbox"/> ist nur mit Stock oder Gehhilfe möglich (2)<br/> <input type="checkbox"/> ist überhaupt nicht möglich (0)</p> <hr/> <p><b>In die Hocke gehen (5)</b></p> <p><input type="checkbox"/> ohne Probleme (5)<br/> <input type="checkbox"/> mit leichter Beeinträchtigung (4)<br/> <input type="checkbox"/> nicht über 90° im Kniegelenk (2)<br/> <input type="checkbox"/> überhaupt nicht, ist unmöglich (0)</p> <hr/> <p><b>Schmerzen (25)</b></p> <p><input type="checkbox"/> nie (25)<br/> <input type="checkbox"/> unkonstant und leicht bei starker Belastung (20)<br/> <input type="checkbox"/> bei starker Beanspruchung (15)<br/> <input type="checkbox"/> bei Spaziergängen von 2 km und mehr (10)<br/> <input type="checkbox"/> bereits bei Spaziergängen von weniger als 2 km (5)<br/> <input type="checkbox"/> permanent und stark (0)</p> <hr/> <p><b>Blockierung (15)</b></p> <p><input type="checkbox"/> keine Blockierung und kein Gefühl der Einklemmung (15)<br/> <input type="checkbox"/> Gefühl der Einklemmung aber keine Blockierung (10)<br/> <input type="checkbox"/> gelegentliche Blockierung (6)<br/> <input type="checkbox"/> häufige Blockierung (2)<br/> <input type="checkbox"/> blockiertes Gelenk (0)</p> <p style="text-align: right;">[Summe Lysholm Score max.: 100 Punkte]</p> <p style="text-align: right;">5</p> | <p><b>Hinken (5)</b></p> <p><input type="checkbox"/> niemals (5)<br/> <input type="checkbox"/> leicht oder periodisch (3)<br/> <input type="checkbox"/> stark oder permanent (0)</p> <hr/> <p><b>Treppen steigen (10)</b></p> <p><input type="checkbox"/> ohne Probleme (10)<br/> <input type="checkbox"/> mit leichter Beeinträchtigung (6)<br/> <input type="checkbox"/> nur Schritt für Schritt (2)<br/> <input type="checkbox"/> überhaupt nicht, ist unmöglich (0)</p> <hr/> <p><b>Gefühl der Instabilität (25)</b></p> <p><input type="checkbox"/> nie (25)<br/> <input type="checkbox"/> mäßig beim Sport oder anderer starker Belastung (20)<br/> <input type="checkbox"/> häufig beim Sport oder anderer starker Belastung (15)<br/> <input type="checkbox"/> gelegentlich bei täglichen Aktivitäten (10)<br/> <input type="checkbox"/> häufig bei täglichen Aktivitäten (5)<br/> <input type="checkbox"/> bei jedem Schritt (0)</p> <hr/> <p><b>Schwellung (10)</b></p> <p><input type="checkbox"/> nie (10)<br/> <input type="checkbox"/> bei starker Beanspruchung (6)<br/> <input type="checkbox"/> bei leichter Beanspruchung (2)<br/> <input type="checkbox"/> permanent (0)</p> <hr/> <p><b>Belastung (5)</b></p> <p><input type="checkbox"/> uneingeschränkt möglich (5)<br/> <input type="checkbox"/> ist nur mit Stock oder Gehhilfe möglich (2)<br/> <input type="checkbox"/> ist überhaupt nicht möglich (0)</p> <hr/> <p><b>In die Hocke gehen (5)</b></p> <p><input type="checkbox"/> ohne Probleme (5)<br/> <input type="checkbox"/> mit leichter Beeinträchtigung (4)<br/> <input type="checkbox"/> nicht über 90° im Kniegelenk (2)<br/> <input type="checkbox"/> überhaupt nicht, ist unmöglich (0)</p> <hr/> <p><b>Schmerzen (25)</b></p> <p><input type="checkbox"/> nie (25)<br/> <input type="checkbox"/> unkonstant und leicht bei starker Belastung (20)<br/> <input type="checkbox"/> bei starker Beanspruchung (15)<br/> <input type="checkbox"/> bei Spaziergängen von 2 km und mehr (10)<br/> <input type="checkbox"/> bereits bei Spaziergängen von weniger als 2 km (5)<br/> <input type="checkbox"/> permanent und stark (0)</p> <hr/> <p><b>Blockierung (15)</b></p> <p><input type="checkbox"/> keine Blockierung und kein Gefühl der Einklemmung (15)<br/> <input type="checkbox"/> Gefühl der Einklemmung aber keine Blockierung (10)<br/> <input type="checkbox"/> gelegentliche Blockierung (6)<br/> <input type="checkbox"/> häufige Blockierung (2)<br/> <input type="checkbox"/> blockiertes Gelenk (0)</p> <p style="text-align: right;">[Summe Lysholm Score max.: 100 Punkte]</p> <p style="text-align: right;">6</p> |

**4. Sportaktivitäts-Fragebogen**

1. Bitte geben Sie die Sportarten bzw. Aktivitäten an, die Sie regelmässig vor der Operation ausgeübt haben bzw. derzeit ausüben. Beachten Sie bitte Folgendes:

**Life-Time bedeutet:** Geben Sie die Sportarten an, die Sie irgendwann im Leben für eine gewisse Zeit regelmässig ausgeübt haben. Sie müssen nichts ankreuzen, wenn Sie nie eine Sportart regelmässig ausgeübt haben.

**Jahr vor OP bedeutet:** Geben Sie die Sportarten an, die Sie im letzten Jahr vor der Knieverletzung regelmässig ausgeübt haben. Sie müssen nichts ankreuzen, wenn Sie keine Sportart regelmässig ausgeübt haben.

**1 Jahr nach OP bedeutet:** Geben Sie die Sportarten an, die Sie 1 Jahr nach der Knieverletzung regelmässig ausgeübt haben. Sie müssen nichts ankreuzen, wenn Sie keine Sportart regelmässig ausgeübt haben.

**Aktuell bedeutet:** Geben Sie die Sportarten an, die Sie jetzt / zurzeit regelmässig ausüben. Sie müssen nichts ankreuzen, wenn Sie keine Sportart regelmässig ausüben.

Saisonsportarten (z. B. Langlauf, Skifahren, Golf, usw.) sind auf die jeweilige Saison (z. B. Winter) zu bezeichnen.

|                          | Life-Time                | Jahr vor OP              | 1 Jahr nach OP           | Aktuell                  |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. Nordic Walking        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Jogging               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Inline Skating        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Bergwandern           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. Bergsteigen/Klettern  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. Radfahren             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7. Mountainbiking        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8. Schwimmen             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9. Fitness/Krafttraining | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10. Aerobic              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 11. Gymnastik/Turnen     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 12. Aqua Fit             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 13. Alpin Ski            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

|                   |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 14. Langlauf      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 15. Snowboard     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 16. Eishockey     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 17. Eislauf       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 18. Golf          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 19. Tennis Einzel | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 20. Tennis Doppel | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 21. Tischtennis   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 22. Badminton     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 23. Fussball      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 24. Handball      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 25. Basketball    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 26. Volleyball    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 27. Kampfsport    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 28. Reiten        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 29. Tanzen        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 30. Segeln        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 31. Wasserski     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 32. Rudern        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |





**5a. Activity Rating Scale-vor der Operation**

Bitte geben Sie an wie oft Sie jede Aktivität in Ihrem gesündesten und aktivsten Zustand **im Jahr vor der Operation** ausgeübt haben. (Sie müssen ein Kreuz in das entsprechende Feld eintragen, insgesamt also vier Kreuze)

|   | Weniger als einmal im Monat  | Einmal im Monat              | Einmal in der Woche          | Zwei- bis dreimal in der Woche | Viermal in der Woche oder öfters |
|---|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| <b>Laufen/Rennen:</b><br>Laufen oder Rennen während Sie einen Sport betreiben, oder Jogging   | <input type="checkbox"/> (0) | <input type="checkbox"/> (1) | <input type="checkbox"/> (2) | <input type="checkbox"/> (3)   | <input type="checkbox"/> (4)     |
| <b>Schnelle Richtungswechsel:</b> Schnelle Richtungswechsel beim Laufen   | <input type="checkbox"/> (0) | <input type="checkbox"/> (1) | <input type="checkbox"/> (2) | <input type="checkbox"/> (3)   | <input type="checkbox"/> (4)     |
| <b>Abbremsen:</b><br>Beim Laufen zu einem schnellen Stopp kommen  | <input type="checkbox"/> (0) | <input type="checkbox"/> (1) | <input type="checkbox"/> (2) | <input type="checkbox"/> (3)   | <input type="checkbox"/> (4)     |
| <b>Drehen/Schwenken:</b><br>Während eines Sports Ihren Körper drehen während Ihr Fuss auf dem Boden steht; Zum Beispiel Skifahren, Inline Skate, einen Ball treten, werfen oder schlagen (Golf, Tennis, Squash, usw.) | <input type="checkbox"/> (0) | <input type="checkbox"/> (1) | <input type="checkbox"/> (2) | <input type="checkbox"/> (3)   | <input type="checkbox"/> (4)     |

[Summe Activity Rating Scale max. 16 Punkte]

**5b. Activity Rating Scale-1 Jahr nach der Operation**

Bitte geben Sie an wie oft Sie jede Aktivität in Ihrem gesündesten und aktivsten Zustand **1 Jahr nach der Operation** ausgeübt haben. (Sie müssen ein Kreuz in das entsprechende Feld eintragen, insgesamt also vier Kreuze)

|   | Weniger als einmal im Monat  | Einmal im Monat              | Einmal in der Woche          | Zwei- bis dreimal in der Woche | Viermal in der Woche oder öfters |
|---|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| <b>Laufen/Rennen:</b><br>Laufen oder Rennen während Sie einen Sport betreiben, oder Jogging   | <input type="checkbox"/> (0) | <input type="checkbox"/> (1) | <input type="checkbox"/> (2) | <input type="checkbox"/> (3)   | <input type="checkbox"/> (4)     |
| <b>Schnelle Richtungswechsel:</b> Schnelle Richtungswechsel beim Laufen   | <input type="checkbox"/> (0) | <input type="checkbox"/> (1) | <input type="checkbox"/> (2) | <input type="checkbox"/> (3)   | <input type="checkbox"/> (4)     |
| <b>Abbremsen:</b><br>Beim Laufen zu einem schnellen Stopp kommen  | <input type="checkbox"/> (0) | <input type="checkbox"/> (1) | <input type="checkbox"/> (2) | <input type="checkbox"/> (3)   | <input type="checkbox"/> (4)     |
| <b>Drehen/Schwenken:</b><br>Während eines Sports Ihren Körper drehen während Ihr Fuss auf dem Boden steht; Zum Beispiel Skifahren, Inline Skate, einen Ball treten, werfen oder schlagen (Golf, Tennis, Squash, usw.) | <input type="checkbox"/> (0) | <input type="checkbox"/> (1) | <input type="checkbox"/> (2) | <input type="checkbox"/> (3)   | <input type="checkbox"/> (4)     |

[Summe Activity Rating Scale max. 16 Punkte]

**5c. Activity Rating Scale-derzeit**

Bitte geben Sie an wie oft Sie jede Aktivität in Ihrem gesündesten und aktivsten Zustand **in den letzten Wochen** ausgeübt haben. (Sie müssen ein Kreuz in das entsprechende Feld eintragen, insgesamt also vier Kreuze)

|   | Weniger als einmal im Monat  | Einmal im Monat              | Einmal in der Woche          | Zwei- bis dreimal in der Woche | Viermal in der Woche oder öfters |
|---|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| <b>Laufen/Rennen:</b><br>Laufen oder Rennen während Sie einen Sport betreiben, oder Jogging   | <input type="checkbox"/> (0) | <input type="checkbox"/> (1) | <input type="checkbox"/> (2) | <input type="checkbox"/> (3)   | <input type="checkbox"/> (4)     |
| <b>Schnelle Richtungswechsel:</b> Schnelle Richtungswechsel beim Laufen   | <input type="checkbox"/> (0) | <input type="checkbox"/> (1) | <input type="checkbox"/> (2) | <input type="checkbox"/> (3)   | <input type="checkbox"/> (4)     |
| <b>Abbremsen:</b><br>Beim Laufen zu einem schnellen Stopp kommen  | <input type="checkbox"/> (0) | <input type="checkbox"/> (1) | <input type="checkbox"/> (2) | <input type="checkbox"/> (3)   | <input type="checkbox"/> (4)     |
| <b>Drehen/Schwenken:</b><br>Während eines Sports Ihren Körper drehen während Ihr Fuss auf dem Boden steht; Zum Beispiel Skifahren, Inline Skate, einen Ball treten, werfen oder schlagen (Golf, Tennis, Squash, usw.) | <input type="checkbox"/> (0) | <input type="checkbox"/> (1) | <input type="checkbox"/> (2) | <input type="checkbox"/> (3)   | <input type="checkbox"/> (4)     |

[Summe Activity Rating Scale max. 16 Punkte]

|  |   |
|--|---|
| <p><b>6a. Tegner Aktivitäts-Index - vor dem Unfall</b><br/>Bitte kreuzen Sie in der untenstehenden Liste die <i>höchste</i> Stufe an, in die Sie sich <b>im Jahr vor der Operation</b> einordnen könnten.</p> <p>10. <b>Wettkampfsport</b> <input type="checkbox"/><br/>Fußball (nationale und internationale Elite)</p> <p>9. <b>Wettkampfsport</b> <input type="checkbox"/><br/>Fußball (niedrigere Ligen), Eishockey, Ringen oder Kampfsport, Gymnastik</p> <p>8. <b>Wettkampfsport</b> <input type="checkbox"/><br/>Squash oder Badminton, Leichtathletik (Sprungdisziplinen), Alpin Ski</p> <p>7. <b>Wettkampfsport</b> <input type="checkbox"/><br/>Tennis, Leichtathletik (Laufdisziplinen), Motocross, Handball, Basketball<br/><b>Freizeitsport</b> <input type="checkbox"/><br/>Fußball, Eishockey, Squash, Leichtathletik (Sprungdisziplinen)</p> <p>6. <b>Freizeitsport</b> <input type="checkbox"/><br/>Tennis, Badminton, Leichtathletik (Laufdisziplinen), Motocross, Handball, Basketball, Alpin Ski, Jogging (mindestens 5 Mal pro Woche)</p> <p>5. <b>Arbeit/Beruf</b> <input type="checkbox"/><br/>Schwere körperliche Arbeit (z. B. Bauarbeiten, Waldarbeiten, usw.)<br/><b>Wettkampfsport</b> <input type="checkbox"/><br/>Velo oder Mountainbike, Langlauf<br/><b>Freizeitsport</b> <input type="checkbox"/><br/>Jogging auf unebenem Untergrund (mindestens 2 Mal pro Woche)</p> <p>4. <b>Arbeit/Beruf</b> <input type="checkbox"/><br/>Mässig schwere körperliche Arbeit (z. B. Chauffeur, schwere Hausarbeiten, Lagerarbeit, usw.)<br/><b>Freizeitsport</b> <input type="checkbox"/><br/>Rad oder Mountainbike, Langlauf, Jogging auf ebenem Untergrund (mindestens 2 Mal pro Woche)</p> <p>3. <b>Arbeit/Beruf</b> <input type="checkbox"/><br/>Leichte körperliche Arbeit (z. B. Gastronomie, Pflegeberufe, usw.)<br/><b>Wettkampf- oder Freizeitsport</b> <input type="checkbox"/><br/>Schwimmen<br/><b>Waldspaziergänge (auf unebenem Untergrund) möglich</b> <input type="checkbox"/></p> <p>2. <b>Arbeit/Beruf</b> <input type="checkbox"/><br/>Leichte Arbeit (wechselnd Sitzen, Stehen, Laufen und Treppensteigen)<br/><b>Gehen auf unebenem Untergrund möglich, aber keine Waldspaziergänge</b> <input type="checkbox"/></p> <p>1. <b>Arbeit/Beruf</b> <input type="checkbox"/><br/>Sitzende Tätigkeit (z. B. Büro, Callcenter, usw.)<br/><b>Gehen auf ebenem Untergrund möglich</b> <input type="checkbox"/></p> <p>0. <b>Krankschreibung oder IV-Rente wegen Kniebeschwerden</b> <input type="checkbox"/></p> | <p><b>6b. Tegner Aktivitäts-Index - 1 Jahr nach der Operation</b><br/>Bitte kreuzen Sie in der untenstehenden Liste die <i>höchste</i> Stufe an, in die Sie sich <b>1 Jahr nach der Operation</b> einordnen könnten.</p> <p>10. <b>Wettkampfsport</b> <input type="checkbox"/><br/>Fußball (nationale und internationale Elite)</p> <p>9. <b>Wettkampfsport</b> <input type="checkbox"/><br/>Fußball (niedrigere Ligen), Eishockey, Ringen oder Kampfsport, Gymnastik</p> <p>8. <b>Wettkampfsport</b> <input type="checkbox"/><br/>Squash oder Badminton, Leichtathletik (Sprungdisziplinen), Alpin Ski</p> <p>7. <b>Wettkampfsport</b> <input type="checkbox"/><br/>Tennis, Leichtathletik (Laufdisziplinen), Motocross, Handball, Basketball<br/><b>Freizeitsport</b> <input type="checkbox"/><br/>Fußball, Eishockey, Squash, Leichtathletik (Sprungdisziplinen)</p> <p>6. <b>Freizeitsport</b> <input type="checkbox"/><br/>Tennis, Badminton, Leichtathletik (Laufdisziplinen), Motocross, Handball, Basketball, Alpin Ski, Jogging (mindestens 5 Mal pro Woche)</p> <p>5. <b>Arbeit/Beruf</b> <input type="checkbox"/><br/>Schwere körperliche Arbeit (z. B. Bauarbeiten, Waldarbeiten, usw.)<br/><b>Wettkampfsport</b> <input type="checkbox"/><br/>Velo oder Mountainbike, Langlauf<br/><b>Freizeitsport</b> <input type="checkbox"/><br/>Jogging auf unebenem Untergrund (mindestens 2 Mal pro Woche)</p> <p>4. <b>Arbeit/Beruf</b> <input type="checkbox"/><br/>Mässig schwere körperliche Arbeit (z. B. Chauffeur, schwere Hausarbeiten, Lagerarbeit, usw.)<br/><b>Freizeitsport</b> <input type="checkbox"/><br/>Rad oder Mountainbike, Langlauf, Jogging auf ebenem Untergrund (mindestens 2 Mal pro Woche)</p> <p>3. <b>Arbeit/Beruf</b> <input type="checkbox"/><br/>Leichte körperliche Arbeit (z. B. Gastronomie, Pflegeberufe, usw.)<br/><b>Wettkampf- oder Freizeitsport</b> <input type="checkbox"/><br/>Schwimmen<br/><b>Waldspaziergänge (auf unebenem Untergrund) möglich</b> <input type="checkbox"/></p> <p>2. <b>Arbeit/Beruf</b> <input type="checkbox"/><br/>Leichte Arbeit (wechselnd Sitzen, Stehen, Laufen und Treppensteigen)<br/><b>Gehen auf unebenem Untergrund möglich, aber keine Waldspaziergänge</b> <input type="checkbox"/></p> <p>1. <b>Arbeit/Beruf</b> <input type="checkbox"/><br/>Sitzende Tätigkeit (z. B. Büro, Callcenter, usw.)<br/><b>Gehen auf ebenem Untergrund möglich</b> <input type="checkbox"/></p> <p>0. <b>Krankschreibung oder IV-Rente wegen Kniebeschwerden</b> <input type="checkbox"/></p> |
|--|---|

**6c. Tegner Aktivitäts-Index - derzeit**

Bitte kreuzen Sie in der untenstehenden Liste die *höchste* Stufe an, in die Sie sich derzeit einordnen können.

10. **Wettkampfsport**   
Fußball (nationale und internationale Elitie)
9. **Wettkampfsport**   
Fußball (niedrigere Ligen), Eishockey, Ringen oder Kampfsport, Gymnastik
8. **Wettkampfsport**   
Squash oder Badminton, Leichtathletik (Sprungdisziplinen), Alpin Ski
7. **Wettkampfsport**   
Tennis, Leichtathletik (Laufdisziplinen), Motocross, Handball, Basketball
- Freizeitsport**   
Fußball, Eishockey, Squash, Leichtathletik (Sprungdisziplinen)
6. **Freizeitsport**   
Tennis, Badminton, Leichtathletik (Laufdisziplinen), Motocross, Handball, Basketball, Alpin Ski, Jogging (mindestens 5 Mal pro Woche)
5. **Arbeit/Beruf**   
Schwere körperliche Arbeit (z. B. Bauarbeiten, Waldarbeiten, usw.)
- Wettkampfsport**   
Velo oder Mountainbike, Langlauf
- Freizeitsport**   
Jogging auf unebenem Untergrund (mindestens 2 Mal pro Woche)
4. **Arbeit/Beruf**   
Mässig schwere körperliche Arbeit (z. B. Chauffeur, schwere Hausarbeiten, Lagerarbeit, usw.)
- Freizeitsport**   
Rad oder Mountainbike, Langlauf, Jogging auf ebenem Untergrund (mindestens 2 Mal pro Woche)
3. **Arbeit/Beruf**   
Leichte körperliche Arbeit (z. B. Gastronomie, Pflegeberufe, usw.)
- Wettkampfr- oder Freizeitsport**   
Schwimmen
- Waldspaziergänge (auf unebenem Untergrund) möglich**
2. **Arbeit/Beruf**   
Leichte Arbeit (wechselnd Sitzen, Stehen, Laufen und Treppensteigen)
- Gehen auf unebenem Untergrund möglich, aber keine Waldspaziergänge**
1. **Arbeit/Beruf**   
Sitzende Tätigkeit (z. B. Büro, Callcenter, usw.)
- Gehen auf ebenem Untergrund möglich**
0. **Krankschreibung oder IV-Rente wegen Kniebeschwerden**

16

**7. Hier ist Platz für Ihren Kommentar:**

Herzlichen Dank für Ihre Mithilfe. Sie unterstützen uns in unserem steten Bemühen, den Wünschen und Ansprüchen von unseren Patienten zu genügen!

17