

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

**Korrekturgenauigkeit und mittelfristige klinische Ergebnisse
nach Doppelumstellungsosteotomie am Bein – eine
katamnestische Querschnittsstudie**

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

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

vorgelegt von

Herbst, Moritz

2025

Dekan:

Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter:

Professor Dr. C. C. Ihle

2. Berichterstatter:

Privatdozent Dr. A. Badke

Tag der Disputation:

18.06.2025

I. Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Gonarthrose	1
1.1.1	Epidemiologie, Ätiologie und Bedeutung der Gonarthrose	1
1.1.2	Stadien der Gonarthrose	3
1.2	Entwicklung der kniegelenksnahen Korrektur-osteotomien bis zur heutigen „ <i>double level</i> Osteotomie“	6
1.3	Wissenschaftlicher Hintergrund und Bedeutung der Gonarthrose	11
1.3.1	Stufenbehandlungskonzept der monokompartimentellen Gonarthrose	13
1.3.2	Limitationen der Tibiakopfumstellungsosteotomie und Problematik der <i>joint line obliquity</i>	18
1.3.3	Überlebensraten der kniegelenksnahen Osteotomien	25
1.3.4	Bisherige kurz- und mittelfristige Ergebnisse nach DLO unter Berücksichtigung moderner Indikationsstellungen und Operationsverfahren	27
1.4	Eigene Fragestellung und Zielsetzung	30
1.4.1	Überblick Literaturrecherche	30
1.4.2	Eigene Zielsetzung und Hypothese	30
1.4.3	Zielkriterien	31
2	Material und Methoden	32
2.1	Arbeits- und Zeitplan	32
2.2	Studienkollektiv	33
2.2.1	Patientenakquise	36
2.3	Deformitätenanalyse und digitale Operationsplanung	38
2.4	Operative Therapie	40
2.4.1	DFO	40
2.4.2	HTO	42
2.4.3	Postoperative Rehabilitation	43
2.5	Nachuntersuchung	45
2.6	Messinstrumente	46
2.6.1	Klinische Scores	47
2.6.2	Subjektive gesundheitsbezogene Lebensqualität	52
2.6.3	Zusatzfragen	58
2.7	Radiologische Auswertung	59
2.8	Statistik	64
3	Resultate	65
3.1	Allgemeine Daten und Charakteristika des Studienkollektivs	65
3.2	Überlebensraten nach DLO, Konversionsraten zur KTP und Komplikationen im Beobachtungsverlauf	67
3.3	Klinisch-funktionelle Untersuchungsergebnisse	72

3.4	Etablierte klinische Scores	76
3.4.1	Lysholm Score	76
3.4.2	OKS	76
3.4.3	IKDC subjektiv	76
3.4.4	<i>Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score</i>	77
3.5	Subjektive gesundheitsbezogene Lebensqualität und Parameter der Patienten Zufriedenheit	79
3.5.1	Short Form (SF-36)	79
3.5.2	EQ-5D-5L	81
3.5.3	Parameter der allgemeinen Zufriedenheit	82
3.6	Radiologische Ergebnisse	85
3.6.1	Chirurgische Korrekturgenauigkeit und Achsdeviationen im Beobachtungsverlauf	86
4	Diskussion	91
4.1	Ergebnisübersicht und Interpretation der Zielkriterien	91
4.2	Vergleichsarbeiten und Einordnung der Studienergebnisse in die bestehende Literatur	93
4.2.1	Betrachtung der klinischen und radiologischen kurz- und mittelfristigen Ergebnisse	93
4.2.2	Betrachtung der mittelfristigen Überlebensraten nach DLO	97
4.2.3	Bedeutung der <i>joint line obliquity</i> und Interpretation der einzelnen Gelenkwinkel	100
4.3	Auswirkungen einer <i>double level</i> Osteotomie im Vergleich zu einer <i>single level</i> Osteotomie auf die Gelenkmechanik und deren klinische Bedeutung	103
4.3.1	Betrachtung der Osteotomiekeilhöhe	103
4.3.2	Perioperative Komplikationsrisiken im Vergleich zwischen SLO und DLO	105
4.3.3	Bedeutung physiologischer Gelenkwinkel und der JLO für eine sekundäre KTP nach erfolgter kniegelenksnaher Umstellungsosteotomie	106
4.4	Limitationen der DLO und Ansätze für mögliche Erweiterungen des Verfahrens	108
4.5	Studienlimitationen	110
4.6	Zusammenfassende Beurteilung	112
5	Zusammenfassung	114
6	Literaturverzeichnis	116
7	Erklärung zum Eigenanteil der Dissertationsschrift	130

II. Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1.1: Schemazeichnung.** Röntgenologische Stadieneinteilung der Gonarthrose nach Jäger und Wirth (32). Abbildung angelehnt an Imhoff (2) und Herbst (30). 5
- Abbildung 2.1: Flussdiagramm.** Initiale Prüfung auf Eignung, Kontaktaufnahme und Ablauf der Nachuntersuchungen mit Follow-Up-Raten der einzelnen Teilaspekte. 35
- Abbildung 2.2: Flussdiagramm.** Algorithmus der Patientenakquise. Abbildung angelehnt an Ihle (43) 37
- Abbildung 2.3: Schemazeichnung.** Kniegelenksnahe Achsen und Gelenkwinkel in der Frontalebene, schematisch anhand eines linken Beines. Hierbei sind die anatomischen Achsen und physiologischen Grenzen den mechanischen Achsen und korrespondierenden physiologischen Grenzen gegenübergestellt. Anatomische kniegelenksnahe Winkel und Normwerte (A), mechanische kniegelenksnahe Winkel und Normwerte (B), anatomischer tibiofemoraler Winkel (aTFA), anatomischer lateraler distaler Femurwinkel (aLDFA), anatomischer medialer proximaler Tibiawinkel (aMPTA), anatomischer lateraler distaler Tibiawinkel (aLDTA), mechanischer tibiofemoraler Winkel (mTFA), mechanischer lateraler distaler Femurwinkel (mLDFA), mechanischer medialer proximaler Tibiawinkel (mMPTA), mechanischer lateraler distaler Tibiawinkel (mLDTA), anatomisch-mechanischer Femurwinkel (AMA). 60
- Abbildung 2.4: Schemazeichnung.** Kniegelenksnahe Achsen und Gelenkwinkel in der Frontalebene, schematisch anhand eines linken Beines. Zusätzlich dargestellt die Orientierung im Raum, relativ zur senkrechten (Vertikalachse des Körpers) und horizontalen (Fußboden) Ebene. Femurkondylentangente (F), Tibiaplateautangente (T), Anatomisch-mechanischer Femurwinkel (AMA), vertikaler mechanischer Winkel (VMA), Gelenkslinienkonvergenzwinkel (JLCA), Schräge der Gelenkslinie (JLO), Traglinie des Beines (Mikulicz-Linie). 61
- Abbildung 2.5: Röntgenbild.** Deformitätenanalyse mit kniegelenksnahen Achsen und Gelenkwinkel. Die Deformitätenanalyse erfolgte anhand einer Ganzbeinsstandaufnahme in der Frontalebene, mit der Planungssoftware mediCAD®. Anhand der 25mm-Planungskugel, konnten die Größen bestimmt und das Röntgenbild vor Ausmessung normiert werden. Rot dargestellt sind Werte die vom Programm als pathologisch erkannt werden, grün dargestellt, Werte innerhalb der physiologischen Grenzen. Mechanischer tibiofemoraler Winkel (mTFA), mechanischer lateraler distaler Femurwinkel (mLDFA), mechanischer medialer proximaler Tibiawinkel (mMPTA), mechanischer lateraler distaler Tibiawinkel (mLDTA), anatomisch-mechanischer Femurwinkel (AMA), vertikaler mechanischer Winkel (VMA), Gelenkslinienkonvergenzwinkel (JLCA), Schräge der Gelenkslinie (JLO), Traglinie des Beines (Mikulicz-Linie). 63
- Abbildung 3.1: Säulendiagramm.** Häufigkeitsverteilung der einzelnen Bereiche des IKDC objektiv. 1 entspricht dabei einer Gruppierung A und somit

normalen Kniegelenksverhältnissen. 2 entspricht Gruppe B und damit leichten Einschränkungen, 3 entspricht Gruppe C und somit mittleren Einschränkungen, 4 entspricht Gruppe D und somit starken Einschränkungen und 5 entspräche Gruppe E und damit massiven Einschränkungen. 73

Abbildung 3.2: Säulendiagramm. Verteilung der physischen Arbeitsbelastung des gesamten Kollektivs zum Zeitpunkt vor der Operation und im Vergleich, zum Zeitpunkt der Erfassung im mittelfristigen Follow-up. Einteilung mittels REFA-Klassifikation. präOP: Physische Arbeitsbelastung präoperativ, postOP: Physische Arbeitsbelastung zum Erfassungszeitpunkt im Langzeit-Follow-up. 74

Abbildung 3.3: Säulendiagramm. Häufigkeitsverteilung des Aktivitätsniveaus des Kollektivs zum mittelfristigen Nachbeobachtungszeitpunkt. Median in dunkelgrau. 75

Abbildung 3.4: Boxplots. Ergebnisse der klinischen Scores zum Erfassungszeitpunkt des mittelfristigen Follow-ups. **A** Ergebnis des Lysholm Scores, **B** Ergebnis des Oxford Knee Scores, **C** Ergebnis des IKDC subjektiv. **D** Ergebnisse der einzelnen Subskalen und **E** des Summenscores des Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Oberer und unterer Whisker entsprechen in der Darstellung der 97,5%-Quantile respektive der 2,5%-Quantile. IKDC subjektiv (IKDC), Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Scores (KOOS). 78

Abbildung 3.5: Netzdiagramm. Ergebnisse aller Subskalen des SF-36 im Verhältnis zu Werten der Normalbevölkerung, im mittelfristigen Follow-up. Alle Werte sind an Alters- Geschlechts- und Geographische Unterschiede adjustiert. PF: körperliche Funktionsfähigkeit, RP: körperliche Rollenfunktion, BP: körperliche Schmerzen, GH: allgemeine Gesundheitswahrnehmung, V: Vitalität, SF: soziale Funktionsfähigkeit, RE: emotionale Rollenfunktion, MH: psychisches Wohlbefinden, NB: Normalbevölkerung. 79

Abbildung 3.6: Säulendiagramm. Häufigkeitsverteilung der einzelnen Dimensionen des EQ-5D für das gesamte Kollektiv. 81

Abbildung 3.7: Boxplots. Mittelwerte der einzelnen Dimensionen für das gesamte Kollektiv, stellvertretend für einen fiktiven Patienten. Die Höhe der Balken zeigt dabei das arithmetische Mittel, zusätzlich angegeben ist der Median. Der obere Whisker gibt die Streuung an. 82

Abbildung 3.8: Säulendiagramme. Parameter der allgemeinen Patientenzufriedenheit und Erfüllung der Erwartungshaltungen. **A** Häufigkeitsverteilung der NRS der allg. Patientenzufriedenheit, **B** Zufriedenheit mit dem Behandlungsergebnis, jeweils für das gesamte Kollektiv. **C** Erfüllung der Erwartungshaltungen der Patienten über eine 5-stufige Antwortskala. **D** gibt in einer binären Antwortskala an, ob die Patienten mit dem Wissensstand zum Zeitpunkt der mittelfristigen Nachuntersuchung, die OP respektive Behandlung erneut durchführen lassen würden. 84

III. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1:	Gebräuchliche Klassifikationen der Gonarthrose nach radiologischer und arthroskopischer Einteilung. Übersicht angelehnt an Herbst (30).	3
Tabelle 1.2:	Indikationen mit Grenzwerten, Zielwerten und technischen Aspekten der DLO aus der systematischen Metaanalyse von Alves et al. aus dem Jahr 2022 (123).	24
Tabelle 2.1:	Subskalen und Items des SF-36. Beschrieben sind alle Subskalen sowie deren Inhalt, Itemanzahl und daraus resultierende Separationsstufen. Tabelle nach Bullinger (148).	54
Tabelle 3.1:	Allgemeine Daten und Charakteristika des gesamten Patientenkollektivs zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung.	65
Tabelle 3.2:	Postoperativ aufgetretene Komplikationen, bezogen auf das gesamte Kollektiv und bezogen auf das mittelfristige Überleben (Konversion zur Endprothese).	68
Tabelle 3.3:	Potenzielle Risikofaktoren für eine Konversion zur KTP. Dargestellt sind allgemeine und patienten-bezogene Faktoren sowie die präoperative Deformitätensituation und das postoperative Ergebnis. Die Analyse erfolgte mittels binärer logistischer Regressionsanalyse.	69
Tabelle 3.4:	Radiologische Parameter im Gruppenvergleich. Ergebnisse der präoperativen Deformitätenanalyse, separiert nach einem späteren Übergang in eine Endoprothese. Vergleich der Gruppen Konversion zur KTP (n=6) und keine Konversion zur KTP (n=47).	70
Tabelle 3.5:	Radiologische Parameter im Gruppenvergleich. Postoperative Ergebnisse, separiert nach einem späteren Übergang in eine Endoprothese. Vergleich der Gruppen Konversion zur KTP (n=6) und keine Konversion zur KTP (n=47).	71
Tabelle 3.6:	Allgemeine Daten und Charakteristika aller Patienten, ohne Übergang zur Endoprothese, zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung.	72
Tabelle 3.7:	Ergebnisse des SF-36 in der normbasierten Variante. Differenzen der einzelnen Subskalen sowie der Summenscores relativ zur Normalbevölkerung und korrespondierende Signifikanzen.	80
Tabelle 3.8:	Radiologische Parameter des Kollektivs. Deskriptive Darstellung der präoperativen Deformitätenanalyse, der operativen Planung, des postoperativen Ergebnisses und des langzeit Follow-ups.	86
Tabelle 3.9:	Radiologische Parameter des Kollektivs im Paarvergleich zwischen den Zeitpunkten der präoperativen Deformitätenanalyse und dem postoperativen Ergebnis.	87
Tabelle 3.10:	Radiologische Parameter des Kollektivs im Paarvergleich zwischen den Zeitpunkten der präoperativen Deformitätenanalyse und dem postoperativen Langzeitergebnis.	88
Tabelle 3.11:	Radiologische Parameter des Kollektivs im Paarvergleich. Vergleich zwischen der präoperativen Planung und den erreichten postoperativen Ergebnissen.	89

Tabelle 3.12:	Radiologische Parameter des Kollektivs im Paarvergleich. Vergleich der postoperativen Ergebnisse und der Langzeitergebnisse.	90
Tabelle 4.1:	Übersicht der allgemeinen Daten, Indikationsstellungen und Ergebnisse der Vergleichsarbeiten von Nakayama et al., Schröter et al., Akamatsu et al. und Rupp et al., sowie der vorliegenden Promotionsarbeit (vgl. Abschnitt 3.4 und Abbildung 3.5).	96

IV. Formelverzeichnis

Formel 2.1:	Formel zur Berechnung des IKDC Score subjektiv	50
Formel 2.2:	Formel zur Berechnung der einzelnen Dimensionen des KOOS	52

V. Abkürzungsverzeichnis

AE	unerwünschten Ereignissen, adverse events
aLDFA	anatomischer lateraler distaler Femurwinkel
aLDTA	anatomischer lateraler distaler Tibiawinkel
AMA	anatomisch-mechanischer Femurwinkel
aMPTA	anatomischer medialer proximaler Tibiawinkel
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
aTFA	anatomischer tibiofemoraler Winkel
BG Unfallklinik Tübingen	Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen
BP	körperliche Schmerzen
COVID-19	Coronavirus SARS CoV 2
CT	Computertomographie
DFO	distale Femurosteotomie
DLO	double level Osteotomien
EQ-5D-3L	European Quality of Life 5 Dimensions 3 Level
EQ-5D-5L	European Quality of Life 5 Dimensions 5 Level
F	Femurkondylentangente
FEM	Finite Elemente Modell
Flex/Ex	Flexion und Extension
GH	allgemeine Gesundheitswahrnehmung
HTO	hohen Tibiakopfosteotomie
IKDC	International Knee Documentation Committee
International Cartilage Repair Society	International Cartilage Repair Society
JLCA	Gelenkslinienkonvergenzwinkel
JLO	Schräge der Gelenkslinie, joint line obliquity
K-Draht	Kirschnerdraht
KOOS	Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score
KTP	Knietotalendoprothese
LCP	locking compression plate
LCWDFO	lateral closed wedge distal femoral osteotomy
LCWHTO	lateral closed wedge high tibial osteotomy
M. Vastus lateralis	Musculus Vastus lateralis
MCS	mental health component summary score
MDF	medial distal femur
MH	psychisches Wohlbefinden
MHA	malleoläre, horizontale Orientierung
MHT	medial high tibia
mLDFA	mechanischer lateraler distaler Femurwinkel
mLDTA	mechanischer lateraler distaler Tibiawinkel
mMPTA	mechanischer medialer proximaler Tibiawinkel
MOWHTO	medial open wedge high tibial osteotomy
MRT	Magnetresonanztomographie
mTFA	mechanische Beinachse, mechanischer tibio-femoraler Winkel
N	Newton
NB	Normalbevölkerung
NBS	normbasierte Variante
NRS	numerische Rating Skala
OKS	Oxford Knee Score
OSG	oberes Sprunggelenk
PACS	Picture Archiving Communication System

PCS	physical health component summary score
PF	körperliche Funktionsfähigkeit
postOP	postoperativ
präOP	präoperativ
PRO-Instrument	Patient Reported Outcome Instrument
PY	Rauchhistorie, pack years
RCTs	randomisierten Kontrollstudien
RE	emotionale Rollenfunktion
REFA	Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e. V.
ROM	Bewegungsumfang, Range of Motion
RP	körperliche Rollenfunktion
SF	soziale Funktionsfähigkeit
SF-12	Short Form 12 Health Survey
SF-36	Short Form 36 Health Survey
SLO	single level Osteotomie
Studien-ID	Studienidentifikationsnummer
T	Tibiaplateautangente
TCVO	Tibiakondylen valgus Osteotomie
TVT	tiefe Beinvenenthrombosen
UKP	unikondyläre Oberflächenersatzprothese, Schlittenprothese
V	Vitalität
VMA	vertikaler mechanischer Winkel
WHO	Weltgesundheitsorganisation

1 Einleitung

1.1 Gonarthrose

1.1.1 Epidemiologie, Ätiologie und Bedeutung der Gonarthrose

Die Arthrose des Kniegelenks ist die am häufigsten vorkommende Form der Arthrose und zählt mit der Spondylarthrose zu den häufigsten orthopädischen, degenerativen Erkrankungen im Erwachsenenalter (1, 2). Die Gonarthrose ist eine chronisch-progredient verlaufende Destruktion des hyalinen Gelenkknorpels im Kniegelenk, die irreversibel durch ein Ungleichgewicht zwischen lokaler Belastung und der Belastbarkeit der betroffenen Strukturen hervorgerufen wird (2). Neben dem primär betroffenen, hyalinen Gelenkknorpel sind auch der subchondrale Knochen, peri- und intraartikuläre Bänder, Muskeln sowie die Gelenkkapsel mitbetroffen (1-4). Sofern keine traumatische Ursache vorliegt, nimmt die Prävalenz der Gonarthrose mit steigendem Alter zu, wodurch sie vor allem ab dem 50. Lebensjahr in Erscheinung tritt (5). Ab dem 60. Lebensjahr lassen sich bei 30-50% aller orthopädischen Patienten¹ radiologische Zeichen einer Gonarthrose nachweisbar (6). Eine Prävalenz klinisch relevanter Beschwerden, liegt im Erwachsenenalter, für das männliche Geschlecht bei ungefähr 10%, für das weibliche Geschlecht sogar bei 13% (3, 5, 7). In radiologischen Studien zeigt bereits die Bevölkerung über 45 Jahre, eine Prävalenz der Gonarthrose zwischen 19% bis 37% (7).

Neben der hinlänglich bekannten allgemeinen Ätiologie der Gonarthrose, sollen einige, Gonarthrose auslösende beziehungsweise die Progredienz beschleunigende Faktoren näher beleuchtet werden. Der Fokus liegt dabei vor allem auf Faktoren, die speziell Einfluss auf die Entwicklung einer monokompartimentellen Gonarthrose haben.

Als unumstrittene Risikofaktoren gelten Adipositas bedingte Überlastung (8, 9) sowie eine ligamentäre Instabilität im Kniegelenk, vor allem bedingt durch

¹ Das in dieser Arbeit, zu Gunsten des Leseflusses, verwendete, generische Maskulinum, soll in gleichem Maße andere Geschlechtsidentitäten einschließen.

Verletzungen der Kreuzbänder (10-12). Eine Bandinstabilität bei Verlust eines Kreuzbandes, lässt eine deutlich umfangreichere vordere beziehungsweise hintere Translationsbewegung in der sagittalen Ebene zu (13, 14). Die zusätzlich entstehenden Scherkräfte verursachen einen vermehrten Knorpelschaden (15, 16). Eine Meniskusresektion führt mit einer *Odds-Ratio* von 14,0, langfristig ebenfalls zu einem deutlich erhöhten Risiko eine Gonarthrose zu entwickeln (17). Durch den Verlust eines Meniskus wird die Kraft übertragende Gelenkfläche reduziert, was zu einer relativen Mehrbelastung und konsekutivem Knorpelschaden führt (18, 19). Nach Fraktur des Tibiaplateaus zeigt sich eine posttraumatische Gonarthrose mit einer Prävalenz von 26,4% bei einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitpunkt von 20 Monaten (20). Ebenso erhöht sich das Risiko eine schwere Gonarthrose zu entwickeln bei einer posttraumatisch bedingten Achsabweichung in der Horizontalen (21). Kongenitale Varus- und Valgus-Fehlstellungen erhöhen einerseits *per se* das Risiko eine Gonarthrose zu entwickeln (22, 23), andererseits erhöht sich durch Achsfehlstellungen in der Frontalebene das Risiko des Fortschreitens einer bestehenden Gonarthrose erheblich (24). Biomechanisch liegt hier eine punktuelle Mehrbelastung auf Grund der Achsdeformität zugrunde (25-27). Ob dabei eine Varus- oder Valgus-Fehlstellung besteht, hat ähnlichen Einfluss auf die Progression (*Odds-Ratio* Valgus: 4,89 *versus* Varus: 4,09). Eine Varus-Fehlstellung kann durch bestimmte Verhaltensmuster, zum Beispiel „*high-impact-sport*“ im Jugendalter noch begünstigt werden (28).

Der Einfluss einer Achsabweichung auf den Gelenksknorpel und damit die Arthroseprogredienz, konnte mittels Magnetresonanztomographie (MRT)-Untersuchungen bestätigt werden. Im Vergleich zu einer neutralen Beinachse, zeigte sich nach zwei Jahren eine verminderte Knorpeldicke des entsprechend mehrbelasteten Kniegelenkkompartiments, das heißt des lateralen Kompartiments bei einer Valgus- und des medialen Kompartiments bei einer Varus-Fehlstellung (29).

1.1.2 Stadien der Gonarthrose

Der Arthrosegrad bzw. das Ausmaß der Knorpelläsionen kann arthroskopisch oder röntgenologisch bestimmt und graduiert werden. Eine Dar- und Gegenüberstellung der einzelnen Stadien aufgeteilt nach radiologischen und arthroskopischen Klassifikationen zeigt **Tabelle 1.1**.

Tabelle 1.1: Gebräuchliche Klassifikationen der Gonarthrose nach radiologischer und arthroskopischer Einteilung. Übersicht angelehnt an Herbst (30).

Stadium	Radiologische Einteilung		Arthroskopische Einteilung	
	Kellgren und Lawrence (31)	Jäger und Wirth (32)	Outerbridge-Klassifikation (33)	ICRS (34)
0	normale Knorpelverhältnisse	normale Knorpelverhältnisse	normale Knorpelverhältnisse	normale Knorpelverhältnisse
1a	- geringe subchondrale Sklerosierung	angedeutete Ausziehung der <i>Eminentia intercondylaris</i>	Knorpelgewebe mit Aufweichungen und Schwellungen	- Aufweichungen
1b	- keine Osteophyten - keine Gelenkspaltverschmälerung			- Vertiefungen oberflächliche Fissuren und Risse
2	- geringe Gelenkspaltverschmälerung - beginnende Osteophytenbildung - angedeutete Unregelmäßigkeit der Gelenkfläche	- Ausziehungen der Tibia - leichte Verschmälerung des Gelenkspaltes - beginnende Entrundung der Femurkondylen	Fragmentation und Fissuren im Durchmesser <0,5Inch (≈1,3cm)	Läsionstiefe <50% der Knorpeltiefe
3a	- ausgeprägte Osteophytenbildung	- Verschmälerung des Gelenkspaltes auf die Hälfte	Fragmentation und Fissuren im Durchmesser >0,5Inch (≈1,3cm)	Läsionstiefe >50% der Knorpeltiefe
3b	- Gelenkspaltverschmälerung	- osteophytäre Randwülste an Tibiakonsolen		Läsionstiefe erreicht kalzifizierte Schicht
3c	- deutliche Unregelmäßigkeit der Gelenkfläche	- deutliche Entrundung der Femurkondylen		Läsionstiefe erreicht subchondrale Platte
3d				Delaminierung
4	- ausgeprägte Gelenkspaltverschmälerung bis zur vollständigen Destruktion - Deformierung/ Nekrose der Gelenkpartner	- Gelenkdestruktion - deutliche Gelenkspaltverschmälerung - zystische Veränderungen an Femur - Tibia und/oder Patella	Knorpelerosionen bis ins Knochengewebe	Durchbruch der subchondralen Platte

Die Outerbridge-Klassifikation aus dem Jahr 1961 stellt die Grundlage für die arthroskopische Einteilung dar (33). Die Outerbridge-Klassifikation wurde 2003 von der International Cartilage Repair Society (ICRS) weiterentwickelt. Hieraus wurde eine spezifizierte Version mit Subklassen publiziert (34). Die 1957 von Kellgren und Lawrence publizierte Klassifikation zur radiologischen Einteilung wird bis heute angewendet (31). Die in **Abbildung 1.1** schematisch dargestellte, radiologische Einteilung nach Jäger und Wirth, gilt ebenfalls als etabliert und findet häufig Anwendung (32). **Abbildung 1.1** zeigt die Entwicklung der einzelnen Stadien der Gonarthrose anhand der pathognomonischen, radiologischen Kennzeichen. In Stadium 1 zeigt sich pathognomonisch eine Ausziehung der *Eminentia intercondylaris*. Ab Stadium 2 beginnen zunehmend deformierende Knochen An- und Umbauten. Definierend für Stadium 3 ist die Entrundung der Gelenkkörper und die Gelenkspaltverschmälerung. Stadium 4 entspricht einer Gelenkdestruktion. Für jedes Stadium pathognomonische Deformierungen sind dunkelgrau gekennzeichnet. Subchondrale Zysten sind als weiße Blasen dargestellt.

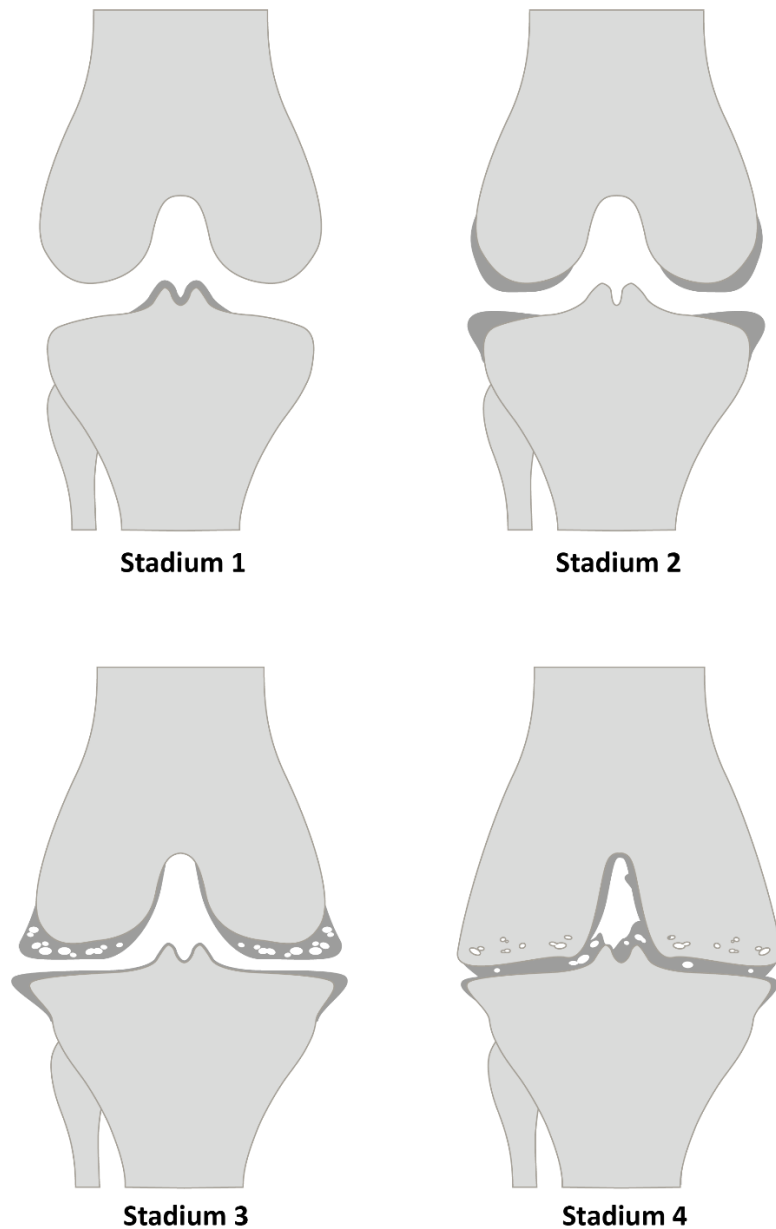


Abbildung 1.1: Schemazeichnung. Röntgenologische Stadieneinteilung der Gonarthrose nach Jäger und Wirth (32). Abbildung angelehnt an Imhoff (2) und Herbst (30).

1.2 Entwicklung der kniegelenksnahen Korrekturosteotomien bis zur heutigen „double level Osteotomie“

Erste Berichte über die Durchführung einer Osteotomie („*tome*“ aus dem griechischen für *Schnitt*) stammen von John Rhea Barton aus Philadelphia (1794-1871). Dieser führte vor den Augen der Öffentlichkeit, 1822 eine proximale Femurosteotomie durch (35). Die ersten Beschreibungen von offenen Osteotomien stammen von Langenbeck aus der Zeit um 1850. Allerdings hatten diese Verfahren oftmals unbeherrschbare Infektionen zur Folge (36, 37). Erste Versuche die Osteotomietechnik zur Behandlung von Arthrose einzusetzen, wurden sind im 20. Jahrhundert dokumentiert. Im Sinne einer modernen Indikation zur kniegelenksnahen Osteotomie, wurde erstmals eine distale Femurosteotomie zur Behandlung eines valgischen Knies mit isolierter Arthrose des lateralen Kniegelenkskompartiments von Brittain angewendet und beschrieben (38). Die erste dokumentierte hohe Tibiaumstellungsosteotomie wurde von Wardle im Jahr 1941 durchgeführt (38-41). Als Indikation bestand ebenfalls ein valgisches Kniegelenk mit lateral betonter Arthrose. Osteoklasien („*klasis*“ aus dem griechischen für *Bruch*) konnten sich aufgrund der unkontrollierten Bruchformen letztlich nicht gegen die Osteotomie durchsetzen, welche sich, gerade zur Korrektur von Beinachsfehlstellungen, bis heute stetig weiterentwickelt.

Kniegelenksnahe Korrektur- beziehungsweise Umstellungsosteotomien kommen bei der Behandlung unikompartimenteller Gonarthrose und ursächlicher Beinachsfehlstellung, zur Anwendung. Hierbei können angeborene Achsfehlstellungen, posttraumatische Achsfehlstellungen und unikompartimentelle oder fokale osteochondrale Defekte adressiert werden. Eine Korrektur kann in jeder Raumachse vorgenommen werden. In frontaler Ebene: valgisierend/varisieren, in sagittaler Ebene: extendierend/flektierend, und in transversaler Ebene: rotierend/derotierend. In der Frontal- und Sagittalebene ist das Wirkprinzip einer Achskorrektur, eine Verschiebung der Traglinie in Richtung

des gesunden Kompartiments. Dadurch soll eine klinisch-funktionelle Verbesserung und Schmerzreduktion erreicht werden (5).

Nach Möglichkeit sollte die Osteotomie an den Metaphysen langer Röhrenknochen erfolgen. Nach Durchtrennung werden die Knochen neu ausgerichtet und osteosynthetisch versorgt, sodass die Fragmente in neuer Position fixiert sind und zusammenwachsen können. Dabei sollte die Korrektur nach Möglichkeit am Ort der Deformität erfolgen (2). Eine Achskorrektur mit einer bestimmten Zielrichtung, kann technisch immer über zwei Ansätze erreicht werden. Im Fall einer Korrektur der Frontal- oder Sagittalebene, mittels eines additiven (aufklappenden) oder eines subtraktiven (zuklappenden) Ansatzes (2). Die meisten kniegelenksnahen Umstellungsosteotomien betreffen und korrigieren primär Achsabweichungen in der Frontalebene. Jedoch sollte der Knochenschnitt stets so gesetzt werden, dass eine biplanare Korrektur (Frontal- und Sagittalebene) möglich ist und im Ergebnis ein horizontaler Gelenkspalt entsteht. In Abhängigkeit des patientenindividuellen Ausgangsbefundes und der Meinung des Operateurs, kann gezielt eine leichte Überkorrektur angestrebt werden, wodurch das betroffene Kompartiment noch stärker entlastet wird.

Für die kniegelenksnahe valgisierende Umstellungsosteotomie kommt heutzutage vorwiegend die *medial open wedge high tibial osteotomy* (MOWHTO) zur Anwendung (42). Der mediale Zugangsweg und aufklappende Ansatz bieten einige Vorteile gegenüber dem lateralen Zugangsweg und einer zuklappenden Tibiakopfumstellungsosteotomie (*lateral closed wedge high tibial osteotomy*: LCWHTO) (42, 43). Ausschlaggebend sind ein reduziertes Risiko für ein Kompartimentsyndroms und einer Schädigung des *Nervus peroneus*. Der mediale Zugangsweg verursacht außerdem einen geringeren Weichteil- und Muskelgewebeschadens. Da bei der MOWHTO die Länge der lateralen Tibiakortikalis nicht verändert wird, ist auch eine zweite Osteotomie der Fibula häufig. In bestimmten Fällen hat die LCWHTO weiterhin ihre Daseinsberechtigung und kommt vereinzelt zur Anwendung (42). Tendenziell geht die LCWHTO eher mit einer Beinlängenverkürzung einher. Dieser Effekt muss bei der Osteotomieplanung mitbedacht werden, und kann in Abhängigkeit

der Gegenseite und Bandsituation (Hyper- oder Hypomobilität), einen Vorteil gegenüber dem öffnenden Ansatz darstellen (44, 45).

Liegt die Deformität in der Frontalebene, im Bereich des distalen Femurs, in der Nähe der Metaphyse, ist eine distale Femurosteotomie (DFO) indiziert (46). Die DFO wird im Gegensatz zur hohen Tibiakopfosteotomie (HTO), häufiger mit lateralem Zugangsweg und zuklappendem Ansatz operiert, da für dieses Vorgehen eine geringere Rate an Knochenheilungsstörungen beschrieben ist (42).

Das Korrekturausmaß einer *single-level* Osteotomie (SLO; wie z. B. HTO oder DFO) ist durch mehrere Faktoren begrenzt. Zum einen steigt mit dem Korrekturausmaß auch die Spannung auf umliegende Weichteile und Binnenstrukturen des Gelenks. Zum andern kann aus großen Korrekturwinkeln eine Schiefe der Gelenklinie resultieren, was seinerseits vor allem die Scherbelastungen erhöht (47-49). Letztlich liegt in den meisten Fällen großer Varus- oder Valgus-Deformität meistens eine kombinierte Deformität aus distalem Femur und proximaler Tibia vor (47). In diesen Fällen sollte eine Doppelosteotomie, bestehend aus kniegelenksnahen Osteotomien beider Gelenkspartner, durchgeführt werden (42).

Bereits seit den 1960er bis 1980er Jahre gibt es erste Ergebnisberichte von *double-level* Osteotomien (DLO) am Kniegelenk (50-56). Diese Studien unterscheiden sich allerdings in vielen relevanten Punkten grundlegend voneinander sowie von heutigen Standards und bieten daher keine ausreichende Datengrundlage für Behandlungsentscheidungen.

Benjamin *et al.* berichtete 1969 erstmals positive Ergebnisse nach Doppelosteotomien am Knie (52). Das operative Vorgehen sowie die Indikation zur Operation weichen deutlich von heutigen Prozeduren und Indikationen ab. So fand bei Benjamin *et al.* die femorale Osteotomie intraartikulär, am spongiösen Knochen statt. Neben osteoarthritischen wurden auch rheumatoide Patienten mit schmerzdem Knie, der Doppelosteotomie unterzogen. Die heterogenen aber insgesamt positiven Ergebnisse konnten vom Autor nicht abschließend erklärt werden. Es wurden auch Erklärungsversuche diskutiert, die nicht auf die Mechanik zurückgeführt wurden wie zum Beispiel der venöse Druck

oder ein Rückgang der Synovialitis (53). Immer wieder wurde der Vorteil einer DLO im Vergleich zu einer HTO in Frage gestellt (50, 54). Iveson *et al.* kamen zu dem Fazit, dass die DLO im Vergleich zu einer HTO, eine höhere Komplikationsraten bei schlechteren Ergebnissen liefere (54). Unberücksichtigt in der Diskussion blieb dabei die Deformitätenanalyse und der Grund der Indikationsstellung zur Osteotomie. So wurden ebenfalls osteoarthritische und rheumatoide Patienten eingeschlossen und in der Gruppe der Doppelosteotomien lag eine durchschnittlich 8° größere Deformität vor (54). Ebenso berichteten Schüller *et al.* von unbefriedigenden Ergebnissen 3-8 Jahre nach operativer DLO (57). Eingeschlossen wurden Patienten mit rheumatoider Arthritis und seit mindestens einem Jahr bestehenden Kniegelenksschmerzen, die keine relevante Besserung bei konservativer Therapie zeigten. Eine Deformitätenanalyse fand ebenfalls nicht statt. Klinische Vorteile, die die DLO gegenüber der HTO besitzt, wurden zu diesem Zeitpunkt weder erkannt noch akzeptiert (58).

Eine präzise und reproduzierbare, präoperative (präOP) Planung einer Osteotomie ist zum einen wichtig für die Indikationsstellung und Entscheidung welches Verfahren angewendet werden soll, zum anderen Grundlage für die gewünschte chirurgische Genauigkeit. In der Literatur sind sehr unterschiedliche Ansätze zur Planung publiziert. Benzakour *et al.* planten nach der Regel 1 Millimeter entspricht 1° Korrektur sowohl bei *open wedge* als auch bei *closed wedge* Osteotomien (59). Die Öffnungshöhe ergibt dabei in Abhängigkeit von der Breite des Tibiaplateaus unterschiedliche Öffnungswinkel. Diese Methode ist hinreichend als unpräzise bekannt (60). In der Vergangenheit wurden oft analoge, zeichnerische Methoden zur Deformitätenanalyse und Osteotomieplanung benutzt. Mehrere Methoden sind beschrieben (61, 62). Gemeinsame Schwächen dieser Methoden sind neben dem zeichnerischen Aufwand und den zunehmend flächendeckend eingesetzten digitalen Röntgenanlagen mit *Picture Archiving Communication System* (PACS) – was die praktische Umsetzung erschwert – die unzureichende Genauigkeit (63). Letztlich setzte sich die Deformitätenanalyse und Osteotomieplanung mittels digitaler Planungssoftware, basierend auf anatomischen Landmarken, durch. Neben

anderen konnte für die landmarkenbasierte Planungssoftware mediCAD® (Hectec, Landshut, Deutschland) eine hohe inter- und intrarater Reliabilität, eine geringe Fehleranfälligkeit sowie eine hohe Präzision nachgewiesen werden (64).

1.3 Wissenschaftlicher Hintergrund und Bedeutung der Gonarthrose

Posttraumatisch und vor allem degenerativ bedingte Gonarthrose ist in unserer stetig alternden Gesellschaft ein zunehmendes Krankheitsbild. Seit 160 Jahren steigt die weltweite Lebenserwartung pro zehn Jahre um 2,3 Jahre an (65). Gleichzeitig steigt auch der Mobilitätsanspruch bis ins höhere Alter. Mit zunehmendem Lebensalter schreiten jedoch chronisch-progrediente Erkrankungen und degenerative Prozesse unweigerlich voran. Es kommt zu einer Knorpelreduktion und letztlich dem Knorpelverlust, der Gelenkflächen. Röntgenologisch korreliert damit eine Verschmälerung des Gelenkspaltes. Mit dem 60. Lebensjahr wird eine röntgenologische Prävalenz der Arthrose großer Gelenke von über 80%, allein auf das Kniegelenk bezogen von 30-50%, beschrieben (6). Damit einher, geht ebenfalls eine zunehmende sozioökonomische Bedeutung der degenerativen Gelenkserkrankungen. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) bezeichnete das vergangene Jahrzehnt (2000-2010) als „*Bone and Joint Decade*“. Ab dem Jahr 2020 wird erwartet, dass Arthrose zur vierthäufigsten Ursache einer Behinderung wird (66). Die Therapie der Gonarthrose unterteilt sich in einen konservativen und einen operativen Therapiezweig, wobei zum konservativen Therapiezweig auch Maßnahmen der primären und sekundären Prävention gezählt werden können. Das Spektrum der operativen Behandlung bietet weniger invasive, gelenkserhaltende Techniken sowie invasivere, gelenksersetzende Verfahren. Gelenkserhaltend kommen Arthroskopien, Knorpelersatzverfahren und Umstellungsosteotomien zum Einsatz. Teilweise oder vollständig gelenksersetzend werden unikondyläre Oberflächenersatzprothesen beziehungsweise Schlittenprothesen (UKP), Knie totalendoprothesen (KTP) und in seltenen Fällen Arthrodesen eingesetzt.

Am Anfang der Gonarthrose-Therapie sollten in den meisten Fällen konservative, nicht-operative und oder medikamentöse Behandlungsansätze stehen. Neben Kryotherapie, Ultraschall, Elektrostimulation und Orthesen kommt die Physiotherapie zum Einsatz. Durch die genannten Therapien lässt sich zu Beginn

der Erkrankung eine suffiziente Schmerzreduktion erreicht (67, 68). Häufig sind konservative Maßnahmen zum Zeitpunkt der Patientenvorstellung beim operativ tätigen Unfallchirurgen/Orthopäden jedoch bereits ausgeschöpft. Daher kommt oft eine operative Therapie mittels totalem Kniegelenkrsatz zur Anwendung. Die Haltbarkeit der endoprothetischen Systeme ist jedoch begrenzt. Dennoch führen eine relativ unkritische Indikationsstellung nahezu unabhängig vom Patientenalter, sowie eine verhältnismäßig attraktive Vergütung in den meisten Gesundheitssystemen zu hohen Implantationszahlen. Im Zeitraum zwischen 2005 und 2030 wird in den Vereinigten Staaten von Amerika mit einem Anstieg der Implantationsrate auf 673%, gerechnet (69). Für denselben Zeitraum wird ein Anstieg um 601% von Revisionseingriffen nach Kniegelenksendoprothesen prognostiziert (69). Studien zeigen eine Diskrepanz zwischen den Erwartungen der Patienten und dem Behandlungserfolg durch eine KTP. Patienten unter 65 Jahre erwarteten in 85% völlige Schmerzf়reiheit zu erreichen, was jedoch nur in 43% erreicht wurde (70). Im Jahr 2010 mussten in den USA 55.000 Revisionseingriffe, davon 48% bei unter 65-Jährigen durchgeführt werden (71). Revisionseingriffe sind dabei mit hohen Komplikationsraten und einhergehenden Folgekosten assoziiert (72). Dies führt zu einer außerordentlichen Belastung für den Patienten und gleichzeitig hohen Kosten für das Gesundheitssystem (43, 73). Alternative operative Behandlungsmöglichkeiten der Gonarthrose sind erforderlich und werden in den folgenden Abschnitten dargestellt. Sogar auf ökonomischer Seite gibt es Alternativen zur KTP. Eine Studie in den USA hinsichtlich Kosteneffizienz für Patienten zwischen 50-60 Jahren, zeigt die HTO als sehr kosteneffektive Methode zur Behandlung der unikompartimentellen Gonarthrose gegenüber der KTP und der Schlittenprothese (74).

Das in dieser Forschungsarbeit untersuchte operative Verfahren der *double-level* Osteotomie kommt ausschließlich bei monokompartimenteller Gonarthrose zur Anwendung und soll im Folgenden näher beleuchtet werden.

Sie stellt einen operativen, gelenkserhaltenden Therapieansatz dar und ist prinzipiell dann indiziert, wenn konservative Behandlungsmaßnahmen ausgeschöpft sind und weiterhin ein hoher Leidensdruck für die Patienten

besteht (75). Im Einzelfall gilt neben der Operabilität des Patienten auch zu prüfen, ob eine, durch das operative Verfahren angestrebte Funktionsverbesserung und Schmerzreduktion, realistisch erscheint. In Fällen von höhergradigen Knorpelschäden des betroffenen Kniegelenkskompartiments oder bereits relevanten Knorpelschäden des kontralateralen Kompartiments sowie bei Verlust eines Meniskus, ist eine kniegelenksnahe Umstellungsosteotomie nicht mehr angezeigt (76).

Die genaue Beschreibung der Operationstechnik, sowie der postoperativen (postOP) Rehabilitation, welche bei den Patienten dieses Forschungsvorhabens angewendet wurde, ist dem **Abschnitt 2. Material und Methoden** zu entnehmen.

1.3.1 Stufenbehandlungskonzept der monokompartimentellen Gonarthrose

Die Therapiestrategie der monokompartimentellen Gonarthrose stellt ein Stufenkonzept dar. Das Stufenbehandlungskonzept der Gonarthrose beginnt mit der primären Prävention, über die konservativen Maßnahmen und einer sekundären Prävention, zur Vermeidung der Arthroseprogredienz, bis zu den operativen Therapiemaßnahmen. Hierbei sind operative Verfahren – die speziell bei monokompartimentellen Läsionen indiziert sind – als Alternativen oder Vorstufen zur Knie totalendoprothese inkludiert. Es handelt sich um die unikondyläre Oberflächenersatzprothese und die kniegelenksnahe Umstellungsosteotomien (42). Im Jahr 2008 erfolgte eine bundesweite Erhebung in orthopädischen und unfallchirurgischen Kliniken, aller operativer Eingriffe mit der Diagnose „unikompartimentelle Gonarthrose“ bei 30-60-jährigen Patienten. Demnach wurde in 38.376 Fällen die Kniegelenksarthroskopie, in 28.824 Fällen eine KTP-Implantation, in 4.040 Fällen die UKP-Implantation und in 4.649 Fällen eine kniegelenksnahe Osteotomie durchgeführt (77). Wenngleich die Zahl an durchgeführten Osteotomien relativ gering erscheint, zeigt sich im Zeitraum

2002-2008, für das Verfahren ein Anstieg von 17,1 Osteotomien pro Klinik und Jahr auf 23,5 Osteotomien pro Klinik und Jahr (78).

Generell sollten alle therapierbaren Veränderungen, zur Vermeidung beziehungsweise Verzögerung von Knorpelschäden im Kniegelenk, angegangen werden. Die Bandstabilität kann mittels Ersatzplastik bis ins fortgeschrittene Lebensalter wieder hergestellt werden. Anstelle einer Meniskustotalresektion kann dieser deutlich sparsamer und nur partiell reseziert werden, um die Kraft übertragende Gelenkfläche möglichst groß zu erhalten. Eine Varus-Fehlstellung mit medialer unikompartimenteller Gonarthrose sollte beim jungen sowie beim älteren, aber aktiven Patienten, mittels achskorrigierender Osteotomie behandelt werden.

Die valgisierende Tibiakopfumstellungsosteotomie ist ein gelenkerhaltendes und mittlerweile etabliertes Verfahren, wodurch sich eine varische Beinachse mit knöcherner Deformität der proximalen Tibia korrigieren lässt. Ziel ist unter anderem, dass hierdurch endoprothetischer Kniegelenkseratz verzögert oder verhindert wird (79). Kurz- bis mittelfristig werden mittels HTO vergleichbare funktionelle und klinische Ergebnisse zur Schlittenprothese und KTP erreicht (25, 80, 81). Sowohl HTO als auch UKP erhalten die Möglichkeit einer konsekutiven KTP-Implantation (Stufenbehandlungskonzept der monokompartimentellen Gonarthrose).

Im klinischen Alltag entspricht diese Entscheidung, welches Verfahren dem jeweiligen Patienten empfohlen wird, oft einer Philosophie oder auch der lokalen Möglichkeiten und Gegebenheiten. So ist nicht selten die Entscheidung des unwissenden Patienten, sich entweder bei einem Sporttraumatologen oder Endoprothetiker vorzustellen, entscheidend welche Therapie eingeleitet wird. Hierbei sollte im Fall der monokompartimentellen Gonarthrose die Kniegelenksnahe Umstellungsosteotomie nicht in Konkurrenz zu einem unikompartimentellen Oberflächenersatz stehen, sondern vielmehr beide Verfahren anhand der individuellen Ausgangssituation der Patienten ausgewählt werden. Wenngleich oft eine ähnliche Ausgangssituation besteht und prinzipiell eine Indikation für beide Verfahren, sollte doch im Einzelfall hinsichtlich Vor- und Nachteile beider Verfahren entschieden werden. Dies gilt ebenfalls für die KTP,

wobei dieses Verfahren gleichzeitig die nächste Eskalationsstufe im Behandlungskonzept darstellen kann. Ein gelenkserhaltender oder mindestens teilweise erhaltender Therapieansatz, bedeutet im Umkehrschluss auch, dass die Gonarthrose weiterhin besteht und über den Zeitverlauf erneut klinisch apparent werden kann. Von einer Arthroseprogredienz muss ganz physiologisch schon mit zunehmendem Alter ausgegangen werden, wenn auch im Fall einer Achskorrektur, bei (mit-)ursächlicher Deformität, deutlich verlangsamt.

An dieser Stelle soll die bestehende Literatur zu diesem Thema – Vergleich kniegelenksnaher Umstellungsosteotomien *versus* unikondyläre Oberflächenerstazprothese – kurz diskutiert werden, da diese Kenntnisse Grundvoraussetzung sind, um eine allumfassende Therapieempfehlung für die Patienten aussprechen zu können. Als Einschränkung in Hinblick auf Vergleiche zu dieser Forschungsarbeit, gilt zu erwähnen, dass die meisten Forschungsarbeiten eine HTO mit einer UKP vergleichen und Ergebnisse bezogen auf eine DLO nur extrapoliert werden können.

Ein optimales klinisch-funktionelles Ergebnis setzt eine korrekte Indikationsstellung eines Behandlungsverfahrens voraus. Im ersten Moment erscheint die Ausgangssituation der Patienten für eine kniegelenksnahe Umstellungsosteotomie oder einen unikondylären Oberflächenersatz recht ähnlich. Meistens liegt eine monokompartimentelle Gonarthrose und eine Achsabweichung in der Frontalebene vor. Bei genauerer Betrachtung und durchgeführter Deformitätenanalyse lässt sich aber zwischen einer Deformität im methaphysären Bereich, welche oft konstitutionell bedingt oder posttraumatisch entstanden ist und einer intraartikulären Deformität unterscheiden. Letztere hat oftmals gar keine knöcherne Deformität als Ursache, sondern entsteht sekundär durch Abnutzung des Gelenkknorpels oder Meniskus. Hierbei führt im Beispiel der monokompartimentellen medialen Gonarthrose ein Aufbrauchen des medialen Gelenkknorpels oder Verlust des medialen Meniskus zu einer sekundären Varus-Fehlstellung im Kniegelenk, durch Annähern der medialen Femurkondyle und des medialen Tibiaplateaus. In der Deformitätenanalyse ergeben sich in diesem Fall oft normwertige Kniegelenkwinkel für den mechanischen lateralen distalen Femurwinkel (mLDFA) und den mechanischen

medialen proximalen Tibiawinkel (mMPTA), wobei der Gelenkslinienkonvergenzwinkel (JLCA) deutlich abweicht. Umgekehrt ergeben sich für knöcherne Deformitäten in der Metaphyse, pathologische Winkel für mL DFA beziehungsweise mMPTA, wobei sich der JLCA oft relativ kompensiert zeigt. In beiden Fällen kann die mechanische Beinachse (mTFA), jedoch eine deutliche Varusfehlstellung ergeben. Hieraus ergeben sich auch die individuellen Indikationen für eine kniegelenksnahe Osteotomie oder einen unikondylären Oberflächenersatz. Mittels Umstellungsosteotomie können Deformitäten der Metaphyse hervorragend adressiert werden, während intraartikuläre Deformitäten nicht oder nur sehr begrenzt korrigiert werden können. Dafür bietet beispielsweise die hohe medial öffnende Tibiakopfumstellungsosteotomie die Möglichkeit der Korrektur in mehreren Ebenen. So kann eine zusätzlich bestehende Insuffizienz der Kreuzbänder durch eine gezielte Korrektur des Tibialslopes adressiert werden (82). Der unikondyläre Oberflächenersatz eignet sich hervorragend um redressierbare, intraartikuläre Deformitäten auszugleichen. Der unikompartimentelle Höhenverlust kann hervorragend ausgeglichen und somit auch die Spannung des korrespondierenden Kollateralbands wieder hergestellt werden. In der Praxis zeigt sich jedoch oft eine nicht ganz eindeutige Situation mit Argumenten für beide Verfahren. Hier müssen dann weitere Patientenfaktoren aber auch Erwartungswerte und perioperative Aspekte der einzelnen Verfahren, wie Rehabilitationszeitraum und Entlastungsvorgaben, verstärkt mitberücksichtigt werden (46).

Vergleichende Meta-Analysen und Übersichtsarbeiten zu diesem Thema (Kniegelenksnahe Umstellungsosteotomien vs. unikondylärer Oberflächenersatz), zeigen, dass keine grundsätzliche Überlegenheit des einen Verfahrens gegenüber dem anderen besteht (83-86). Jedoch liegen bislang keine randomisierten Kontrollstudien (RCTs) zu diesem Thema vor. Ein Vergleich der 5- und 10-Jahres Überlebensraten beider Verfahren ergibt leicht höhere Überlebensraten für die UKP von 85-95% gegenüber 85% für die HTO allerdings ohne statistische Signifikanz (83). Langfristige Ergebnisse nach 20 Jahren hinsichtlich Überlebensraten und dem Bewegungsumfang (ROM) von HTO und UKP wurden in der retrospektiven Arbeit von Song *et al.* dargestellt. In den ersten

zwölf Jahren zeigte sich eine höhere Überlebensrate für die HTO, in den nachfolgenden acht Jahren für die Schlittenprothese. Die HTO ermöglicht im finalen Follow-up eine durchschnittliche ROM von 135,3° während die Schlittenprothese nur eine etwas geringeres Bewegungsausmaß von 126,8° ermöglicht (80).

Auf Grund einer stetigen Progredienz der Arthrose im zeitlichen Verlauf, müssen auch die Therapieverfahren im Verlauf eskaliert werden. Im Fall eines gelenkerhaltenden (kniegelenksnahe Umstellungsosteotomien) oder partiell gelenkerhaltenden Verfahren (UKP), kann somit im Verlauf ein vollständig Gelenk ersetzendes Verfahren (KTP) notwendig werden. Somit müssen neben den primären Überlebensraten, der Verfahren, auch die Ergebnisse nach sekundärer KTP berücksichtigt werden. Dabei zeigen sich für die HTO signifikant bessere Ergebnisse, mit weniger Revisionseingriffen und einer höheren 5-Jahres Überlebensrate (87, 88). Im Vergleich zur primären KTP ist die Überlebensrate (Endpunkt Revision) einer sekundär implantierten KTP nach *open wedge* HTO vergleichbar. Demgegenüber wird ein 2,8-fache höheres Risiko für einen Revisionseingriff nach sekundär implantierter Schlittenprothese beschrieben (89).

Hinsichtlich der klinisch-funktionellen Ergebnisse beider Verfahren (HTO vs. UKP), zeigt die UKP in den ersten sechs Monaten eine signifikante Überlegenheit, die sich bis zwölf Monate postoperativ angleicht, wobei ab diesem Zeitpunkt kein statistisch signifikanter Unterschied mehr besteht (90). Demgegenüber erreicht die HTO bessere postoperative Korrekturergebnisse, präoperativ bestehender Achsdeformitäten (90).

Eine generelle Überlegenheit für ein Verfahren besteht nicht. Somit auch keine generelle Empfehlung, wobei die kniegelenksnahen Umstellungen eher für jüngere Patienten mit hohem Aktivitätsniveau empfohlen werden (90, 91). Die UKP hingegen ist bedingt durch eine kürzere postoperative Rehabilitationszeit und eine schnellere funktionelle Erholung, tendenziell eher für ältere Patienten geeignet (91).

Jedoch werden auch diese Aspekte zunehmend liberaler betrachtet und weniger streng als Kontraindikation gesehen. In Japan werden kniegelenksnahe

Umstellungsosteotomien bis in ein sehr fortgeschrittenes Alter angewendet, wobei hier gezeigt werden konnte, dass kein signifikanter Unterschied im *Outcome* gegenüber einem jungen Kollektiv besteht (92). Auch die UKP wird zunehmend eine längere Überlebenszeit, bei prinzipiell richtiger Indikationsstellung ohne Überlastung auf Grund extraartikulärer Deformität, zugeschrieben (46).

Nicht zuletzt aufgrund noch ausstehender evidenter Langzeitergebnisse nach kniegelenksnahen Umstellungsosteotomien, ist die Entscheidung für ein Behandlungsverfahren bis *dato* nicht abschließend geklärt (93).

1.3.2 Limitationen der Tibiakopfumstellungsosteotomie und Problematik der *joint line obliquity*

In den letzten Jahren haben kniegelenksnahe Osteotomien vor allem in Europa und Asien eine regelrechte Renaissance erlebt (94). Kniegelenksnahe Osteotomien verlagern durch Veränderung der Beinachse die Gewichtslast vom erkrankten ins gesunde Kniegelenkskompartiment. Eine tierexperimentelle Arbeit zeigte bei Versuchen an Schafen, keine vermehrten Knorpelschäden im Kniegelenkskompartiment, durch welches die neue Tragachse verläuft (95). Gleichzeitig zeigten auch klinische und radiologische Untersuchungen keine vermehrten Knorpelschäden des Kompartiments, durch welches die neue Tragachse verläuft (43, 95, 96). Bei Varus-Fehlstellung und medialer Gonarthrose stellt die *open wedge* HTO das operative Standardverfahren dar und wird routinemäßig in immer mehr Krankenhäuser angewendet (47). Generell finden weiterhin unterschiedliche Operationstechniken (97-100) Anwendung. Zur Stabilisierung der Osteotomie, stehen diverse Implantate zur Verfügung (101-103).

Multiple Faktoren bedingen, welche Osteotomie im Einzelfall zur Anwendung komm, eine diesbezügliche Pauschalisierung ist nicht möglich. Die präoperative Deformitätenanalyse ist als Entscheidungsgrundlage obligatorisch. Neben dem anatomischen Ort und Ausmaß der Deformität muss der individuelle Patient als

solcher mitbetrachtet werden (42). Bei monokompartimenteller Gonarthrose, in Verbindung mit einer Varusfehlstellung, wurde die in der Vergangenheit hauptsächlich angewandte LCWHTO, durch die MOWHTO überwiegend abgelöst (45). Die technischen Grundlagen der Konsensänderung über den zeitlichen Verlauf, wurden bereits im **Abschnitt 1.2 Entwicklung der kniegelenksnahen Korrektur-osteotomien bis zur heutigen „double level Osteotomie“**, diskutiert. Die *open wedge* HTO zeigte in einer retrospektiven Arbeit von Duivenvoorden *et al.* aus dem Jahr 2017 eine bessere Überlebensrate bei minimal erhöhter Inzidenz von unerwünschten Ereignissen (*adverse events*: AE) im Vergleich zur *closed wedge* Variante (104). Meistens geht mit der Entscheidung für eine Operationstechnik auch die Entscheidung für ein entsprechendes Implantat einher. Nach überwiegendem Konsens der Literatur zu diesem Thema, scheint ein Implantat vorteilhaft, das eine Winkelstabilität aufweist und damit unter anderem das Einbringen eines Knochenkeils hinfällig macht (45, 105). Zugleich wurden hohe Komplikationsraten von nicht-winkelstabilen Implantaten dargestellt werden (105, 106). Zur Stabilisierung der Tibiakopfosteotomie wird jüngst oft die Nutzung der winkelstabilen TomoFix™-Platte (DePuySynthes, Solothurn, Schweiz) empfohlen (45, 105, 106). Biomechanische Untersuchungen zeigen, dass mit besagtem Implantat eine hohe Stabilität der Osteotomie erreicht wird (43, 102). Neben genannten Faktoren ist der Erfolg einer MOWHTO abhängig von einer präoperativen Deformitätenanalyse mit konsekutiver Operationsplanung. Unter Verwendung einer digitalen Planungssoftware wird eine hohe Präzision erreicht (64). Gleichzeitig, während der HTO angewendete Verfahren zur Knorpelbehandlung haben, nachweislich einen kleinen positiven Effekt (107).

In der Vergangenheit kamen Kniegelenksnahe Umstellungsosteotomien oft relativ unabhängig von den einzelnen Gelenkwinkeln (v.a. mLDFA, mMPTA und Schräge der Gelenklinie (JLO), zur Anwendung (47). Das primäre Ziel bestand in der Beseitigung der Fehlstellung in der Frontalebene, d.h. der Normalisierung des mTFA. In vielen Fällen wurde sogar eine leichte Überkorrektur zur zusätzlichen Entlastung des betroffenen Kniegelenkskompartiments angestrebt (47). Das zur Anwendung kommende Verfahren und damit die

Korrekturstelle, wurden oft primär nach den Eigenschaften der Verfahren, wie perioperative Risiken, Nachbehandlungsschemata oder dem Umfang des Eingriffs, ausgewählt. Die einzelnen Gelenkwinkel spielten hierbei eine untergeordnete Rolle. Bei dieser Betrachtung steht die mechanische Kraftachse vom Hüftkopf durch das Sprungbein und die dabei übertragenen Kräfte auf das jeweils mediale bzw. laterale Kniegelenkskompartiment im Fokus. Bei genauerer Betrachtung der einzelnen Kniegelenkwinkel, zeigen sich hier jedoch postoperativ oft weiterhin Deformitäten, auch wenn die Mikulicz-Linie das Kniegelenk an gewünschter, zentraler Stelle schneidet. Zunehmend wird eine konsequente Analyse der Deformitäten inklusive der einzelnen Gelenkwinkel durchgeführt und der Lokalisation der Deformität wird mehr Aufmerksamkeit zuteil. Niemeyer *et al.* zeigten auf, dass Patienten mit einer präoperativen Deformität in der proximalen Tibia von 6° Varus, die besten klinischen Ergebnisse erreichten (108). Eine Erklärung könnte sein, dass unabhängig von der Technik (*closed wedge* oder *open wedge*) immer eine Veränderung der Tibiakopfform resultiert. Sofern präoperativ keine knöcherne Deformität im Tibiakopf bestand, entsteht an dieser Stelle durch die Korrekturosteotomie eine Deformität. Die Deformität in der Koronarebene wäre somit zwar korrigiert, jedoch bestehen weiterhin unphysiologische, einzelne Gelenkwinkel. Als Folge können trotz Entlastung des medialen Kompartiments, Scherkräfte zunehmen, die das klinische Ergebnis und den Erkrankungsverlauf negativ beeinflussen (48).

Darüber hinaus sind bei schweren Achsdeformitäten der unteren Extremität normalerweise Tibia und Femur betroffen. Eine *single-level* Osteotomie kann in diesen Fällen nur einen Gelenkkörper adressieren und postoperativ zu einer deutlichen Schräge der Kniegelenkslinie führen. Im Falle einer kombinierten Varus-Deformität (distales Femur und proximale Tibia) und Korrekturosteotomie mittels *single-level* Osteotomie, ist eine Überkorrektur im korrigierten Gelenkkörper, zur Kompensation der verbleibenden Deformität im korrespondierenden Gelenkkörper notwendig. Hierbei kann eine erhöhte JLO entstehen. Als Bezugsebene für die Schräge der Gelenkslinie, gilt dabei der Fußboden bzw. die Horizontale, bei einer *anterior-posterior* aufgenommenen

Ganzbeinstandaufnahme. Cooke *et al.* berichtet bereits 1989 das erste Mal von der Bedeutung der Gelenklinienneigung (109). 2017 konnten, mittels Finite-Elemente-Modell (FEM), die mechanischen Folgen einer Abweichung der Gelenkslinie aus der Horizontalen dargestellt werden. Nakayama *et al.* simulierten die Druckbelastung auf das Tibiaplateau mittels FEM, basierend auf kommerziell verfügbaren, digitalisierten, anatomischen Daten (48). Es wurde eine definierte Kraft von 1200 Newton (N) axial auf das Kniegelenk angewendet und die resultierende Druckbelastung und Verteilung auf dem Tibiaplateau in Abhängigkeit von Achsabweichung (Varus-Fehlstellung von 5°, 10°) sowie *joint line obliquity* (2,5°, 5°, 7,5° und 10°) gemessen. Eine neutrale Beinachse als Referenz wurde ebenfalls analysiert. Im Ergebnis zeigte sich, dass die axiale Druckbelastung auf das mediale Kompartiment, mit zunehmendem Varus ebenfalls zunimmt, während die axiale Druckbelastung auf das mediale Kompartiment bei zunehmender *joint line obliquity* nicht nennenswert gesteigert wird (48). Jedoch zeigte sich eine erhebliche Zunahme der Scherkräfte (oberflächlich auf dem Knorpelüberzug des Tibiaplateaus in Richtung *lateral*) bei zunehmender Schiefheit der Gelenkslinie. Eine *joint line obliquity* von 7,5° induzierte bereits eine mehr als 3-fache Belastung der Scherkräfte, für 10° konnte eine 4,5-fache Scherbelastung, verglichen zur neutralen Beinachse, festgestellt werden (48). In Zusammenschau mit den Berichten, dass durch Scherbelastung der Tod von Knorpelzellen induziert werden kann (110, 111), empfehlen die Autoren eine DLO in Fällen größerer Deformität. Sie empfehlen dabei eine DLO ab einem präoperativ, planerisch ermittelten mMPTA >95° (48). Diese Ergebnisse werden von Song *et al.* mit mittelfristigen klinischen und radiologischen Ergebnissen untermauert. Als radiologischer *Outcome*-Parameter wurde die Veränderung (wobei Verschmälerung als negativ gesehen wurde) der medialen Gelenkspaltweite in Relation zur Tibiaplateaubreite, über den Beobachtungszeitraum definiert. Es zeigte sich eine signifikante Verschmälerung ab einer *joint line obliquity* von ≥6°. Für die erfassten klinischen *Scores* konnte ein signifikanter, negativer Zusammenhang ab einer *joint line obliquity* von ≥4° nachgewiesen werden (112).

In der klinischen Praxis ist eine leichte Überkorrektur nach HTO, zu Gunsten guter klinischer Ergebnisse oft gewollt. Jedoch verstärkt sich dadurch die *joint line obliquity* in den meisten Fällen (49). Neben bereits beschriebenen Problemen, erhöht sich die Gefahr einer femoralen Subluxation unter axialer Vollbelastung und es kommt zu einer partiellen Überlastung der Kniegelenkkapsel (58, 109). Darüber hinaus erschwert die Schiefe der Gelenksebene eine eventuell nötige Implantation einer KTP zu einem späteren Zeitpunkt (49, 113-115).

Zunehmend öfter wird daher die valgisierende *double-level* Osteotomie, bestehend aus einer *open wedge* HTO und einer *closed wedge* DFO, bei Varusgonarthrose in Abhängigkeit von der präoperativen Deformitätenanalyse empfohlen (47, 49, 58).

Basierend auf diesen biomechanischen Grundlagen und daraus resultierenden Überlegungen, wurde die Technik der DLO weiterentwickelt. Das chirurgische Konzept der DLO ist die Wiederherstellung physiologischer Gelenkwinkel (mTFA, mL DFA, mMP TA, JLO), die Ausrichtung der Gelenkachsen zueinander und deren Orientierung im Raum. Grundlage hierfür war mit Beginn der 2000er, die zunehmende Beachtung einer präzisen präoperativen Deformitätenanalyse (116). Erste Studien von Babis *et al.* und Saragalgia *et al.* zeigen zufriedenstellende Ergebnisse nach DLO unter Berücksichtigung des beschriebenen Konzepts und Durchführung einer präoperativen Deformitätenanalyse (51, 55). Babis *et al.* berichtete über den Einsatz einer Planungssoftware (OASIS, Mayo Medical Ventures) zur Simulation der Doppelosteotomie und führte anschließend diese in der Technik femoral lateral *closed wedge* und lateral *closed wedge* HTO durch. Damit war eine hohe operative Präzision möglich. Bei der Indikationsstellung zur DLO wurde zum ersten Mal die postoperativ entstehende Schiefe der Gelenkslinie berücksichtigt. Die Indikation zur DLO wurde nur dann gestellt, wenn die Planung einer *single-level* Osteotomie unphysiologische Gelenkwinkel und eine starke Gelenkslinienneigung ergab. Die Ergebnisse zeigten nach 82,7 Monaten, dass von 27 Patienten nur in einem Fall eine KTP implantiert werden, musste (51). Die Überlebensrate der DLO (keine Konversion zur KTP) wäre damit vergleichbar bis

überlegen zu den meisten berichteten Langzeitergebnissen nach HTO (117) und DFO (118). Die Wiederherstellung normaler anatomischer Verhältnisse scheint ein vorausschauendes Konzept für Osteotomien zu sein, um deren Überlebensraten weiter zu verbessern (47). Überdies, wird zunehmend der Vorteil normaler anatomischer Knieverhältnisse im Falle einer sekundär nötigen KTP-Implantation diskutiert (47, 49). Eine Operationstechnik, wobei femoral eine laterale *closed wedge* Osteotomie und tibial eine mediale *open wedge* Osteotomie durchgeführt wird, erscheint vorteilhaft (49).

Mit Einführung der minimal-invasiven biplanaren Osteotomie wurde die Operationstechnik im letzten Jahrzehnt noch einmal weiterentwickelt. Speziell die Einführung der winkelstabilen *locking compression plate* (LCP) zur Fixation der Osteotomie zeigte sich als wichtiger Parameter (45, 119). Deren biomechanische Eigenschaften sind seither umfassend untersucht (120-122).

Aufgrund dieser Entwicklungen steht die DLO in Europa und Asien wieder zunehmend mehr im Fokus. Speziell in Deutschland und Japan steigt seit geraumer Zeit die Anzahl durchgeführter Doppelosteotomien kontinuierlich an (47).

Alves *et al.* veröffentlichte im Jahr 2022 eine systematische Metaanalyse, in welcher zwölf Studien zum Thema DLO aufgearbeitet wurden (**vgl. Tab. 1.2**). Hierbei zeigte sich bereits bei sieben ein Vorgehensalgorithmus, wobei eine DLO immer dann indiziert wurde, wenn eine simulierte HTO bestimmte Grenzwerte für die einzelnen Gelenkwinkel (mMPTA und mL DFA) oder eine bestimmte tibiale Keilhöhe überschritt. Über dies zeigt sich eine relative Konsistenz und Einheitlichkeit der operativen Prinzipien (medial öffnende HTO und lateral schließende DFO). Letztlich zeigen auch die angestrebten Zielwinkel eine relative Übereinstimmung mit einem postoperativen Zielwinkel für den mTFA von 0-4° (Valgus). Überwiegend kam dabei die TomoFix™-Platte als winkelstabiles Implantat zur Anwendung (123).

Tabelle 1.2: Indikationen mit Grenzwerten, Zielwerten und technischen Aspekten der DLO aus der systematischen Metaanalyse von Alves et al. aus dem Jahr 2022 (123).

Author and year	Criteria for DLO if simple HTO would result in:			Targets of DLO			Osteotomy technique			
	MPTA	LDFA	Wedge size	MPTA	LDFA	HKA	Femoral	Tibial	Fixation plate	Opening wedge filler
Akamatsu et al. 2021	> 95°	> 88°	> 15 mm	90°–95°	84°–87°	4°	LCW	MOW	Tomofix	β-TCP wedges
Akaoka et al. 2020	> 95°	> 90°	> 15 mm		85°	0°–2°	LCW	MOW	Tomofix	β-TCP wedges
Babis et al. 2002							LCW	MOW**	Blade plate	
Grasso et al. 2021	< 85°	> 90°					LCW	MOW		Femoral head wedge allograft
Hai et al. 2020	> 95°	> 90°		90°–94°	85°–89°	2°	LCW	MOW	Tomofix	Allograft/synthetic block
Iseki et al. 2021	> 95°		> 15 mm	90°	85°		LCW	MOW	Tomofix	β-TCP wedges
Nakayama et al. 2021	> 95°		> 15 mm				LCW	MOW**	Tomofix	β-TCP wedges
Nakayama et al. 2020				90°	85°	0.5°–1°	LCW	MOW	Tomofix	Autogenous bony pieces and chips
Rupp et al. 2022							LCW	MOW	Tomofix or PEEK–power	
Saragaglia et al. 2012				88°–92°		0°–4°	LCW	MOW	AO T–Plate or C–Plate	β-TCP wedges
Saragaglia et al. 2005						0°–4°	LCW	MOW	AO T–Plate	β-TCP wedges
Schröter et al. 2019	> 87°	> 90° [sic!]	***			0°–2°	LCW*	MOW**	Blade plate and Tomofix	

DLO double-level osteotomy, MPTA medial proximal tibial angle, LDFA lateral distal femoral angle, HKA hip-knee-ankle angle, LCW lateral closing-wedge, MOW medial opening-wedge, TCP tricalcium phosphate

*The authors reported that they performed closing-wedge femoral osteotomies, but did not specify whether they were lateral or medial; they were all assumed to be lateral closing-wedge osteotomies

**The authors reported that they performed opening-wedge tibial osteotomies, but did not specify whether they were lateral or medial; they were all assumed to be medial opening-wedge osteotomies

***Schröter et al. wurde an dieser Stelle falsch zitiert. Die Indikation zur DLO wurde bei einem simulierten mMPTA von >94° oder eine Kombination aus mLDFA >90° und gleichzeitigem mMPTA <87° gestellt (47).

Das Ziel der DLO bei varischen Deformitäten ist dabei neben der Verschiebung der Tragachse in Richtung lateralem Kniegelenkskompartiment, auch die Normalisierung der Gelenkwinkel (mTFA, mL DFA, mMPTA, JLCA und JLO) hin zu physiologischen Werten (51, 58, 124). Die Übersichtsarbeit von Alves *et al.* zeigt, dass fünf der zwölf untersuchten Studien bereits Zielgrenzwerte für die einzelnen Gelenkwinkel (mMPTA und mL DFA) definiert und angestrebt haben (*vgl. Tab. 1.2*) (123).

1.3.3 Überlebensraten der kniegelenksnahen Osteotomien

Zur sinnvollen Darstellung der Überlebensrate (keine Konversion zur Endoprothese im Beobachtungszeitraum) einer kniegelenksnahen Osteotomie sind mindestens mittelfristige, besser langfristige Forschungsergebnisse notwendig. Das Wissen über eine zu erwartende Überlebensrate eines operativen Verfahrens ist in der klinischen Praxis maßgeblich für die richtige Behandlungsempfehlung. So gilt es in erster Linie abzuwägen, ob die perioperativen Risiken überhaupt in Relation zu dem, zu erwartenden Ergebnissen stehen. Darüber hinaus kann eine Entscheidung für einzelne Patienten unter Berücksichtigung individueller Charakteristika (zum Beispiel Patientenalter) getroffen werden. Letztlich sollten Patienten stets realistisch aufgeklärt werden können und so aktiv am Entscheidungsprozess zur Findung der richtigen Behandlungsempfehlung beziehungsweise Behandlung teilnehmen können.

Die Datengrundlage hinsichtlich Überlebensrate nach *double-level* Osteotomie ist bis *dato* mangelhaft. Mittel- bis Langfristige Ergebnisse unter Anwendung der in bisherigen Abschnitten beschriebenen, aktuell überlegen erscheinenden Operationstechnik (49), wurden bisher nicht publiziert. Jedoch kann eine Überlebensrate anhand *single-level* Osteotomien und *double-level* Osteotomien mit abweichenden Operationsverfahren, abgeschätzt werden.

Babis *et al.* präsentierten 2002 vielversprechende Ergebnisse anhand von 29 *double-level* Osteotomien mit einer 96% Überlebensrate nach durchschnittlich

82,7 Monaten. Es handelte sich dabei um eine Kombination aus einer lateral *closed wedge* DFO und einer lateral *closed wedge* HTO (51). 2014 publizierte Saragaglia *et al.* eine 100% Überlebensrate nach 50 Monaten. Das Studienkollektiv bestand aus 24 Patienten wovon jedoch nur fünf einer DLO unterworfen wurden und 19 eine distale Femurosteotomie erhielten (125). Außerdem zeigten alle Patienten zum Zeitpunkt der Indikationsstellung höchstens moderate, zwei sogar überhaupt keine Arthrosezeichen im Röntgenbild. Etwas besser ist die Studienlage für *single-level* Osteotomien, sodass diese näherungsweise zur Abschätzung der mittel- bis langfristigen Überlebensrate herangezogen werden können. Für die DFO wurden 5-Jahres Ergebnisse mit 74-92% (je nach Indikation) (126) und sogar bereits 10-Jahres Ergebnisse mit 82% Überlebensrate (118) beschrieben. Die beste Studienlage bezüglich Überlebensrate liegt für die mediale *open wedge* HTO vor. Eine auf Registerdaten basierende Studie von 3195 finnischen Patienten ergab eine 5-Jahres Überlebensrate von 89% und eine 10-Jahres Überlebensrate von 73% (117). 2020 konnten anhand von 120 prospektiv erfassten Patienten, 6-Jahres Ergebnisse mit einer Überlebensrate von 91,3% gezeigt werden (127). Dieses Ergebnis ist von besonderer Bedeutung, da es ein Patientenkollektiv beschreibt, welches ebenfalls an der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen (BG Unfallklinik Tübingen) behandelt wurde (43). Somit entsprechen epidemiologische und geografische Faktoren, sowie die operative Fakultät, exakt dem Patientenkollektiv, welches dieser Forschungsarbeit zugrunde liegt. Schließlich muss zur Abschätzung einer Überlebensrate für *double-level* Osteotomie bedacht werden, dass diese vor allem bei schweren Achsdeformitäten indiziert ist, wenn die Simulation einer *single-level* Osteotomie unphysiologische Gelenkwinkel ergibt (47). Jedoch scheint die Wiederherstellung der normalen anatomischen Verhältnisse positiven Einfluss auf die Überlebensrate zu haben (47).

1.3.4 Bisherige kurz- und mittelfristige Ergebnisse nach DLO unter Berücksichtigung moderner Indikationsstellungen und Operationsverfahren

Obwohl von bereits beschriebenen Verfeinerungen der Operationstechnik eine Verbesserung des Operationsergebnisses erwartet wird, sind bisher kaum Ergebnisse in der Literatur berichtet. Erste kurzfristige Ergebnisse stammen von Nakayama *et al.* aus dem Jahr 2018 (58). Es werden 1-Jahres-Ergebnisse von 20 Patienten vorgestellt und dabei Indikationsstellung und operatives Verfahren im Detail beschrieben. Die Indikation zur DLO wurde gestellt, sofern einerseits eine kombinierte Deformität in Femur und Tibia vorlag und andererseits die Patienten postoperativ ein hohes Aktivitätsniveau anstrebten. Präoperativ waren dafür ein Schmerzniveau und eine Restfunktion erforderlich, sodass die Patienten trotz OP-Indikation einen relativ aktiven Lifestyle pflegen konnten. Die operative Planung begann mit einer MOWHTO. Die DLO fand Anwendung, sobald die Planung einer isolierten MOWHTO einen mMPTA von $\geq 95^\circ$ oder eine Öffnungskeilhöhe von $\geq 15\text{mm}$ ergab. In diesen Fällen wurde eine DLO mit femoral lateral *closed wedge* Osteotomie und tibial medial *open wedge* Osteotomie geplant und ggf. operiert. Radiologische (mTFA, mMPTA, mL DFA, JLCA) und klinische *Outcome*-Parameter (*Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score* (KOOS), *International Knee Documentation Committee Score* (IKDC Score) subjektiv) wurden definiert und nach sechs und zwölf Monaten erfasst. Alle erfassten radiologischen Parameter verbesserten sich in Richtung anatomischer Normalwerte (58). Anatomische Normalwerte werden in der Literatur wie folgt berichtet: mTFA: -1° bis 3° , mMPTA: 85° - 90° , mL DFA: 85° - 90° und JLCA: 0° - 2° (128, 129). Die klinischen Scores zeigten eine signifikante Verbesserung verglichen mit den präoperativen Werten (58). 2020 erschien eine weitere Publikation desselben Autors zur Darstellung von Hinge-Frakturen nach *double-level* Osteotomien und deren klinische und radiologische Auswirkungen auf das *Outcome* (130). Retrospektiv wurden, mindestens zwei Jahre nach DLO, 31 Patienten (36 Knie) nachuntersucht. Dabei zeigte sich in 30,6% eine Hinge-Fraktur des medialen Femurhinge (vier Typ 1

und sieben Typ 2 nach Takeuchi (131)). Jedoch waren 36,4% davon nur in der Computertomographie (CT), nicht jedoch im konventionellen Röntgen sichtbar. Radiologisch zeigte sich für die Gruppe mit Hinge-Fraktur Typ 1 eine Zunahme der Innenrotation des distalen Femursegments (Anstieg des femoralen Antetorsionswinkel von $9,5^\circ$), während sich dieser Winkel in den Gruppen mit Hinge-Fraktur Typ 2 und ohne Hinge-Fraktur nur um $3,1^\circ$ respektive $1,6^\circ$, über den Beobachtungszeitraum änderte (130). Im Falle einer Hinge-Fraktur wurde das postoperative Teilbelastungsprotokoll verlängert. Dies sehen die Autoren als mögliche Erklärung, dass sich zwischen den Gruppen mit und ohne Hinge-Frakturen keine signifikanten Unterschiede im klinischen *Outcome* (KOOS) während des Beobachtungszeitraums zeigten. Es zeigte sich eine signifikante Verbesserung (KOOS) für alle Gruppen (130).

Schröter *et al.* präsentierten 2018 ähnliche Ergebnisse anhand von 24 Patienten (28 Knie) durchschnittlich 18 Monate nach DLO (47). Die Indikation zur DLO ähnelt dabei der von Nakayama *et al.* und kann als vergleichbar betrachtet werden. Schröter *et al.* beschränkten die Indikation zur DLO auf Patienten, die trotz Gonarthrose einen aktiven Lebensstil pflegen und dabei in der klinischen Untersuchung mindestens eine ROM von $\leq 20^\circ$ Extension und $\geq 100^\circ$ Flexion erreichen. Es wurde ebenfalls initial eine OP-Planung für eine MOWHTO anhand einer Ganzbeinstandaufnahme simuliert. Die DLO kam zur Anwendung, wenn die Simulation entweder einen $mMPTA \geq 94^\circ$ oder einen $mLDFA \geq 90^\circ$ in Kombination mit einem $mMPTA \leq 87^\circ$ ergab. Dieser Algorithmus zur Indikationsstellung der DLO findet seit 2011 in der BG Unfallklinik Tübingen Anwendung und entspricht bis heute den neuesten Erkenntnissen der Wissenschaft. Somit wurden auch alle in diesem Studienkollektiv enthaltenen Patienten, die einer valgisierenden DLO unterworfen wurden, nach genannten Kriterien indiziert. Schröter *et al.* konnte mittels DLO eine Normalisierung der anatomischen Beinmechanik und der Gelenkwinkel sowie eine Vermeidung einer *joint line obliquity* bei Patienten mit präoperativ schwerwiegenden Varus-Fehlstellungen und medialer Gonarthrose erreichen. 18 Monate nach stattgefundener DLO erreichte das Kollektiv gute klinische Ergebnisse (Lysholm Score, Oxford Knee Score, Lequesne Score und IKDC Score).

Die Operationsverfahren unterschieden sich zwischen Nakayama und Schröter nur leicht. Beide führten eine *lateral closed wedge distal femoral osteotomy* (LCWDFO) in Kombination mit einer MOWHTO durch. Die DFO erfolgte nach der von R. van Heerwaarden *et al.* weiterentwickelten, minimalinvasiven Prozedur (119, 132), die HTO nach der von Staubli *et al.* sowie von Lobenhoffer und Agneskirchner beschriebenen Vorgehensweise (44, 45). Das von Schröter *et al.* beschriebene operative Vorgehen entspricht auch dem operativen Vorgehen des Patientenkollektivs, welches dieser Forschungsarbeit zugrunde liegt. Eine detaillierte Beschreibung ist dem **Abschnitt 2. Material und Methoden** zu entnehmen.

Die Zusammenschau aller bisherigen Forschungsergebnisse und Publikationen in Bezug auf Doppelosteotomien der unteren Extremität zeigt sich ein unzureichendes Gesamtbild. Insgesamt werden große Unterschiede in Technik und Indikationsstellung berichtet. Bis *dato* existiert keine einheitliche Empfehlung ob überhaupt eine Doppelosteotomie notwendig ist, geschweige dessen, ein Konsens ab welchen gemessenen beziehungsweise simulierten Gelenkwinkeln eine DLO, Anwendung finden sollte. Forschungsergebnisse hinsichtlich eines potenziellen Vorteils bei nachfolgender Prothesenimplantation fehlen gänzlich. Sowohl zur Präzisierung der Indikationsstellung als auch zur Darstellung klinischer und radiologischer Ergebnisse inklusive der mittel- und langfristigen Überlebensraten sind weitere Forschungsarbeiten notwendig.

1.4 Eigene Fragestellung und Zielsetzung

1.4.1 Überblick Literaturrecherche

Die bisherige Literatur zum Thema *double-level* Osteotomien (der unteren Extremität) bietet diverse biomechanische und experimentelle Arbeiten. Klinische und radiologische Studien zeigen insgesamt ein sehr heterogenes Forschungsfeld. Unterschiede bestehen von der Indikationsstellung über die präoperative Planung bis hin zum operativen Verfahren und der zur Anwendung kommenden Implantate. Aus heutiger Sicht weisen diese Forschungsarbeiten mehrheitlich unzeitgemäße Indikationsstellungen, methodische Mängel oder veraltete Techniken auf und können so nur bedingt als Vergleich herangezogen werden. Kurzfristige Ergebnisse (klinische sowie radiologische) unter Anwendung vergleichbarer Methodik und Techniken wurden ausführlich dargestellt und können als Vergleichsarbeiten betrachtet werden. Mittel- und langfristige Ergebnisse fehlen bis *dato* gänzlich. Eine Verwendung bisheriger Ergebnisse in der klinischen Praxis ist daher nur begrenzt möglich. Aussagen zur Überlebensrate einer DLO erfordern längerfristige Beobachtungen und sind somit bis heute kaum möglich.

1.4.2 Eigene Zielsetzung und Hypothese

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Darstellung mindestens mittelfristiger, klinischer und radiologischer Ergebnisse nach *double-level* Osteotomie. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Überlebensrate (keine Konversion zur Knieprothese im Beobachtungszeitraum) der operativ erfolgten DLO. Parameter zur Beschreibung des subjektiven und objektiven klinisch-funktionellen Ergebnisses sollen dargestellt werden. Radiologisch sollen neben der Beinachse auch die einzelnen Gelenkwinkel untersucht werden.

Als vorrangige Hypothese wurde vom Autor postuliert, dass mindestens 5 Jahre nach operativ erfolgter DLO, nur einem kleinen Anteil der Patienten eine Kniegelenksendoprothese implantiert werden musste.

Überdies wird erwartet, dass durch die DLO auch mittelfristig (≥ 5 Jahre nach DLO) eine deutliche Verbesserung der klinisch-funktionellen Situation (IKDC Score) erreicht werden kann.

Radiologisch wird eine Veränderung der Gelenkwinkel in Richtung normaler anatomischer Verhältnisse erwartet. Hierzu dienen präoperative Aufnahmen als Referenz.

1.4.3 Zielkriterien

1.4.3.1 Hauptzielkriterium

- Wie viele Patienten haben mittelfristig (definiert als ≥ 5 Jahre postoperativ) nach operativ erfolgter *double-level* Osteotomie eine Kniegelenksendoprothese erhalten (prozentualer Anteil an Studienteilnehmern)?

1.4.3.2 Nebenzielkriterien

- Kann – selbst in Fällen fortgeschrittener Gonarthrose – mittels operativ erfolgter *double-level* Osteotomie, mittelfristig (definiert als ≥ 5 Jahre postoperativ) ein gutes klinisch-funktionelles Ergebnis (IKDC Score) erreicht werden?
- Kann mittelfristig (definiert als ≥ 5 Jahre postoperativ), mittels operativ erfolgter *double-level* Osteotomie eine physiologische Ausrichtung des Kniegelenks (Gelenkwinkel: mTFA, mMPA, mLDA, JLC und JLO) – selbst in Fällen schwerer präoperativer Achsdeformitäten – erreicht werden?

2 Material und Methoden

2.1 Arbeits- und Zeitplan

Bereits 2018 wurde von der Arbeitsgruppe um Schröter *et al.* im selben Studienzentrum, zum Thema der DLO geforscht. Anknüpfend an die kurzfristigen Ergebnisse von Schröter *et al.* wurde am 24.07.2020 der Ethikantrag für dieses Forschungsvorhaben gestellt, zur Darstellung von Mittel- bis Langzeitergebnissen anhand eines größeren Kollektivs. Der Ethikantrag wurde am 08.10.2020 mit einem positiven Votum genehmigt (**vgl. Anhang 1**). Der Beginn der Nachuntersuchungen lag im August 2022. Zwischen August 2022 und März 2023 fanden die Nachuntersuchungen der Patienten statt. Überlappend erfolgten die radiologischen Ausmessungen und die Datenaufbereitung zur statistischen Auswertung, zwischen Januar 2023 und April 2023. Ab Mai 2023 erfolgte die statistische Auswertung und Interpretation hinsichtlich der postulierten Hypothesen. Die Abfassung dieser Forschungsarbeit erfolgte in einem kontinuierlichen Schreibprozess, simultan zu den jeweiligen Abschnitten der Studie. Im Zeitraum zwischen Juli 2023 und März 2024 erfolgte die finale Abschrift mit Korrektur und Iterationsprozessen, bis zur Fertigstellung und Einreichung der schriftlichen Abfassung im April 2024.

2.2 Studienkollektiv

Die Eignung zur Studienaufnahme wurde erfüllt, wenn der Patient eine *double-level* Osteotomie bei unikompartimenteller Gonarthrose in der BG Unfallklinik Tübingen erhalten hatte und nachfolgende Kriterien erfüllt wurden.

In der BG Unfallklinik Tübingen ging ab dem 1. Januar 2011 jeder kniegelenksnahen Umstellungsosteotomie eine entsprechende Deformitätenanalyse mit Beurteilung der einzelnen Gelenkwinkel voraus. Die Indikation zur DLO wurde, basierend auf den Ergebnissen der Deformitätenanalyse gestellt (Simulation einer HTO ergab einen mMPTA $>94^\circ$ oder eine Kombination aus mL DFA $>90^\circ$ und mMPTA $<87^\circ$, **vgl. dazu Abschnitt 2.3 Deformitätenanalyse und digitale Operationsplanung**). Die Operation wurde standardmäßig nach der im **Abschnitt 2.4 operative Therapie** beschriebenen Technik durchgeführt. Die Aufnahmekriterien zur Studie waren somit für alle Patienten die nach dem 1. Januar 2011 einer *double-level* Osteotomie unterzogen wurden, gewährleistet. Darüber hinaus war zur Darstellung mittelfristiger Ergebnisse ein Operationszeitpunkt nötig, der am Erfassungsdatum mindestens fünf Jahre in der Vergangenheit zurück lag. Der Beginn der Nachuntersuchungen war für den Zeitraum ab 1. Januar 2021 geplant, sodass zur Studienaufnahme nur Patienten in Frage kamen, die bis einschließlich 31. Dezember 2015 operiert wurden. Somit war ein postoperativer Beobachtungszeitraum von mehr als fünf Jahren gewährleistet.

Es sollten alle Patienten, die zwischen dem 1. Januar 2011 und dem 31. Dezember 2015 in der BG Unfallklinik Tübingen einer *double-level* Osteotomie mit Operationsindikation der unikompartimentellen Gonarthrose unterzogen wurden, in die Studie eingeschlossen werden. Die initiale Analyse der hausinternen Behandlungsdaten ergab 97 Patienten, für die eine DLO angemeldet, geplant, oder durchgeführt wurde. Anschließend wurde anhand der Operationsdokumentation (Operationsberichte, Bildwandlerdokumentation, usw.) die Durchführung einer DLO verifiziert. Im Fall, dass trotz geplanter DLO nur eine SLO durchgeführt wurde, oder die DLO z.B. um eine Torsionskorrektur

erweitert wurde, wurden die Patienten von der Studienteilnahme ausgeschlossen.

Letztlich erfüllten 84 Patienten, davon 71 die einer valgisierenden und 13 die einer varisierenden DLO unterzogen wurden, die Kriterien zur Studienaufnahme. Alle 84 Patienten wurden kontaktiert, und die Bereitschaft zur freiwilligen Studienteilnahme erfragt. Alle Probanden wurden über die Studienziele und den Studienablauf aufgeklärt. Bestand weiterhin eine freiwillige Zustimmung, erfolgte der Studieneinschluss.

Insgesamt sollten daher 84 Patienten retrospektiv zu einem Zeitpunkt, mindestens fünf Jahre nach erfolgter DLO nachuntersucht werden, wobei für diese Forschungsarbeit lediglich die 71 Patienten, welche eine valgisierende DLO erhielten, betrachtet werden. Es wurden alle Patienten ausgeschlossen, die eine Studienteilnahme generell ablehnten. Ausgeschlossen wurden außerdem alle Patienten, die eine Nachuntersuchung ablehnten oder eine Vereinbarung zur Nachuntersuchung auf Grund von fehlenden Kontaktinformationen nicht möglich war. Im Falle eines Studienausschlusses wurde formlos der Grund für die Nichtteilnahme erfragt und dokumentiert (*vgl. Abb. 2.1*).

Eine detaillierte Übersicht der Follow-up-Raten der einzelnen Teilaspekte der Studie, ist **Abbildung 2.1** zu entnehmen. Sieben Patienten stimmten der Studienteilnahme zu, gaben jedoch an aus geografischen oder zeitlichen Gründen keinen Termin in den Räumlichkeiten der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik in Tübingen wahrnehmen zu können bzw. zu wollen. In diesen Fällen erfolgte eine postalische Zusendung der Fragebögen zur Selbstauskunft (*vgl. Anhang 2*) und der Einverständniserklärung zur Studienteilnahme. Nach Rücksendung und Erhalt der Unterlagen inklusive unterschriebener Einverständniserklärung, erfolgte die Erfassung der Interview-Fragbögen (*vgl. Anhang 3*) telefonisch (*vgl. Abbildung 2.1*). Die Gründe und jeweiligen Häufigkeitsverteilungen der Studienausschlüsse sind ebenfalls in **Abbildung 2.1** dargestellt. Der Patienteneinschlussalgorithmus sowie die Patientenakquise sind an bewährten Vorgehensmustern von vorausgegangenen Forschungsarbeiten derselben Forschungsgruppe orientiert (43).

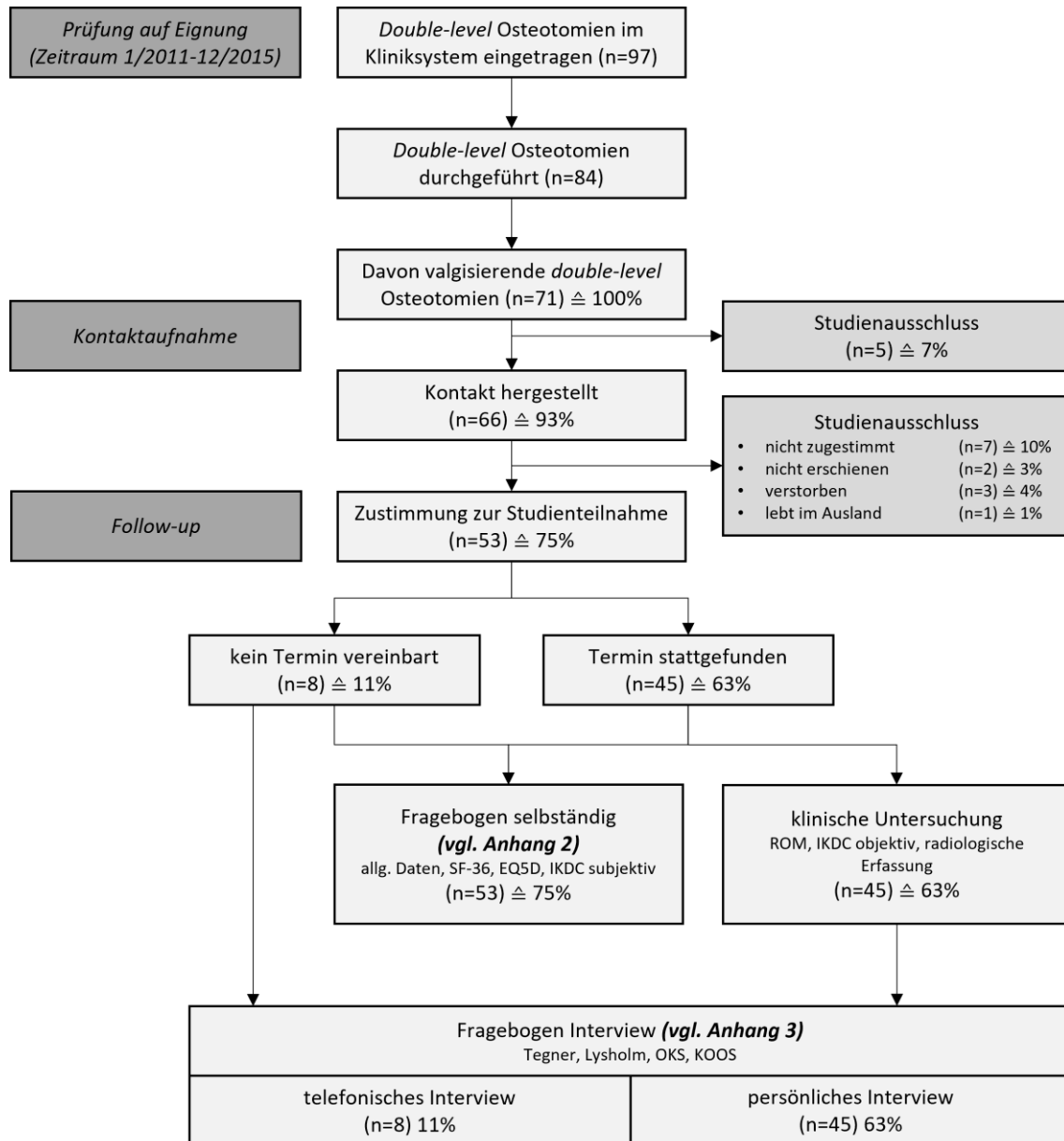


Abbildung 2.1: Flussdiagramm. Initiale Prüfung auf Eignung, Kontaktaufnahme und Ablauf der Nachuntersuchungen mit Follow-Up-Raten der einzelnen Teilaspekte.

Eine schriftliche Einverständniserklärung aller Studienteilnehmern sowie eine positive Bewertung der lokalen Ethikkommission liegt vor (Eberhard Karls Universität Tübingen, 488/2014BO2, **vgl. Anhang 1**). Alle Patienten wurden über die Freiwilligkeit der Studienteilnahme aufgeklärt.

2.2.1 Patientenakquise

Die Patientenakquise erfolgte stets nach demselben in **Abbildung 2.2** dargestellten Algorithmus. Primär erfolgte eine telefonische Kontaktaufnahme mit den Patienten über deren, im System hinterlegten Kontaktinformationen. Im Falle einer frustranen Kontaktherstellung erfolgte eine schriftliche Kontaktaufnahme und im nächsten Schritt eine Kontaktaufnahme mit den hinterlegten Hausärzten, einweisenden Ärzten oder niedergelassenen Fachärzten der Patienten. Sofern eine Kontaktaufnahme weiterhin nicht möglich war, wurde eine Internetrecherche bzw. Telefonbuchrecherche durchgeführt. Im letzten Schritt erfolgte die Kontaktaufnahme mit dem Versicherungsträger. Sofern neue Kontaktinformationen erlangt wurden, wurde erneut die Kontaktaufnahme mit den Patienten versucht. Bei fehlender Kontaktinformation oder frustraner Kontaktaufnahme über den gesamten Nachuntersuchungszeitraum, erfolgte ein Ausschluss des Patienten auf Grund fehlender Kontaktaufnahme.

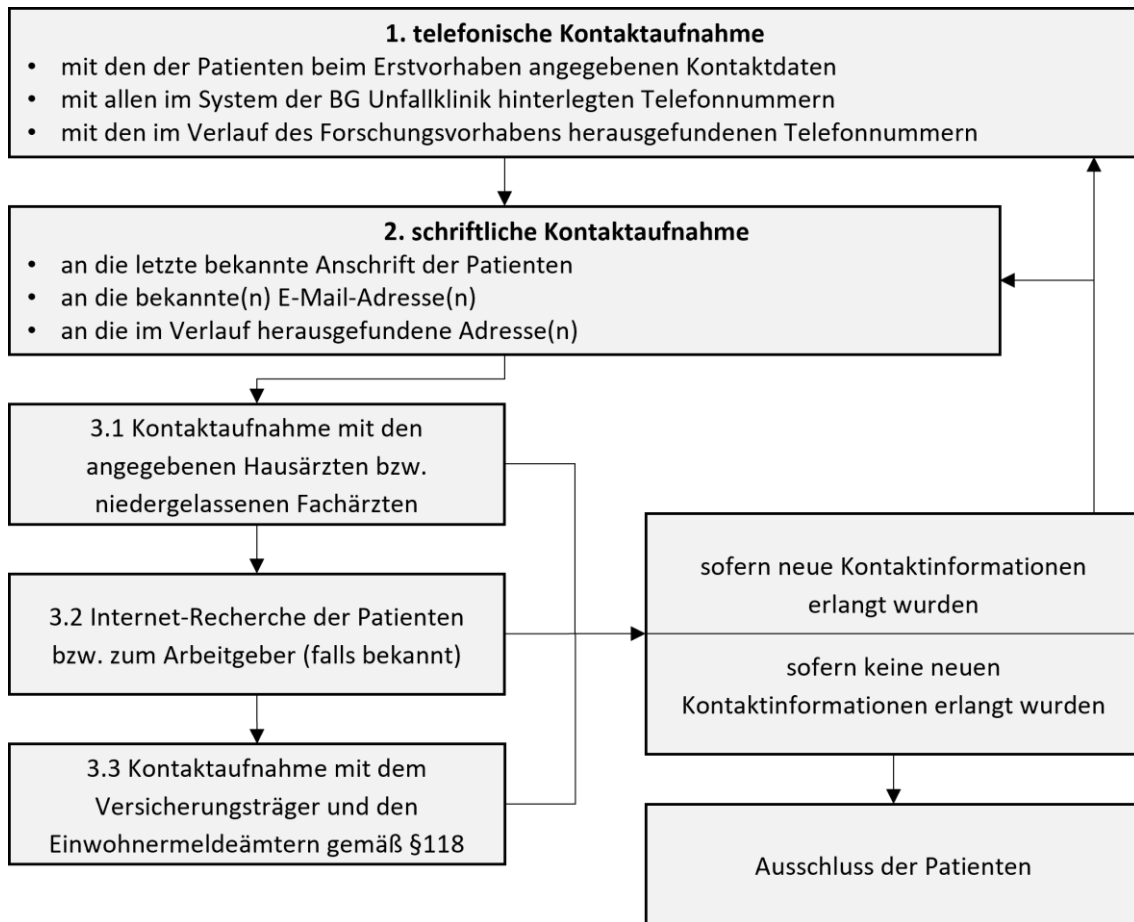


Abbildung 2.2: Flussdiagramm. Algorithmus der Patientenakquise. Abbildung angelehnt an Ihle (43)

2.3 Deformitätenanalyse und digitale Operationsplanung

Im Studienzentrum gehört seit 2011 eine präoperative Deformitätenanalyse und digitale Osteotomieplanung zum Standardvorgehen einer kniegelenksnahen Umstellungsosteotomie. Als Planungsgrundlage werden Ganzbeinstandaufnahmen im *anterioren-posterioren* Strahlengang mit einer Referenzkugel angefertigt und als digitales Röntgenbild im klinikinternen PACS gespeichert. Als Planungssoftware wurde mediCAD® (Hectec, Landshut, Deutschland) verwendet. Nach Aufrufen der digitalen Röntgenbilder erfolgt deren Größenskalierung anhand der mitabgebildeten Referenzkugel. Die anschließende Deformitätenanalyse erfolgt über anatomische Landmarken, welche durch Bildvergrößerung der einzelnen Regionen, präzise gesetzt werden können. Basierend auf den gesetzten Landmarken werden Achsen, Längen, Abstände und Winkel automatisch vom Planungsprogramm berechnet. Hierbei dient als Grundlage die Definition von Paley *et al.* aus dem Jahr 1994 (129). Das Ergebnis der Deformitätenanalyse wird angezeigt und unphysiologische Winkel und Größen, rot hervorgehoben.

Es schließt sich die Planung der Osteotomie an, wobei der Operateur anhand der Deformitätenanalyse, den Ort der Korrektur (Femur oder Tibia) und die Art der Osteotomie (öffnend oder schließend) festlegt. Das Programm bietet über dies die Möglichkeit auf Wunsch eine Über- oder Unterkorrektur zu planen. Im nachfolgenden Schritt wählt der Operateur den Drehpunkt und die Osteotomieebene. Erneut berechnet das Programm automatisch das Ergebnis und die simulierten neuen Größen und Gelenkwinkel, sowie Informationen für die Operation (z. B. Keilhöhe usw.). Anschließend kann die Osteosynthese simuliert werden, wobei aus einem Implantatverzeichnis, das gewünschte Implantat ausgewählt werden kann.

Eine Doppellevelosteotomie kommt sinnvollerweise dann zur Anwendung, wenn entweder eine kombinierte Deformität, sowohl im distalen Femur als auch in der proximalen Tibia vorliegt, oder der Operateur eine DLO, zur Vermeidung einer schrägen Gelenklinie in Betracht zieht. ***Eine Doppellevelosteotomie kam somit immer dann zur Anwendung, wenn die eben beschriebene Simulation***

einer HTO einen $mMPTA >94^\circ$ ergab oder eine Kombination aus $mLDFA >90^\circ$ und $mMPTA <87^\circ$ vorlag. Zur Planung und Simulation einer DLO wird dann zuerst eine DFO geplant und physiologische Normwerte des $mLDFA$ eingehalten, unter Akzeptanz einer persistierenden Beinachsfehlstellung. Anschließend wurde eine zweite tibiale Osteotomie, zur Korrektur der verbleibenden Beinachsfehlstellung, geplant (133).

2.4 Operative Therapie

Im Department der BG Unfallklinik Tübingen wird seit Januar 2011 bei der Deformitätenanalyse den einzelnen Gelenkwinkeln größere Bedeutung zugeschrieben. Basierend auf den Ergebnissen findet dann eine Korrektur gezielt am Ort der Deformität statt. Für die kniegelenksnahe Umstellungsosteotomie erfolgt entsprechend dem Ort der Deformität, eine *lateral closed wedge distal femoral osteotomy* (LCWDFO), eine *medial open wedge high tibial osteotomy* (MOWHTO) oder eine Kombination beider Techniken, eine *double-level* Osteotomie.

Vor jeder Operation wurde eine landmarkenbasierte Operations- bzw. Korrekturplanung, unter Zuhilfenahme der digitalen Planungssoftware mediCAD® (Hectec, Landshut, Deutschland), durch den Operateur durchgeführt. Die finale Festlegung des genauen Zielwinkels erfolgte dabei durch den Operateur. Die Operationen wurden in Spinalanästhesie oder Vollnarkose durchgeführt. Jedem Patienten wurden eine Einzelgabe Antibiotika sowie eine leitliniengerechte Thromboseprophylaxe verabreicht. In jedem Fall erfolgte zur Bestätigung der Indikation eine diagnostische Kniegelenksarthroskopie. Beurteilt wurde die Osteoarthrose beziehungsweise Knorpelstatus im medialen Kompartiment sowie, unter Berücksichtigung des Knorpelstatus des lateralen Kompartiments, die Indikationsstellung. Die Arthroskopie wurde entweder gleichzeitig mit der Osteotomie oder zu einem früheren Zeitpunkt als ambulanter Eingriff durchgeführt und die Befunde dokumentiert. Die *double-level* Osteotomie begann immer mit der Femurosteotomie gefolgt von der Tibiakopfosteotomie.

2.4.1 DFO

Das operative Vorgehen wurde bereits im Jahr 2019 von Schröter *et al.* im Detail beschrieben und publiziert (47). Auf Grund partieller Kollektivübereinstimmungen, entspricht sich das operative Vorgehen.

Die ersten Fälle wurden mittels eines 20cm Längsschnitt am distalen lateralen Oberschenkel operiert. Der *Musculus Vastus lateralis* (M. *Vastus lateralis*) wurde vorsichtig vom intermuskulären Septum abpräpariert um die Metaphyse des Femurs freizulegen. Anschließend wurde die *blade-plate* (DePuySynthes, Solothurn, Schweiz) in den Femurkondylus eingeschlagen, um deren Lage im stabilen Knochen zu definieren. Mit Kirschner-Drähten (K-Draht) wurde die Osteotomie entsprechend der Planung markiert. Angestrebt wurde eine möglichst gleiche Länge des proximalen und distalen Schnittes, sodass kein Überstand der lateralen Kortikalis nach Schluss des Osteotomiekeils entstand. Die Höhe des Osteotomiekeils konnte zwischen den proximal und distal platzierten K-Drähten abgemessen werden. Ziel der *closed wedge* Osteotomie war der Erhalt der intakten, medialen Kortikalis. Die *blade-plate* wurde nun in das präparierte, distale Femur eingesetzt und die Spannvorrichtung proximal der Platte montiert. Die Spannung wurde bis zum Schluss der Osteotomie mit gewünschter Kompression, langsam erhöht. Letztlich wurde die *blade-plate* mit 4.5mm bikortikalen Schrauben fixiert und anschließend die neue Ausrichtung radiologisch unter Zuhilfenahme des Ausrichtungsstabes, kontrolliert.

Nach sechs Fällen wurde die *blade-plate* zur Fixation der distalen Femurosteotomie durch einen Plattenfixateur (TomoFix™ MDF (*medial distal femur*) der ersten Generation, DePuySynthes Solothurn, Schweiz) ersetzt. Für die Kompression der Osteotomie wurde weiterhin die Spannvorrichtung verwendet. Die von A. Staubli erfundene Technik der biplanaren Osteotomie wurde 2010 von der *AO Knee Expert Group* (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) weiterentwickelt und vorgestellt (132). Zunächst fand diese Technik Anwendung für die mediale *closed wedge* DFO, wurde aber recht schnell auch für die laterale *closed wedge* DFO verwendet. Eine erneute Verbesserung erfolgte durch die Entwicklung des minimalinvasiven Zugangs, durch die Arbeitsgruppe von R. van Heerwaarden *et al.* (134). Den letzten Schritt zur, bis heute verwendeten Operationstechnik lieferte die *AO Joint Preservation and Osteotomy Group* unter maßgeblicher Beteiligung von K. Kley und P. Lobenhoffer.

Der minimalinvasive Zugang erfolgt über einen 5-7cm langen Hautschnitt in Längsrichtung. Der M. Vastus lateralis wird nach anterior gedrückt, sodass das dorsale Septum auf einer Länge von 3cm disseziert werden kann. Anschließend wird ein röntgendurchlässiger Retraktor (Radiolucent retractor pelvic medium 263mm, Nr. 03.100.111 DePuySynthes, Solothurn, Schweiz) zum Schutz der neurovaskulären Strukturen positioniert. Nun werden vier 2mm K-Drähte entsprechend der präoperativen Planung positioniert und deren Abstand mittels Präzisionsmesslehre (Messlehre für Korpektomie, kurz, Nr. 324.060 DePuySynthes, Solothurn, Schweiz), gemessen. Es folgt der transversale Schnitt, gefolgt vom ascendierenden Schnitt und der Entfernung des Osteotomiekeils. Die Osteotomie kann durch Ausübung eines Valgusstress langsam geschlossen werden. Zur Fixierung wurde die TomoFix™ MDF-Platte der zweiten Generation (DePuySynthes, Solothurn, Schweiz) der kontralateralen Seite, nach Bedarf entsprechend gebogen und unter dem M. Vastus lateralis positioniert. Die TomoFix™-Platte wurde zuerst mittels 5.0mm Verriegelungsschrauben am distalen Femur fixiert. Unter Valgusstress wurde eine bikortikale Schraube exzentrisch im Kombiloch der TomoFix™ MDF-Platte positioniert, um zusätzliche Kompression auf die Osteotomie auszuüben. Über eine 1cm lange proximale Inzision auf Höhe der proximalen Löcher, konnte zuerst die Bohrhülse positioniert und anschließend die 5.0mm Verriegelungsschrauben eingebracht werden. Schließlich wurde die bikortikale Schraube gegen eine bikortikale winkelstabile Verriegelungsschraube ausgetauscht. Nach Platzierung einer Drainage wurden alle Weichteilschichten nacheinander geschlossen. Die neue Achsausrichtung wurde radiologisch kontrolliert und mit der präoperativen Planung verglichen (47).

2.4.2 HTO

Das operative Vorgehen bei der *open wedge* HTO entspricht dem von Staubli *et al.* im Jahre 2003 erstmals vorgestellten (45) und anschließend von Lobenhoffer und Agneskirchner modifiziertem Prozedere (44). Das operative

Vorgehen, wie es bei diesem Kollektiv zur Anwendung gekommen ist, wurde in oben genannter Arbeit von Schröter *et al.* ebenfalls beschrieben (47).

Die *open wedge* HTO wurde mit einer 5cm langen Längsinzision, distal der medialen Gelenklinie auf Höhe des *Pes anserinus* begonnen. Die mediale Tibia wurde dargestellt und zwei K-Drähte methaphysär in die Tibia, in Richtung der tibiofibularen Gelenkspitze, parallel zum *tibial slope*, eingebracht. Die Osteotomie in der transversalen Ebene wurde bis 1cm an die laterale Kortikalis herangeführt. Die biplanar aufsteigende Osteotomie wurde unter der *tuberositas tibiae* in einem Winkel von 130° angelegt. Anschließend wurde die Osteotomie aufeinandergelegt und mithilfe eines auf dem posterioren Rand platzierten Spreizers vorsichtig aufgespreizt. Das Ergebnis wurde wieder unter Zuhilfenahme des Osteotomiestabes kontrolliert. Zur Stabilisierung des Osteotomiespaltes wurde weder ein Knochenersatz noch ein Knochentransplantat verwendet. Die TomoFix™ MHT (*medial high tibia*)-Platte (DePuy Synthes, Solothurn, Schweiz) wurde anteromedial an der Tibia platziert und mit vier proximalen 5.0mm Verriegelungsschrauben fixiert. Um den lateralen *hinge* zu komprimieren, wurde temporär eine bikortikale Zugschraube in das erste Plattenloch distal der Osteotomie eingebracht. Die verbleibenden distalen Löcher wurden mit monokortikalen 5.0mm Verriegelungsschrauben besetzt, bevor die bikortikale Zugschraube durch eine bikortikale 5.0mm Verriegelungsschraube ersetzt wurde. Abschließend wurde die Ausrichtung erneut mittels Ausrichtungsstab kontrolliert. Nach Einlage einer Drainage wurden alle Weichteilschichten nacheinander verschlossen (47).

2.4.3 Postoperative Rehabilitation

Letztlich entspricht auch das postoperative Nachbehandlungsprotokoll, dem von Schröter *et al.* angewendeten und beschriebenen (47).

Postoperativ sah das Protokoll für die ersten sechs Wochen eine 20kg-Teilbelastung an Unterarmgehstützen vor. Anschließend eine schmerzadaptierte Mehrbelastung bis zur Vollbelastung. Schienen oder

Orthesen waren im Nachbehandlungsprotokoll nicht vorgesehen. Die Patienten erhielten Physiotherapie sobald die Drainagen entfernt waren. Zusätzlich wurde für sechs Wochen eine aktive Bewegungsschiene CAMOped (OPED, Valley/Oberlaindern, Deutschland) benutzt. Das CAMOped ähnelt einem „Bettfahrrad“. Es bietet keine zusätzliche Fixation beziehungsweise Stabilisation, sondern kann zur passiven, kontinuierlichen Bewegungstherapie genutzt werden (47).

2.5 Nachuntersuchung

Nach erfolgreicher Kontaktaufnahme wurde die Bereitschaft zur freiwilligen Studienteilnahme der Patienten abgefragt. Im Falle einer Zustimmung wurde ein Nachuntersuchungstermin in den Räumlichkeiten der BG Unfallklinik Tübingen organisiert. Beginnend, erhielten die Patienten einen Fragebogen zur eigenständigen Beantwortung (*vgl. Anhang 2*). Anschließend erfolgten ein ausführliches ärztliches Gespräch und die Beantwortung der Fragen im Interview-Format (*vgl. Anhang 3*). Darauffolgend eine ärztliche Untersuchung der betroffenen Extremität und Erfassung der klinischen Untersuchungsbefunde. Nach entsprechender Einverständniserklärung der Patienten wurden Röntgenaufnahmen (Ganzbeinstandaufnahmen und Kniegelenksaufnahmen in zwei Ebenen) angefertigt. Alle Röntgenaufnahmen wurden in digitalisierter Form und mit Referenzkugel aufgenommen, sodass eine spätere radiologische Auswertung möglich war. Letztlich erfolgte die Besprechung der radiologischen Befunde und die Planung des weiteren Therapieregimes sofern notwendig und vom Patienten gewünscht.

2.6 Messinstrumente

Die Nachuntersuchung wurde anhand eines zweigeteilten Fragebogens dokumentiert. Der erste Teil wurde von den Patienten selbständig (*vgl. Anhang 2*) und der zweite Teil im Gespräch vom Untersucher (*vgl. Anhang 3*) ausgefüllt. Der Fragebogen erfasst dabei allgemeine Daten, klinische Scores und radiologische Ergebnisse. Radiologische Messdaten, respektive die Ergebnisse der Deformitätenanalyse wurden in einem extra Auswurf (beschriftetes Röntgengenbild) des Messprogramms, im klinikeigenen System gespeichert. Die Daten wurden in einem zweiten Schritt, mit Studienidentifikationsnummer (Studien-ID) der Patienten in eine Datentabelle übertragen und sind somit, anonymisiert beziehungsweise im weiteren Verlauf nur noch über die Studien-ID zum Patienten zurück verfolgbar.

Informationen hinsichtlich einer Konversion in eine Knieendoprothese im Beobachtungszeitraum sind im Fragebogen *Selbstauskunft* (*vgl. Anhang 2*) enthalten. Hier wurde neben dem Zeitpunkt des Übergangs in eine Knieprothese auch die Prothesenart erfasst.

Im Falle einer Ablehnung der Studienteilnahme oder eines Studienausschlusses, wurde der Grund erfragt und formlos dokumentiert.

Die klinisch-funktionelle Untersuchung umfasst eine Inspektion sowie Palpation der entkleideten unteren Extremitäten. Anschließend eine Funktionsuntersuchung des Kniegelenks für alle Kniebinnenstrukturen sowie eine Untersuchung des Bewegungsumfangs im Kniegelenk hinsichtlich Flexion und Extension (Flex/Ex).

Anschließend erfolgte eine Befundung der Röntgenaufnahme des betroffenen Kniegelenks in zwei Ebenen und die radiologische Einteilung des Arthrosegrades nach Kellgren und Lawrence (31). Hierbei wurde mediales und laterales Kniegelenkskompartiment sowie das femoropatellare Gelenk als auch ventraler und dorsaler Gelenkspalt separat betrachtet. Die Dokumentation und Graduierung erfolgte anhand des *IKDC — objektiver Knieevaluationsscore* (Fragebogen Untersucher, *vgl. Anhang 3*).

Die Einteilung und Klassifizierung der körperlichen Arbeitsbelastung erfolgte nach der REFA-Klassifikation (Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e. V.) (135). Hierbei erfolgt eine Einteilung anhand der körperlichen Beanspruchung am Arbeitsplatz, wobei die Beanspruchung in eine 4-stufige Ordinalskala (Grad 1 bis 4) eingeteilt wird. Zusätzlich kann ein Pluspunkt für belastende Körperhaltungen, Zwangshaltungen oder auch erschwerende Umgebungseinflüsse vergeben werden. Somit ergibt sich eine Spannweite von 1 bis 5 Punkten, wobei 5 Punkte einer schwersten körperlichen Arbeitsbelastung (z. B. Heben und Tragen von >50kg) unter zusätzlich belastenden Umwelteinflüssen (z. B. extremen Temperaturen oder reduziertem Sauerstoffgehalt in der Umgebungsluft) entspricht.

2.6.1 Klinische Scores

2.6.1.1 Oxford Knee Score

Der Oxford Knee Score (OKS) dient im Ursprung der subjektiven Beurteilung, des klinischen Ergebnisses nach Kniegelenktotalendoprothesen. Vor dessen Veröffentlichung im Jahr 1998 wurde das postoperative Ergebnis nach KTP vor allem anhand der radiologischen und klinischen Ergebnisse beurteilt (136). Die Entwicklung des OKS ermöglicht die Miterfassung der subjektiven Einschätzung der Patienten. Der OKS beinhaltet zwölf gleichwertige Fragen, wobei fünf das Thema Schmerz und sieben das Thema physische Funktion adressieren. Jede Frage hat eine fünfstufige Antwortmöglichkeit, wobei in der ursprünglichen Version die Antwortmöglichkeiten von 1-5 Punkten reichten und dabei 1 Punkt keine Einschränkung und 5 Punkte, den höchsten Schweregrad der Einschränkung codierten. Das Ergebnis des OKS ist die schlichte Summation aller Punktwerte der einzelnen Fragen, sodass sich eine Punktzahl zwischen 12 Punkten (keine Einschränkung) und 60 Punkten (höchster Schweregrad der Einschränkung), ergibt. In der aktuellen Version reicht die Antwortskala von 0-4 Punkte, wobei 0 Punkte den höchsten Schweregrad der Einschränkung und

4 Punkte keine Einschränkung codieren. Damit ergibt sich eine Gesamtpunktzahl von 0-48 Punkte, wobei 48 Punkte keine und 0 Punkte die höchste Einschränkung bedeutet. Da alle Fragen gleich gewichtet und zwischen alter und neuer Version unverändert sind, lassen diese sich ineinander umwandeln. Durch Subtraktion des Gesamtergebnisses von der Zahl 60, ergibt sich jeweils die andere Version des OKS (136). In diesem Forschungsvorhaben wurde die aktuelle Version des OKS mit 0-48 Punkten verwendet.

Die Simplizität des OKS, sowohl den Umfang als auch die Verständlichkeit der Fragen betreffend, ermöglicht eine leichte Integration und oft höhere Vollständigkeit, im klinischen Alltag (136). Demgegenüber steht eine geringe Spezifität des OKS, bedingt durch eine leichte Beeinflussbarkeit des OKS-Ergebnis durch kniegelenksnahe, jedoch unabhängige Beschwerden wie z.B. Hüftgelenksbeschwerden oder Beschwerden der Wirbelsäule (137).

2.6.1.2 Modifizierter Score nach Lysholm und Gillquist

Die Veröffentlichung des Scores nach Lysholm und Gillquist erfolgte 1982. Initial war der Score zur Unterstützung bzw. Erweiterung der ärztlichen Untersuchung konzipiert worden (138). Im Jahr 1985 erfolgte eine gezielte Modifizierung des Scores, hinzu einem Instrument der *Outcome*-Erfassung. Der Lysholm Score bietet eine universelle Anwendbarkeit bei Knieverletzungen und Kniegelenkserkrankungen, war ursprünglich aber zur Evaluation von ligamentären Verletzungen gedacht. Es werden acht Fragen zu drei Themengebieten (sechs Fragen zur physischen Funktion, eine Frage zur Schmerzsituation und eine Frage zu Symptomen) abgefragt. Jeder Antwort ist ein vordefinierter Punktwert zugeordnet, welche zu einem Ergebnis von 0-100 Punkte aufaddiert werden. 100 Punkte ist das bestmögliche Ergebnis und entspricht keinerlei Beeinträchtigung, 0 Punkte entsprechend die größtmögliche Beeinträchtigung (138).

2.6.1.3 Tegner Activity Scale

Der Tegner Activity Scale wurde 1985 als Ergänzung zum modifizierten Lysholm Score entwickelt und publiziert. Der Tegner Activity Scale stellt der physischen Funktionalität ermittelt durch den Lysholm Scores, die tatsächliche physische Aktivität gegenüber. In elf Aktivitätsstufen werden hierbei neben der Sportfähigkeit auch Einschränkungen im Alltag und die Arbeitsfähigkeit berücksichtigt. Eine kniebedingte Arbeitsunfähigkeit entspricht dabei der untersten Stufe und wird mit 0 Punkten codiert. Die höchste Aktivitätsstufe entspricht nationalem oder internationalem Wettkampfsport von High-Impact Sportarten wie Alpinskifahren, Squash, Fußball oder Handball und wird mit 10 Punkten codiert (139).

2.6.1.4 IKDC Score

IKDC subjektiv

Zwischen 1987 und 1998 versuchte eine Gruppe aus internationalen Kniespezialisten ein international einheitliches Messinstrument, zur Erfassung von Erkrankungen und Verletzungen im Bereich des Kniegelenks zu entwickeln und zu etablieren. Der *International Knee Documentation Committee Score* (IKDC Score) wurde 2001 auf Validität und Reliabilität geprüft und eine zweifach revidierte Version wurde veröffentlicht (140, 141). Der subjektive Teil des IKDC, in der aktuellen Version, fragt insgesamt 19 Fragen zu drei Themengebieten ab, 7 Fragen zur Symptomatik, 10 Fragen zu Sport und Alltagsaktivitäten und 2 Fragen zur Funktion. Hiervon werden 18 Fragen in die Berechnung des Endergebnisses einbezogen. Die nicht berücksichtigte Frage bezieht sich auf die Funktionsfähigkeit des Kniegelenks vor der Knieverletzung und ermöglicht somit einen Vergleich zur aktuellen Situation. Die verbleibenden 18 Fragen reichen von binären Ja-Nein-Fragen bis hin zu Fragen mit einer elfstufigen Antwortskala. Im ersten Schritt wird ein Rohergebnis durch Aufaddieren aller Einzelergebnisse gebildet und dann sekundär durch eine

mathematische Transformation in einen Punktwert zwischen null und 100 Punkten umgewandelt. Unter Berücksichtigung der Konstanten: „Niedrigstmögliche Punktzahl“ =18, „Spannweite des Punktzahlbereichs“ =87 und „Zielergebnisbereich“ =100 erfolgt die Umwandlung des Rohergebnisses nach folgender Formel:

$$IKDC \text{ Score subjektiv} = \frac{(Rohergebnis - 18)}{87} \times 100\%$$

Formel 2.1: *Formel zur Berechnung des IKDC Score subjektiv*

Voraussetzung zur Berechnung des IKDC subjektiv ist eine Beantwortungsquote von 90% der Fragen (*i.e.* 16 Fragen). Für fehlende Antworten (bei 16 oder 17 beantworteten Fragen) wird der arithmetische Mittelwert der übrigen Antworten für die fehlenden Antworten eingesetzt.

Das Ergebnis wird in Prozent angegeben, wobei 100% der vollen Funktionsfähigkeit in Alltag und Sport bei gleichzeitiger Abwesenheit von kniebedingten Symptomen oder Einschränkungen entspricht. Niedriger Prozentwerte zeigen entsprechend prozentuale Einschränkungen an. Der IKDC wurde über die Zeit mehrfach validiert und wird insgesamt häufig als Instrument zur Erfassung und Verlaufskontrolle nach Knieverletzungen oder Erkrankungen im Bereich des Kniegelenks, genutzt (142). Die durchschnittliche Bearbeitungszeit liegt bei 10 Minuten (140).

IKDC Score objektiv

Der IKDC Knie Untersuchungsbogen dient der Erfassung und Graduierung der Ergebnisse von körperlicher und radiologischer Untersuchung. Hierbei werden sieben Subgruppen unterschieden. Das Ergebnis jeder Gruppe entspricht dem schlechtesten Einzelergebnis innerhalb dieser Gruppe und reicht in einer vierstufigen Skala von „normal“ über „fast normal“ und „abnormal“ bis hin zu „deutlich abnormal“. Die Abschlussbeurteilung entspricht letztlich dem

schlechtesten Wert der sieben Gruppen. Die Skalierung wurde von den Autoren bewusst so gewählt, dass der Höchstwert als „normale“ Kniefunktion definiert wurde. Nach Meinung der Autoren kann eine Kniefunktion nicht besser als „normal“ sein. Darüber hinaus wurde zur Diskussion gestellt ob ein operativ behandeltes Knie denn überhaupt jemals wieder den Wert entsprechend „normal“ erreichen könnte (143).

Die sieben Subgruppen untersuchen: Ergüsse = Gruppe 1, passive Beweglichkeit = Gruppe 2, Ligamentuntersuchung = Gruppe 3, Kompartimentbefunde = Gruppe 4, Transplantatentnahme-Morbidität = Gruppe 5, Röntgenbefunde = Gruppe 6, Funktionstest = Gruppe 7. Dabei wird der Unterschied des betroffenen Knies im Vergleich zum Normalzustand (Gegenseite) oder dem was als Normalzustand angenommen wird, betrachtet. Die Gruppe 5 bezieht sich auf das Transplantat, zum Beispiel im Rahmen einer Bandrekonstruktion und ist somit für die Evaluation dieses Studienkollektivs nicht relevant (140).

2.6.1.5 Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score

Der *Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score* (KOOS) wurde in Schweden entwickelt und erstmals im Jahre 1998 publiziert (144). Im Gegensatz zu damals üblichen klinisch-funktionellen Messinstrumenten, sollte der KOOS einerseits für alle Altersklassen geeignet sein und andererseits neben dem funktionellen Status auch die Lebensqualität der Patienten erfassen. Er zielt dabei vor allem auf Knieverletzungen beziehungsweise Erkrankungen ab, die zu einem erhöhten Risiko eine Arthrose im Verlauf zu entwickeln, führen. Der KOOS adressiert diesen Umstand und erfasst als *Patient-Reported-Outcome-Instrument* (PRO-Instrument) die Auswirkung progredienter Erkrankungsbilder und deren Folgen. Hierbei werden fünf unterschiedliche Dimensionen erfasst, welche auch separiert ausgewertet werden. Die insgesamt 42 Fragen verteilen sich dabei mit 9 Fragen zur Dimension Schmerz, 7 Fragen zu Symptomen, 17 Fragen zu Alltagsaktivitäten, 5 Fragen zu Sport und Freizeit und 4 Fragen zur allgemeinen

Lebensqualität. Zur Auswertung sind hierbei je Dimension mindestens 50% der Fragen erforderlich. Die Berechnung erfolgt nach folgender Formel:

$$100 - \frac{\text{Mittelwert Fragen Dimension} \times 100}{4} = \text{KOOS Dimension}$$

Formel 2.2: *Formel zur Berechnung der einzelnen Dimensionen des KOOS*

Letztlich ergibt sich für jede Dimension ein Punktwert zwischen 0 und 100 Punkten, wobei 100 Punkte bedeuten, dass keinerlei Einschränkungen des betroffenen Knies bestehen. Gelegentlich findet man auch eine Ergebnispräsentation wobei alle Dimensionen aufaddiert werden zu einem gemeinsamen Wert, welcher folglich zwischen 0 und 500 Punkten liegt (144). Die Bearbeitungszeit des KOOS liegt bei *ca.* acht Minuten.

2.6.2 Subjektive gesundheitsbezogene Lebensqualität

2.6.2.1 Short Form 36 (SF-36)

Der *Short Form 36 Health Survey* (SF-36) Fragebogen (deutsche Version) gilt als etablierte Messmethode zur Bestimmung der subjektiven, gesundheitsbezogenen Lebensqualität und bietet durch seine Subskalen die Möglichkeit auch einzelnen Aspekte der subjektiven Lebensqualität separiert zu betrachten (43, 145, 146). Eine hohe Validität des SF-36 wurde mittels mehrfacher Reliabilitätsprüfungen untersucht. Hierbei ergab sich ein ausgezeichneter Reliabilitätskoeffizient von 0,85 über unterschiedliche Patientengruppen hinweg (147). Die deutsche Version wurde zusätzlich einer psychometrischen Beurteilung unterzogen und auf eine mögliche Anwendbarkeit für andere Länder untersucht. Die psychometrische Evaluation ergab eine hohe Qualität hinsichtlich diskriminativer Kraft, Ansprechverhalten, Reliabilität und Datenvollständigkeit über unterschiedliche Patientengruppen hinweg (148). Eine Anwendung auf Patienten

anderer Länder ist mit kleinen Adaptionen möglich, sodass der SF-36 die Möglichkeit zur Durchführung multinationaler Studien bietet (149).

Der SF-36 besteht aus 36 Fragen, welche jeweils mit unterschiedlicher Gewichtung insgesamt acht Subskalen zuzuordnen sind. Hieraus können Summenscores gebildet werden die stellvertretend für die physische Gesundheit und die psychische Gesundheit stehen und in Summe die subjektive gesundheitsbezogene Lebensqualität abbilden. Es ist sowohl eine separierte Betrachtung aller acht Subskalen: Körperliche Funktionsfähigkeit (PF), körperliche Rollenfunktion (RP), körperliche Schmerzen (BP), allgemeine Gesundheitswahrnehmung (GH), Vitalität (V), soziale Funktionsfähigkeit (SF), emotionale Rollenfunktion (RE) und psychisches Wohlbefinden (MH), möglich als auch die Bildung zweier Summenscores. Die Summenscores werden zur einfacheren Interpretation herangezogen. Hierbei kann der *physical health component summary score* (PCS) als Dimension der körperlichen Gesundheit und der *mental health component summary score* (MCS) als Dimension der psychischen Gesundheit betrachtet werden (43). Grundlage zur Bildung des PCS bilden die Subskalen PF, RP, BP und GH, die jeweils mit einem Faktor individuell gewichtet und konsekutiv aufsummiert werden. Analog wird MCS auf Grundlage der Subskalen V, SF, RE und MH, mit jeweils individueller Gewichtung gebildet. Die Summenscores sollten dennoch sorgfältig mit den Ergebnissen der einzelnen Subskalen verglichen werden. Dabei sollten keine Schlussfolgerungen allein basierend auf den Ergebnissen der Summenscores, gezogen werden (150, 151). Der SF-36 beinhaltet eine weitere Frage, die sich auf die Veränderung des Gesundheitszustandes im vergangenen Jahr bezieht (Veränderung: CH) und nicht in die Bildung der Subskalen oder Summenscores einfließt. Diese Frage dient vielmehr der Individualdiagnostik. **Tabelle 2.1** zeigt die Itemanzahl und -stufen sowie die Separationsstufen und den Inhalt der acht Subskalen.

Tabelle 2.1: Subskalen und Items des SF-36. Beschrieben sind alle Subskalen sowie deren Inhalt, Itemanzahl und daraus resultierende Separationsstufen. Tabelle nach Bullinger (148).

Subskala	Item- anzahl	Separations- stufen	Inhalt der Subskala
körperliche Funktionsfähigkeit (PF)	10	21	„Ausmaß, in dem der Gesundheitszustand körperliche Aktivitäten wie Selbstversorgung, Gehen, Treppen steigen, bücken, heben, und mittelschwere oder anstrengende Tätigkeiten beeinträchtigt“ (152)
körperliche Rollenfunktion (RP)	4	5	„Ausmaß, in dem der körperliche Gesundheitszustand die Arbeit oder andere tägliche Aktivitäten beeinträchtigt, z.B. weniger schaffen als gewöhnlich, Einschränkungen in der Art der Aktivitäten oder Schwierigkeiten bestimmte Aktivitäten auszuführen“ (152)
körperliche Schmerzen (BP)	2	11	„Ausmaß an Schmerzen und Einfluß [sic!] der Schmerzen auf die normale Arbeit, sowohl im als auch außerhalb des Hauses“ (152)
allgemeine Gesundheitswahrnehmung (GH)	5	21	„Persönliche Beurteilung der Gesundheit, einschließlich aktueller [sic!] Gesundheitszustand, zukünftige Erwartungen und Widerstandsfähigkeit gegenüber Erkrankungen“ (152)
Vitalität (V)	4	21	„Sich energiegeladen und voller Schwung fühlen versus müde und erschöpft“ (152)
soziale Funktionsfähigkeit (SF)	2	9	„Ausmaß, in dem die körperliche Gesundheit oder emotionale Probleme normale, soziale Aktivitäten beeinträchtigen“ (152)
emotionale Rollenfunktion (RE)	3	4	„Ausmaß, in dem emotionale Probleme die Arbeit oder andere tägliche Aktivitäten, beeinträchtigen; u.a. weniger Zeit aufbringen, weniger schaffen und nicht so sorgfältig wie üblich arbeiten“ (152)
psychisches Wohlbefinden (MH)	5	26	„Allgemeine psychische Gesundheit, einschließlich Depression, Angst emotionale und verhaltensbezogene Kontrolle, allgemeine positive Gestimmtheit“ (152)
Veränderung (CH)	1	5	„Beurteilung des aktuellen Gesundheitszustandes im Vergleich zum vergangenen Jahr“ (152)

Wenn die subjektive gesundheitsbezogene Lebensqualität sinnvoll als Evaluationskriterium herangezogen werden soll, muss dabei bedacht werden welche Faktoren unabhängig von der individuellen Situation der Patienten Einfluss auf deren Ergebnis haben. Im Allgemeinen sinkt die subjektive gesundheitsbezogene Lebensqualität mit zunehmendem Alter (153). Darüber hinaus ist es möglich, dass ein äquivalenter Gesundheitszustand von Männern und Frauen, z.B. auf Grund von gesellschaftlichen Rollenbildern oder unterschiedlichen Rollenfunktionen in der Familie, unterschiedlich wahrgenommen und folglich unterschiedlich bewertet wird. Außerdem wird die persönliche Situation immer relativ zum persönlichen Umfeld bewertet, sodass ein Vergleich der subjektiven gesundheitsbezogenen Lebensqualität v.a. innerhalb einer biologischen Population sinnvoll möglich ist. Daraus folgt, die Notwendigkeit einer Anpassung an Alters- Geschlechts- und geographische Unterschiede damit die Werte der subjektiven, gesundheitsbezogenen Lebensqualität sinnvoll vergleichbar sind. Eine entsprechende Adaption der Werte bietet die Umwandlung und normbasierte Skalierung des SF-36 (146, 154). Die regulären Punktwerte (*regular score*: RS, 0-100 Punkte) werden individuell für alle Patienten erfasst. Anschließend können die Rohwerte mittels einer Z-Transformation und unter Berücksichtigung alters- und geschlechtsspezifischer Koeffizienten, sowie eines geographischen Faktors in eine normbasierte Variante (NBS) umgewandelt werden (146, 155). Die normbasierten Werte sind dabei so skaliert, dass 50 Punkte dem Durchschnitt der deutschen Normstichprobe entspricht. Ein Wert unter 50 Punkte zeigt damit eine geringere, ein Wert über 50 Punkte eine höhere subjektive, gesundheitsbezogene Lebensqualität an, als sie in der deutschen Normstichprobe vorzufinden ist (146).

Der SF-36 bietet somit die Möglichkeit, Vergleiche einzelner Patienten, über Alters- Geschlechts- und geographische Unterschiede hinweg, zu den bekannten Werten der jeweiligen Normstichprobe zu ziehen und zu quantifizieren (43). Hierbei sind auch Vergleiche kleiner Kollektive, bis hin zu Ergebnissen einzelner Patienten zu Werten der Normalbevölkerung (NB), sinnvoll möglich (152).

Anwendung und Anwendungsbereich

Der SF-36 bietet einen breiten Anwendungsbereich, wobei dieser nicht auf kranke Populationen beschränkt ist, sondern die subjektive, gesundheitsbezogene Lebensqualität aus Sicht des Individuums beschreibt. Er zählt damit zu den krankheitsübergreifenden Evaluationsverfahren und ermöglicht Untersuchungen an gesunden, sowie kranken Kollektiven unterschiedlicher Erkrankungsgruppen, ab einem Alter von 14 Jahren. Der SF-36 Fragebogen besteht aus 36 geschlossen formulierten Fragen, welche *per definitionem* von den Probanden selbständig zu beantworten sind. Neben binären Ja-Nein-Fragen, gibt es auch Fragen mit mehrstufigen (maximal sechs) Antwortmöglichkeiten, wobei immer die zutreffende Antwortmöglichkeit zu markieren ist. Die Fragen sind insgesamt simpel und verständlich formuliert. Zur Gewährleistung der Auswertbarkeit, sollte eine autorisierte Person für mögliche Rückfragen und zur Sicherstellung der Vollständigkeit, zur Verfügung stehen. In der Selbstbeurteilungsform des SF-36 wurde eine empirische Bearbeitungszeit von 7-15 Minuten, mit einer durchschnittlichen Bearbeitungszeit von 10 Minuten, ermittelt (152, 156).

Formen des SF-36 *Health Survey*

In dieser Forschungsarbeit wurde die Version des SF-36 *Health Survey* mit 36 Items verwendet. Darüber hinaus ist eine Version mit zwölf Items, der *Short Form 12 Health Survey* (SF-12), verfügbar. Dieser hat einen identischen Aufbau wie der SF-36 und erhebt dieselben acht Subskalen. Gandek *et al.* konnten in einer Kreuzvalidierungsstudie über neun europäische Länder hinweg, zeigen, dass der SF-12 nur geringe Abweichungen vom SF-36 aufweist (157). Dennoch sollte der SF-12 nach Möglichkeit nur bei großen Kollektiven und begrenzter Bearbeitungszeit, der ausführlicheren Version des SF-36, vorgezogen werden. Für beide Versionen existieren jeweils Standard- und Akutversionen, wobei sich die Standardvariante auf die letzten vier Wochen, die Akutversion nur auf die

letzte Woche bezieht. Außerdem existiert jede Version in einer Selbstbeurteilungsform, einer Fremdbeurteilungsform und einer Interviewform (152). In diesem Forschungsvorhaben kam die Standardversion des SF-36 im Selbstbeurteilungsformat zur Anwendung. Da es sich um die Erfassung von mittel- bis langfristigen Ergebnissen handelt, erscheint die Akutversion nicht zielführend. Überdies minimiert die verwendete Standardversion mit Bezug auf die letzten vier Wochen, zufällig zum Erfassungszeitpunkt auftretende Schwankungen, wodurch ein objektiveres Ergebnis zu erwarten ist.

2.6.2.2 *European Quality of Life 5 Dimensions 5 Level*

Der *European Quality of Life 5 Dimensions 5 Level* (EQ-5D-5L) ist ein Messinstrument zur Erfassung der Lebensqualität. Der EQ-5D-5L ist als PRO-Instrument konfiguriert und misst die Lebensqualität über fünf Dimensionen, ganz allgemein und unabhängig von einer bestehenden Erkrankung der Patienten. Der EQ-5D-5L ist eine Weiterentwicklung des *European Quality of Life 5 Dimensions 3 Level* (EQ-5D-3L) und bietet nun die Möglichkeit einer 5-stufigen Antwortskala für jede Frage (158). Die fünf Dimensionen Mobilität, Selbstversorgung, alltägliche Tätigkeiten, Schmerzen/Beschwerden und Angst/Niedergeschlagenheit, werden jeweils durch eine Frage repräsentiert und mit 1= keine Probleme/Schmerzen/Ängste, 2= leichte Probleme/Schmerzen/Ängste, 3= mäßige Probleme/Schmerzen/Ängste, 4= große Probleme/Schmerzen/Ängste und 5= extreme Probleme/Schmerzen/Ängste beantwortet. Im Ergebnis ergibt sich eine Fünfstellige Zahl, wobei 11111 das bestmögliche und 55555 das schlechteste Ergebnis wäre. Insgesamt ist der EQ-5D-5L ein validierter und etablierter Fragebogen, welcher durch seine Simplität und den geringen Bearbeitungsaufwand gut in den klinischen Alltag integriert werden kann (159, 160).

2.6.3 Zusatzfragen

Zusätzlich zu den bereits beschriebenen, standardisierten, klinischen Scores wurden die Patienten hinsichtlich ihrer allgemeinen Zufriedenheit mit dem Behandlungsergebnis und der Erfüllung ihrer Erwartungen an die Operation beziehungsweise Behandlung, befragt. Darüber hinaus inwiefern sie die Operation erneut durchführen würden. Hierfür wurde eine numerische Rating-Skala (NRS) für die allgemeine Patienten Zufriedenheit, mit einer 11-stufigen Antwortskala von 0= sehr unzufrieden bis 10= sehr zufrieden, verwendet. Die Zufriedenheit mit dem Gesamtergebnis der Umstellungsosteotomie wurde mit einer weiteren Frage mit einer 5-stufigen Antwortskala von 0-4 (schrecklich, unzufrieden, ausreichend zufrieden, zufrieden und erfreut) erfasst. Darüber hinaus wurde die Erfüllung der Erwartungen mit einer Frage und 5-stufiger Antwortskala (0= in keiner Art und Weise, 1= Erwartungen wurden wenig erfüllt, 2= Erwartungen wurden teilweise erfüllt, 3= Erwartungen wurden erfüllt und 4= Erwartungen wurden übertroffen) erfasst. Letztlich wurde noch mittels einer Frage und binärer Antwortmöglichkeit, gefragt, ob die Patienten sich der Operation erneut unterziehen würden.

2.7 Radiologische Auswertung

Die Messungen und Auswertung der radiologischen Ergebnisse, erfolgte durch einen Untersucher, nach Erfassung aller Rohdaten. Die im Rahmen der Nachuntersuchungen erstellten Röntgenbilder wurden im klinikinternen PACS gespeichert und dienten als Grundlage für die radiologischen Messungen. Hierbei sind neben den Röntgenbildern der Nachuntersuchungen auch die präoperativen Aufnahmen und Planungsbilder für die DLO gespeichert. Die Deformitätenanalyse respektive radiologische Ausmessung erfolgte mittels digitaler Planungssoftware mediCAD® (Hectec, Landshut, Deutschland). Hierbei basieren die Messungen auf anatomischen Landmarken, wobei im ersten Schritt jeweils die Mitte (Drehpunkt) des Hüftgelenks, des Kniegelenks (femoral und tibial getrennt) und letztlich des oberen Sprunggelenks (OSG) ermittelt wird. Anschließend werden die Schaftmitten von Femur und Tibia bestimmt. Letztlich noch das Fußbodenniveau in angularer Relation zur Kniegelenksebene der Tibia bestimmt. Hieraus ergeben sich dann die individuellen Gelenkwinkel und Messgrößen. Die **Abbildung 2.3** und **Abbildung 2.4** zeigen schematische Deformitätenanalysen mit den relevanten Messgrößen, **Abbildung 2.5** zeigt ein Beispiel einer Deformitätenanalyse nach beschriebenem Vorgehen.

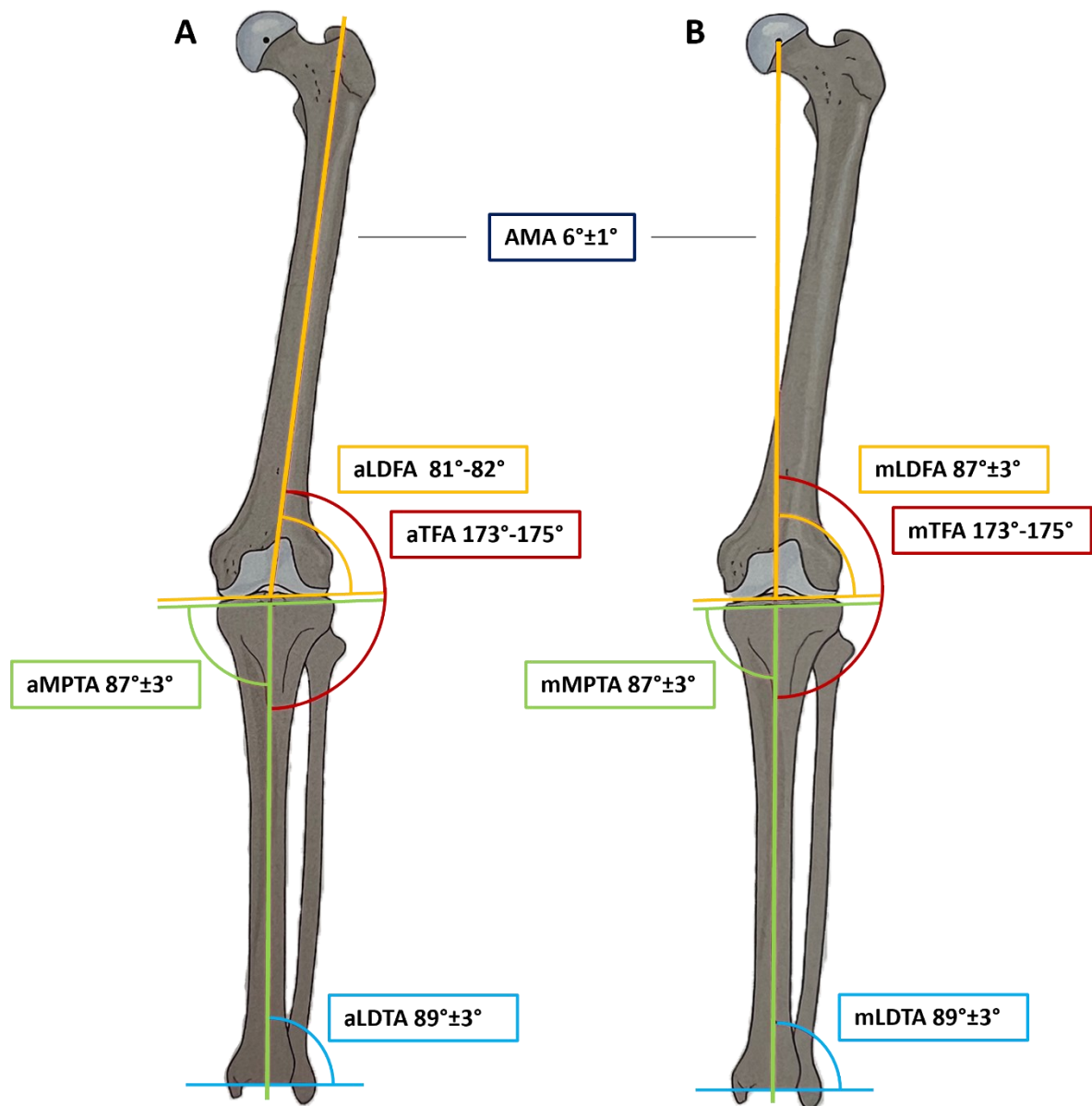


Abbildung 2.3: Schemazeichnung. Kniegelenksnahe Achsen und Gelenkwinkel in der Frontalebene, schematisch anhand eines linken Beines. Hierbei sind die anatomischen Achsen und physiologischen Grenzen den mechanischen Achsen und korrespondierenden physiologischen Grenzen gegenübergestellt. Anatomische kniegelenksnahe Winkel und Normwerte (A), mechanische kniegelenksnahe Winkel und Normwerte (B), anatomischer tibiofemoraler Winkel (aTFA), anatomischer lateraler distaler Femurwinkel (aLDFA), anatomischer medialer proximaler Tibiawinkel (aMPTA), anatomischer lateraler distaler Tibiawinkel (aLDTA), mechnaischer tibiofemoraler Winkel (mTFA), mechnaischer lateraler distaler Femurwinkel (mLDFA), mechnaischer medialer proximaler Tibiawinkel (mMPTA), mechnaischer lateraler distaler Tibiawinkel (mLDTA), anatomisch-mechanischer Femurwinkel (AMA).

Abbildung nach M. Galla und PH. Lobenhoffer (133)

Siehe dazu auch **Abbildung 2.4.**

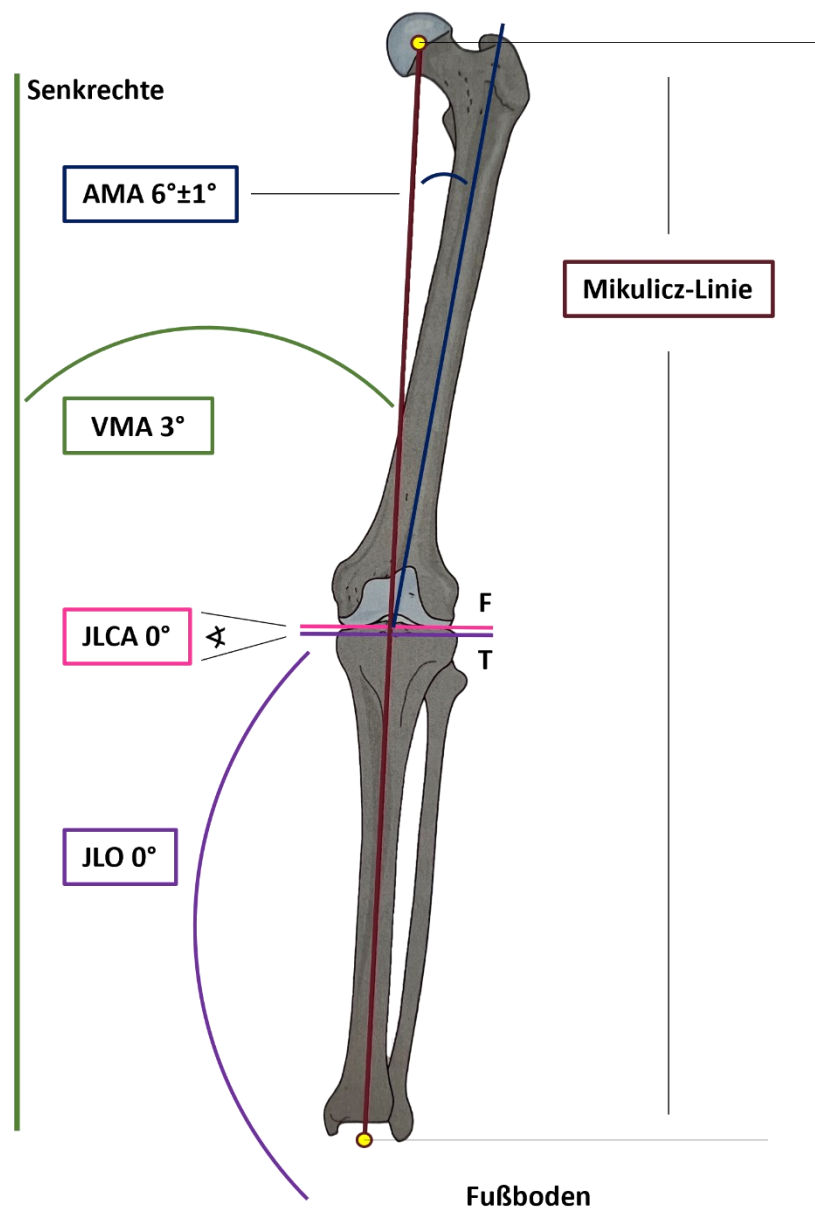


Abbildung 2.4: Schemazeichnung. Kniegelenksnahe Achsen und Gelenkwinkel in der Frontalebene, schematisch anhand eines linken Beines. Zusätzlich dargestellt die Orientierung im Raum, relativ zur senkrechten (Vertikalachse des Körpers) und horizontalen (Fußboden) Ebene. Femurkondylentangente (F), Tibiaplateautangente (T), Anatomisch-mechanischer Femurwinkel (AMA), vertikaler mechanischer Winkel (VMA), Gelenkslinienkonvergenzwinkel (JLCA), Schräge der Gelenkslinie (JLO), Traglinie des Beines (Mikulicz-Linie).

Abbildung nach M. Galla und PH. Lobenhoffer (133)

Siehe dazu auch **Abbildung 2.3**.

Die Literatur liefert keine einheitliche Definition für die Spannweiten der physiologischen Gelenkwinkel, bevor diese als verändert bzw. pathologisch gesehen werden. Eine gute Orientierungsgrundlage bietet Lobenhoffer *et al.* (133). Die hier definierten Grenzen für physiologische Gelenkwinkel entsprechen auch den, für dieses Forschungsvorhaben, zugrunde gelegten Grenzen. Eine Übersicht der physiologischen respektive pathologischen Gelenkwinkel geben **Abbildung 2.3** und **Abbildung 2.4**.

Die initiale Deformitätenanalyse zur Indikationsstellung der DLO erfolgte nach einem analogen Vorgehen. Nach Bestätigung der Indikation erfolgte die definitive OP-Planung ebenfalls nach diesem Vorgehen und unter Nutzung der digitalen Planungssoftware mediCAD®. Die in diesem Forschungsvorhaben verwendeten Daten der präoperativen Deformitätenanalyse und OP-Planung basieren auf den vom Operateur erstellten Messungen und Planung. Eine Vergleichbarkeit zu den postoperativen Ergebnissen, welche durch einen anderen Untersucher gemessen wurden, ist bei einer hohen interrater Reliabilität, für die landmarkenbasierte Planungssoftware mediCAD®, jedoch gewährleistet (64). Darüber hinaus besteht für diese Messmethode unter Verwendung besagter Planungssoftware, auch eine sehr hohe intrarater Reliabilität, sodass mehrere Messzeitpunkte (6-Wochen Follow-up und 8-Jahre Follow-up) bedenkenlos verglichen werden können (64).

2.8 Statistik

Die statistische Auswertung erfolgte mittels IBM® SPSS® Statistics Version 24 (Armonk, New York, Vereinigte Staaten) für Mac™OS (Cupertino, Kalifornien, Vereinigte Staaten). Gemäß des zentralen Grenzwerttheorems wurde bei einer Stichprobengröße von $n=53$ von einer Annäherung an eine Normalverteilung ausgegangen. Dementsprechend wurden bei Gruppengrößen über 30 Probanden parametrische Tests verwendet. Hierbei erfolgte die Analyse mit abhängigen oder unabhängigen T-Tests, wobei diesen jeweils ein Levene-Test auf Varianzgleichheit voraus ging. Bei Gruppenvergleichen respektive Mittelwertvergleichen, wobei die Gruppengrößen unter 30 Probanden (Endoprothetikgruppe) lag, kam der Mann-Whitney-U-Test zur Anwendung. Hierbei wurde die exakte Signifikanz ($2 \times$ (1-seitige Signifikanz)) betrachtet. Zur Analyse möglicher Risikofaktoren für eine Konversion zur Endoprothese wurde eine binär logistische Regressionsanalyse durchgeführt. Zusätzlich wurde ein Hosmer-Lemeshow-Test durchgeführt, um die Vorhersagewahrscheinlichkeit zu überprüfen.

Das statistische Signifikanzniveau wurde für alle Tests $p \leq 0,05$ festgelegt.

3 Resultate

3.1 Allgemeine Daten und Charakteristika des Studienkollektivs

Im Zeitraum zwischen September 2022 und März 2023 wurden insgesamt 45 Patienten (53 Knie), durchschnittlich $98,4 \pm 17,5$ Monate ($8,2 \pm 1,5$ Jahre) nach erfolgter DLO in die Studie eingeschlossen. Hiervon wurden 46 Knie klinisch und radiologisch nachuntersucht. Sieben weitere wurden ohne radiologische Untersuchung eingeschlossen (*vgl. Abb. 2.1*). In diesen Fällen konnte der erste Teil der Fragebögen (Fragebogen Selbstauskunft, *vgl. Anhang 2*) eigenständig von den Patienten ausgefüllt und der zweite Teil der Fragebögen (Fragebogen Interview, *vgl. Anhang 3*) im Telefongespräch durch den Untersucher erfasst werden. Somit ergibt sich eine gesamte Follow-up-Rate von 74,7%. Eine Übersicht der allgemeinen Daten und Charakteristika des gesamten Kollektivs zeigt **Tabelle 3.1**.

Tabelle 3.1: Allgemeine Daten und Charakteristika des gesamten Patientenkollektivs zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung.

	Ergebnis	Prozentual
Eingeschlossene Patienten	53	
Geschlechtsverteilung		
Männlich	40	75,5%
Weiblich	13	24,5%
Betroffene Seite		
Links	29	54,7%
Rechts	24	45,3%
Beobachtungs- zeitraum [Monate]	98,4 $\pm$ 17,5 (61,7-133,3)	
Alter [Jahre]	58,4 $\pm$ 7,6 (37,8-73,7)	
BMI [kg/m²]	30,4 $\pm$ 5,5 (20,3-48)	

Alle Werte sind arithmetische Mittelwerte $\pm$ SD (Spannweite), beziehungsweise n, (%).

Die Abfrage des Rauchverhaltens ergab für das Kollektiv elf aktive Raucher (21,2%) mit einer Rauchhistorie (PYs) von durchschnittlich

23,5±10,9 PYs (8-35). Darüber hinaus neun Ex-Raucher (17,3%) mit einer durchschnittlichen Rauchhistorie von 10,6±5,4 PYs (4-20). 32 Patienten gaben an nicht zu rauchen, eine Angabe wurde verweigert. Ein diagnostizierter Diabetes Mellitus Typ II bestand bei fünf Patienten (9,6%). In einem Fall bestand eine rheumatische Erkrankung und drei Patienten hatten eine Autoimmunerkrankung (Psoriasis mit Manifestation auf der Haut, eine okuläre Form der Myasthenia Gravis und eine Hashimoto Thyreoiditis).

Das durchschnittliche Alter zum Operationszeitpunkt lag bei 50,2 Jahren mit einer Altersverteilung zwischen 30,5-64,8 Jahren, respektive einer Spannweite von 34,3 Jahren.

Die Nachuntersuchungen erfolgten frühestens 5 Jahre (60 Monate) nach erfolgter DLO, um einen mittelfristigen Beobachtungszeitraum zu garantieren. COVID-19 (Coronavirus SARS-CoV-2) pandemiebedingt wurden die Nachuntersuchungen zwischenzeitlich ausgesetzt und erfolgten vorwiegend ab Mitte des Jahres 2022. Somit erfolgten die Nachuntersuchungen im Durchschnitt 8,2±1,5 Jahre (5,1-11,1) nach erfolgter DLO.

3.2 Überlebensraten nach DLO, Konversionsraten zur KTP und Komplikationen im Beobachtungsverlauf

Von allen Patienten, die zum Zeitpunkt der letzten Erfassung keine Endoprothese erhalten hatten, hatten 85,1% nach durchschnittlich $23,5 \pm 13,8$ Monaten (3-79) eine Metallentfernung der Plattenfixateure der DLO.

Zum Zeitpunkt der letzten Nachuntersuchung, hatten sechs Patienten eine Endoprothese erhalten. Somit ergab sich eine Überlebensrate (keine Konversion zur KTP im Beobachtungszeitraum) von 88,7% nach 8,2 Jahren. Auf frühere Zeitpunkte bezogen ergeben sich darüber hinaus eine 7-Jahres Überlebensrate von 92,5% und eine 5-Jahres Überlebensrate von 94,3%. Alle Patienten, die eine sekundäre Endoprothese benötigten, erhielten eine bikondyläre Oberflächenersatzprothese ohne höheren Kopplungsgrad. Die Implantation erfolgte durchschnittlich nach $61,7 \pm 27,4$ Monaten (24-96).

Die Komplikationserfassung ergab acht Komplikationen für das gesamte Kollektiv. Hiervon entfällt eine Komplikation (Abriss Drainage) auf einen der sechs Patienten, die zum Zeitpunkt der Erfassung bereits eine Endoprothese erhalten hatten. Sowohl genannte als auch drei der übrigen Komplikationen erforderten eine Revisionsoperation. Revisionsbedürftig waren zwei sekundäre, femorale Hingefrakturen, wobei beide Patienten jeweils eine additive, mediale Platte, erhielten. Außerdem führte ein postoperatives Serom zu einer Revisionsoperation. Insgesamt traten vier femorale Hingefrakturen auf, wobei eine bereits intraoperativ apparent und direkt mit einer medialen Abstützplatte versorgt wurde und eine konservativ behandelt, werden konnte. Die beiden verbleibenden Komplikationen stellten tiefe Beinvenenthrombosen (TVT) dar, welche mit einer temporären Antikoagulationstherapie behandelt wurden. **Tabelle 3.2** gibt einen Überblick hinsichtlich der Komplikationsverteilung und Übergang in eine Endoprothese.

Tabelle 3.2: Postoperativ aufgetretene Komplikationen, bezogen auf das gesamte Kollektiv und bezogen auf das mittelfristige Überleben (Konversion zur Endprothese).

		Gesamtes Kollektiv	Prozentanteil	Keine KTP	KTP
		n=53	100%	n=47	n=6
Komplikationen	Ja	8	15%	7	1
	Nein	45	85%	40	5
Davon					
Revisions-OP		4	50%	3	1
Hinge					
	femoral	4	50%	4	0
	tibial	0	0%	0	0
TVT		2	25%	2	0
Serom		1	12,5%	1	0
Abriss		1	12,5%	0	1
Drainage					

Alle Werte sind absolute Werte, beziehungsweise n, (%).

Tiefe Beinvenenthrombose (TVT), Knie-totalendoprothese (KTP).

Eine Analyse möglicher Risikofaktoren für einen frühzeitigen Übergang in eine Kniegelenksendoprothese wurden mittels binär logistischer Regressionsanalyse untersucht. Für die allgemeinen, patienten-bezogenen Faktoren BMI, Alter zum Zeitpunkt der OP, das biologische Geschlecht und den Raucherstatus bzw. die *pack years* des Patienten, ergab sich kein signifikant erhöhtes Risiko. Alle Faktoren ergaben einen *p value* größer 0,05 und eine *Odds Ratio* um 1 (1,009-1,110). Für den Faktor *Geschlecht* ergab sich im Hosmer-Lemeshow-Test ein *p value* kleiner 0,05, sodass von einer schlechten Vorhersagewahrscheinlichkeit für den ermittelten Regressionskoeffizienten und die *Odds Ratio* ausgegangen werden muss (*vgl. Tbl. 3.3*).

Tabelle 3.3: *Potenzielle Risikofaktoren für eine Konversion zur KTP. Dargestellt sind allgemeine und patienten-bezogene Faktoren sowie die präoperative Deformitätensituation und das postoperative Ergebnis. Die Analyse erfolgte mittels binärer logistischer Regressionsanalyse.*

	Odds Ratio	p value	Regressions -koeffizient	p value (Hosmer- Lemeshow-Test)
BMI	1,020	0,819	0,020	0,299
Alter	1,009	0,851	0,009	0,383
Geschlecht	0,341	0,218	-1,075	0,000*
PY	1,11	0,228	0,107	0,496
mTFA präOP	1,085	0,391	0,081	0,517
JLO präOP	0,906	0,627	-0,098	0,757
JLCA präOP	0,938	0,787	-0,064	0,124
mMPTA präOP	1,168	0,296	0,155	0,587
mLDFA präOP	0,900	0,299	-0,106	0,129
Keilhöhe femoral	1,348	0,263	0,299	0,943
Keilhöhe tibial	0,995	0,975	-0,005	0,814
mTFA postOP	1,083	0,677	0,080	0,399
JLO postOP	1,09	0,710	0,086	0,164
JLCA postOP	1,184	0,465	0,169	0,440
MPTA postOP	0,976	0,877	-0,025	0,426
LDFA postOP	0,977	0,891	-0,023	0,564

*. auf dem Niveau von 0,05 signifikant.

Body-Maß-Index (BMI), pack years (PY), mechanischer tibiofemoraler Winkel zum Zeitpunkt präoperativ (mTFA präOP), mechanischer, lateraler, distaler Femurwinkel zum Zeitpunkt präoperativ (mLDFA präOP), mechanischer, medialer, proximaler Tibiawinkel zum Zeitpunkt präoperativ (mMPTA präOP), Gelenkslinienkonvergenzwinkel zum Zeitpunkt präoperativ (JLCA präOP), Schräge der Gelenkslinie zum Zeitpunkt präoperativ (JLO präOP), mechanischer tibiofemoraler Winkel zum Zeitpunkt postoperativ (mTFA postOP), mechanischer, lateraler, distaler Femurwinkel zum Zeitpunkt postoperativ (mLDFA postOP), mechanischer, medialer, proximaler Tibiawinkel zum Zeitpunkt postoperativ (mMPTA postOP), Gelenkslinienkonvergenzwinkel zum Zeitpunkt postoperativ (JLCA postOP), Schräge der Gelenkslinie zum Zeitpunkt postoperativ (JLO postOP),

Auch die präoperative Deformitätensituation und das postoperative Ergebnis wurden als mögliche Risikofaktoren für einen Übergang in eine KTP untersucht. Sowohl das präoperative Ausmaß der Achsdeformität (mTFA präOP), als auch das Ausmaß der Deformität, der einzelnen Gelenkwinkel (mMPTA präOP und mLDFA präOP) stellten kein signifikant erhöhtes Risiko für eine Konversion zur KTP dar (**vgl. Tbl. 3.3**). Darüber hinaus stellten auch die präoperative Schräge

der Gelenkslinie (JLO präOP) und der Gelenkslinienkonvergenzwinkel (JLCA präOP), kein signifikantes Risiko dar (**vgl. Tbl. 3.3**).

Präoperativ bestand in der Gruppe der späteren Endoprothesen eine Varus-Fehlstellung (mTFA) von $-10,1^{\circ} \pm 2,6^{\circ}$ und damit eine äquivalente Varusfehlstellung im Vergleich zu den Patienten ohne Konversion zur KTP. Darüber hinaus bestand äquivalent zum Gesamtkollektiv eine kombinierte Deformität aus distalem Femur (mLDFA) und proximaler Tibia (mMPTA). Letztlich zeigten sich auch die präoperative Schräge der Gelenkslinie (JLO) und der Gelenkslinienkonvergenzwinkel (JLCA) vergleichbar zu den Patienten, die keine Endoprothese erhielten (**vgl. Tbl. 3.4**). Die genauen Werte der einzelnen Gruppen sind **Tabelle 3.4** zu entnehmen.

Tabelle 3.4: Radiologische Parameter im Gruppenvergleich. Ergebnisse der präoperativen Deformitätenanalyse, separiert nach einem späteren Übergang in eine Endoprothese. Vergleich der Gruppen Konversion zur KTP (n=6) und keine Konversion zur KTP (n=47).

	KTP	keine KTP	Differenz	p value
mTFA [°]	-10,1±2,6	-10,2±2,7	0,1	0,837
mLDFA [°]	90,7±1,5	91,5±2,1	-0,8	0,450
mMPTA [°]	84,2±3,8	84,6±2,1	-0,4	0,816
JLCA [°]	3,6±1,1	3,3±1,9	0,3	0,593
JLO [°]	3,4±2,5	2,8±1,8	0,5	0,651

Alle Werte sind arithmetische Mittelwerte±SD.

*. Gepaarte Differenzen sind auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Gruppe aus Patienten mit Übergang in eine Knieendoprothese während des Beobachtungsverlauf (KTP), Gruppe aus Patienten ohne Übergang in eine Knieendoprothese während des Beobachtungsverlauf (keine KTP), mechanischer tibiofemoraler Winkel (mTFA), mechanischer, lateraler, distaler Femurwinkel (mLDFA), mechanischer, medialer, proximaler Tibiawinkel (mMPTA), Gelenkslinienkonvergenzwinkel (JLCA), Schräge der Gelenkslinie (JLO).

Auch das postoperative Ergebnis der Beinachse (mTFA postOP) und der einzelnen Gelenkwinkel (mMPTA postOP, mLDFA postOP) stellten kein signifikantes Risiko für eine Konversion zur KTP dar. Ebenfalls stellen die postoperativ resultierende Schräge der Gelenkslinie (JLO postOP) und der Gelenkslinienkonvergenzwinkel (JLCA postOP) kein signifikant erhöhtes Konversionsrisiko dar (**vgl. Tbl. 3.3**). Die absoluten Werte der einzelnen Gruppen

sind in **Tabelle 3.5** dargestellt. Das absolute Korrekturausmaß entsprechend den Keilhöhen an Femur und Tibia stellte ebenfalls kein signifikantes Risiko für eine Konversion zur KTP dar (*vgl. Tbl. 3.4*).

Tabelle 3.5: Radiologische Parameter im Gruppenvergleich. Postoperative Ergebnisse, separiert nach einem späteren Übergang in eine Endoprothese. Vergleich der Gruppen Konversion zur KTP (n=6) und keine Konversion zur KTP (n=47).

	KTP	keine KTP	Differenz	p value
mTFA [°]	0,2±3,6	0,8±2,0	-0,6	0,967
mLDFA [°]	87,3±1,4	86,5±2,2	0,7	0,450
mMPTA [°]	90,6±3,1	91,1±2,2	-0,5	0,945
JLCA [°]	3,0±1,0	3,8±2,2	-0,8	0,450
JLO [°]	2,5±2,5	2,8±2,1	-0,3	0,501
Keilhöhe femoral [mm]	4,7±1,6	5,6±2,0	-1,0	0,275
Keilhöhe tibial [mm]	8,0±3,7	8,2±2,8	-0,2	0,902

Alle Werte sind arithmetische Mittelwerte±SD.

*. Gepaarte Differenzen sind auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Gruppe aus Patienten mit Übergang in eine Knieendoprothese während des Beobachtungsverlauf (KTP), Gruppe aus Patienten ohne Übergang in eine Knieendoprothese während des Beobachtungsverlauf (keine KTP), mechanischer tibiofemoraler Winkel (mTFA), mechanischer, lateraler, distaler Femurwinkel (mLDFA), mechanischer, medialer, proximaler Tibiawinkel (mMPTA), Gelenkslinienkonvergenzwinkel (JLCA), Schräge der Gelenklinie (JLO).

In abschließender Konsequenz wurden auch die letzten, *in domo*, angefertigten Röntgenaufnahmen der Patienten vor Übergang in die Endoprothese analysiert und auf mögliche relevante Achsabweichungen über den Beobachtungsverlauf untersucht. Im Durchschnitt wurden diese Röntgenaufnahmen 52,8±36,4 Monate (Range: 13-114) nach erfolgter DLO angefertigt.

Während des postoperativen Beobachtungsverlaufs zeigte sich für die Beinachse respektive mTFA, bei den Patienten mit späterem Übergang in eine Endoprothese, eine Veränderung von 1,0°±2,3°, welche sich im Gruppenvergleich (6 Wochen vs. 52,8 Monate) mit p=0,359 als nicht statistisch signifikant erwies. Hier muss jedoch auf die geringe Stichprobengröße verwiesen werden.

3.3 Klinisch-funktionelle Untersuchungsergebnisse

Zur Darstellung der klinischen und funktionellen Ergebnisse, wurden alle Patienten, die im Beobachtungsverlauf eine Endoprothese erhalten haben, ausgeschlossen. Eine Übersicht der allgemeinen Daten und Charakteristika der Patienten zeigt **Tabelle 3.6**.

Tabelle 3.6: Allgemeine Daten und Charakteristika aller Patienten, ohne Übergang zur Endoprothese, zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung.

	Ergebnis	Prozentual
Patienten ohne Konversion zur KTP	47	
Geschlechtsverteilung		
Männlich	37	78,7%
Weiblich	10	21,3%
Betroffene Seite		
Links	24	51,1%
Rechts	23	48,9%
Raucher		
Ja	10	21,3%
Nein	29	61,7%
Früher	7	14,9%
Keine Angabe	1	2,1%
Beobachtungszeitraum [Monate]	98,4±18,0 (61,7-133,3)	
Alter [Jahre]	58,5±7,8 (37,8-73,7)	
BMI [kg/m²]	30,5±5,3 (21,5-48)	
PYs [Packs*Jahre]	19,9±11,2 (4-35)	

Alle Werte sind arithmetische Mittelwerte±SD (Spannweite), beziehungsweise n, (%).

Knietotalendoprothese (KTP), Pack years (PYs).

Die klinische Untersuchung und Funktionsuntersuchung des Kniegelenks ergab keine Auffälligkeiten hinsichtlich Gelenksergüssen, Bandstabilitäten, Weichteilverhältnissen, Bewegungsumfang sowie Motorik und Sensibilität. Eine Übersicht über die Untersuchungsergebnisse geben die Ergebnisse des *IKDC — objektiver Knieevaluationsscore*. **Abbildung 3.2** zeigt die Häufigkeitsverteilung der Gruppengrade im Überblick. Im Mittel zeigt sich ein Bewegungsumfang der betroffenen Seite von Flex/Ex 0-2-123° ($2,4 \pm 4,2^\circ$ Streckhemmung und $123,1 \pm 14,5^\circ$ Flexion) im Vergleich zu einem Bewegungsumfang der Gegenseite von Flex/Ex 0-1-125° ($1,4 \pm 3,0^\circ$ Streckhemmung und $125,8 \pm 13,1^\circ$ Flexion).

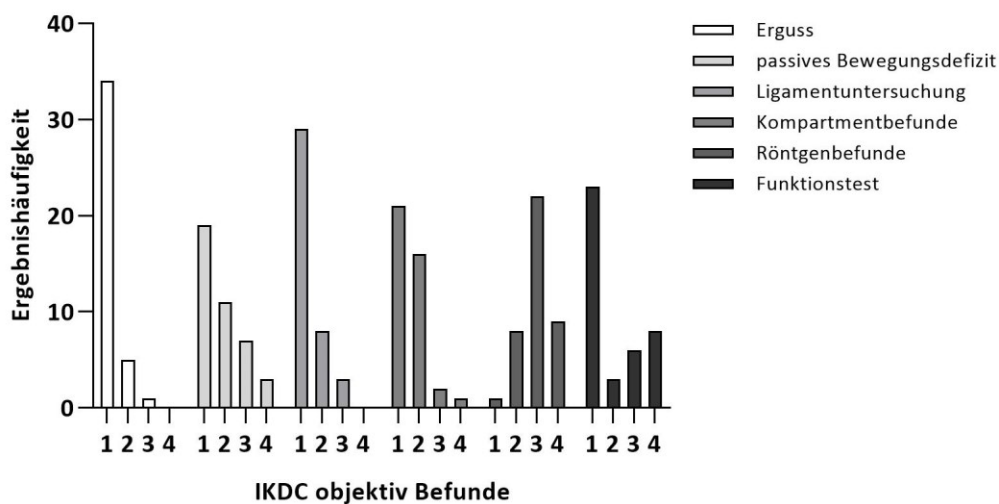


Abbildung 3.1: Säulendiagramm. Häufigkeitsverteilung der einzelnen Bereiche des IKDC objektiv. 1 entspricht dabei einer Gruppierung A und somit normalen Kniegelenksverhältnissen. 2 entspricht Gruppe B und damit leichten Einschränkungen, 3 entspricht Gruppe C und somit mittleren Einschränkungen, 4 entspricht Gruppe D und somit starken Einschränkungen und 5 entspräche Gruppe E und damit massiven Einschränkungen.

Hinsichtlich der postoperativen Arbeitsunfähigkeit zeigten sich eine Spannweite zwischen 28 Tage (4 Wochen) und 395 Tagen (56 Wochen). Im Mittel ergab sich ein Zeitraum von $106,5 \pm 78,8$ Tagen ($15,3 \pm 11,3$ Wochen) der postoperativen Arbeitsunfähigkeit. Die körperliche Arbeitsbelastung wurde sowohl prä- als auch postoperativ anhand der REFA-Klassifikation erfasst und in **Abbildung 3.3** für das gesamte Kollektiv abgebildet.

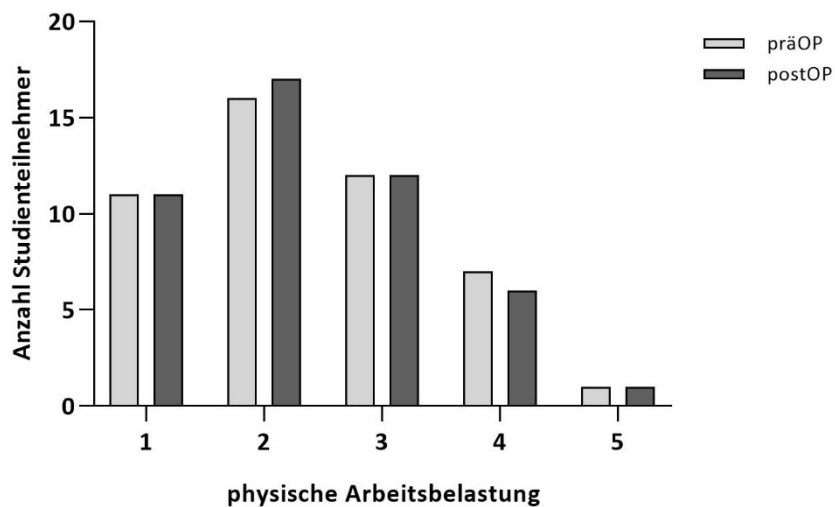


Abbildung 3.2: Säulendiagramm. Verteilung der physischen Arbeitsbelastung des gesamten Kollektivs zum Zeitpunkt vor der Operation und im Vergleich, zum Zeitpunkt der Erfassung im mittelfristigen Follow-up. Einteilung mittels REFA-Klassifikation. präOP: Physische Arbeitsbelastung präoperativ, postOP: Physische Arbeitsbelastung zum Erfassungszeitpunkt im Langzeit-Follow-up.

Im prä- zu postoperativen Vergleich zeigt sich ein sehr ähnliches Bild, wobei sich lediglich bei vier Patienten die körperliche Arbeitsbelastung im Beobachtungsverlauf änderte und hierbei zwei Patienten postoperativ einer höheren körperlichen Arbeitsbelastung ausgesetzt waren. 45/47 Patienten konnten somit an Ihren angestammten Arbeitsplatz oder einen Arbeitsplatz mit äquivalenter, oder sogar erhöhter, körperlicher Arbeitsbelastung zurückkehren. Der Tegner Activity Scale bildet neben der Arbeitsbelastung auch Sportfähigkeit und körperliche Freizeitaktivität ab. Eine Übersicht des Aktivitätsgrades zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung gibt **Abbildung 3.4**.

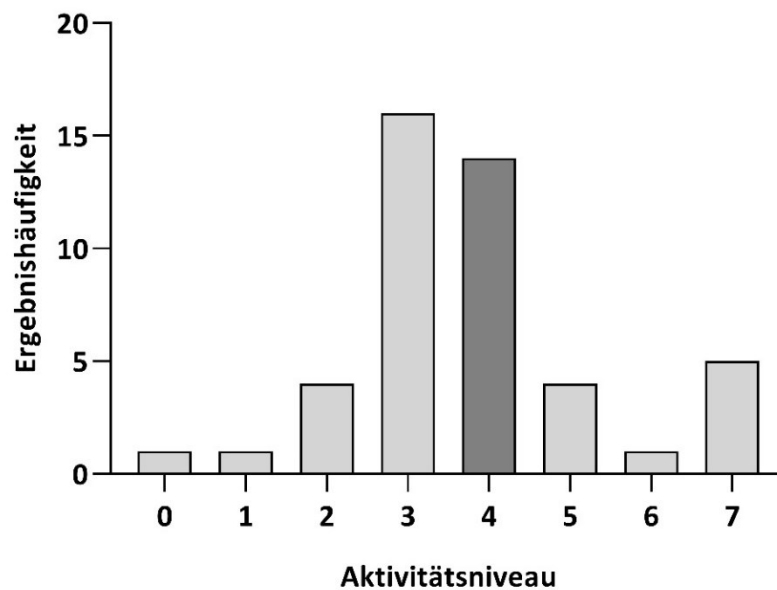


Abbildung 3.3: Säulendiagramm. Häufigkeitsverteilung des Aktivitätsniveaus des Kollektivs zum mittelfristigen Nachbeobachtungszeitpunkt. Median in dunkelgrau.

Ein Aktivitätsgrad von 0-2 entspricht einem Aktivitätsniveau ohne Sportfähigkeit. Hierunter sind sechs Patienten (13,0%) einzuordnen. Ein Aktivitätsgrad zwischen 3-4 entspricht regelmäßigem Freizeitsport und mittelschwerer, körperlicher Arbeit, worunter ein Großteil des Kollektivs (30 Patienten respektive 65,3%) einzuordnen sind. Zehn Patienten (21,7%) hatten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung ein Aktivitätsniveau zwischen 5-7 entsprechend einer sportlichen Betätigung mit Wettkampfteilnahme, wobei *High-impact* Sportarten eingeschlossen sind. Ein Aktivitätsniveau ab 8 entspricht einem leistungsorientierten Wettkampfsport bis hin zur Teilnahme an internationalen Meisterschaften (Aktivitätsniveau Grad 10).

3.4 Etablierte klinische Scores

3.4.1 Lysholm Score

Das Studienkollektiv erreichte durchschnittlich $78,3 \pm 20,1$ Punkte (Range 11-100) im Lysholm Score. Dieser Punktwert ist in der Kategorie drei mit einem Ergebnisbereich zwischen 65-83 Punkten in der oberen Hälfte einzuordnen. Das Ergebnis ist somit als *fair* respektive angemessen hinsichtlich der Kniegelenksfunktion und bestehender Einschränkungen zu bewerten. **Abbildung 3.5 A** zeigt das Ergebnis des Lysholm Scores mit relevanten Kenngrößen.

3.4.2 OKS

Für den OKS zeigt sich ein Gesamtergebnis von $36,1 \pm 9,9$ Punkten (Range 13-48). Bei einer Spannweite zwischen 0-48 möglichen Punkten, ist das Ergebnis damit im obersten Drittel einzuordnen. Interpretiert werden kann dies als leichte Einschränkungen respektive Beschwerden im betroffenen Kniegelenk. **Abbildung 3.5 B** zeigt das Ergebnis des KS mit relevanten Kenngrößen.

3.4.3 IKDC subjektiv

Das Ergebnis des IKDC subjektiv ergab für das Studienkollektiv im Durchschnitt einen Wert von $61,2 \pm 21,5\%$ (18-99). Bei einer Spanweite von 0-100% ist das Ergebnis als mittlere Einschränkung beziehungsweise moderate Beschwerden im Bereich des betroffenen Kniegelenks zu interpretieren. **Abbildung 3.5 C** zeigt das Ergebnis des IKDC subjektiv mit relevanten Kenngrößen.

3.4.4 Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score

Für den KOOS erfolgte sowohl eine Auswertung der einzelnen Dimensionen als auch eine Aufsummierung dieser zu einem Gesamtwert. Die erste Dimension Schmerz erreichte ein durchschnittliches Ergebnis von $70,9 \pm 22,0$ Punkten (22,2-100). Die Dimension Symptome erreichte ein Ergebnis von $68,6 \pm 22,9$ (28,6-100), die Dimension der Alltagsaktivität ein Ergebnis von $75,6 \pm 22,6$ (25-100), die Dimension Sport und Freizeit ein Ergebnis von $41,0 \pm 27,6$ (0-90) und die allgemeine Lebensqualität ein Ergebnis von $53,4 \pm 26,5$ (6,3-100). Somit ergab sich ein Gesamtergebnis von $309,4 \pm 111,5$ (98,3-478,8). Entsprechend einem maximalen Ergebnis von 100 Punkten pro Dimension respektive 500 Punkten für das aufsummierte Ergebnis, entsprechen die Ergebnisse der Dimensionen Schmerz, Symptome und Alltagsaktivität einem angemessenen bis guten, Ergebnis. Die Dimensionen Sport und Freizeit, sowie die allgemeine Lebensqualität ist als ausreichend einzustufen. Das Gesamtergebnis kann ebenfalls als angemessen bis gut interpretiert werden.

Abbildung 3.5 D und **Abbildung 3.5 E** zeigt die Ergebnisse der einzelnen Dimensionen sowie das aufsummierte Ergebnis, mit relevanten Kenngrößen.

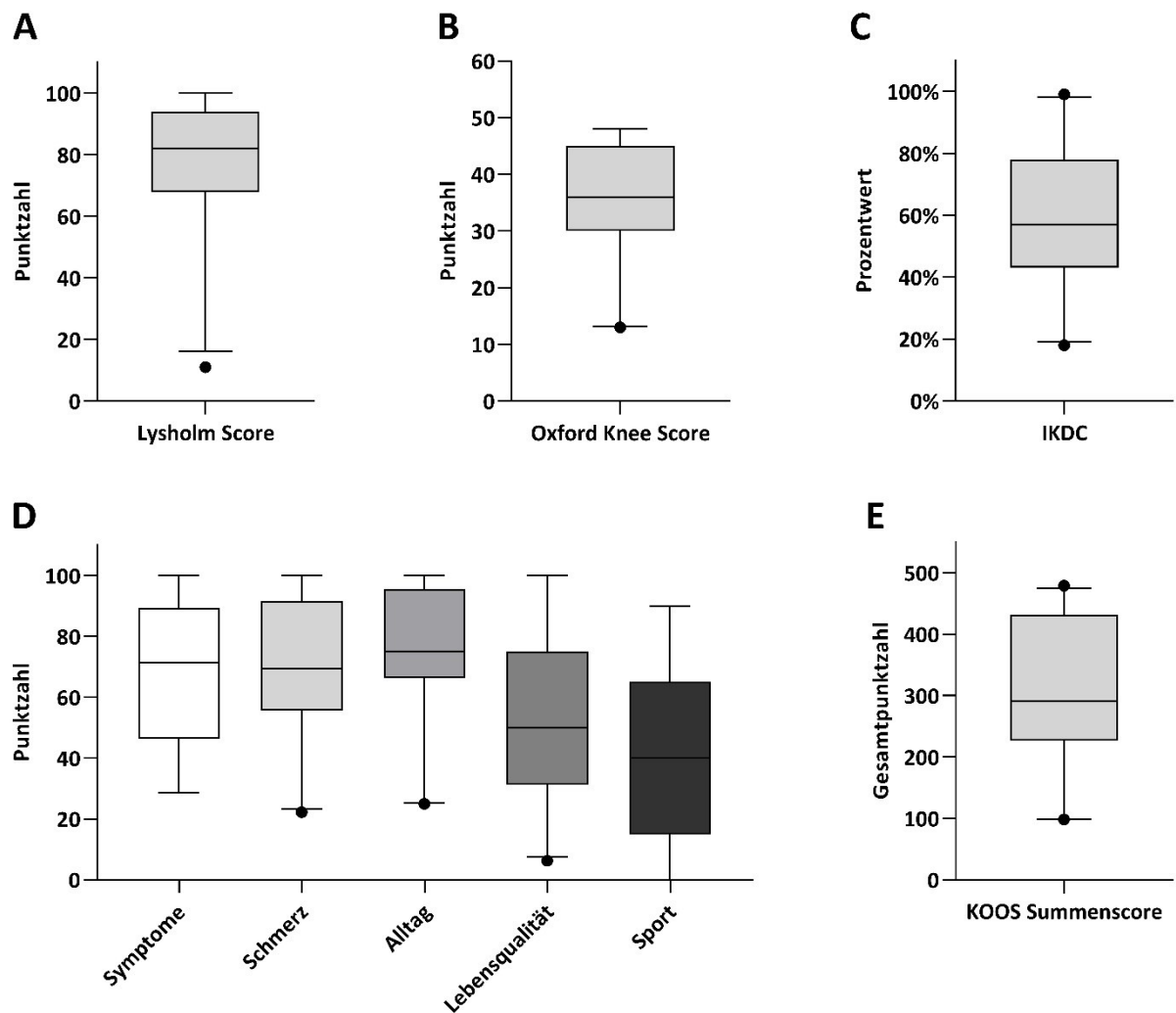


Abbildung 3.4: Boxplots. Ergebnisse der klinischen Scores zum Erfassungszeitpunkt des mittelfristigen Follow-ups. **A** Ergebnis des Lysholm Scores, **B** Ergebnis des Oxford Knee Scores, **C** Ergebnis des IKDC subjektiv. **D** Ergebnisse der einzelnen Subskalen und **E** des Summenscores des Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Oberer und unterer Whisker entsprechen in der Darstellung der 97,5%-Quantile respektive der 2,5%-Quantile. IKDC subjektiv (IKDC), Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Scores (KOOS).

3.5 Subjektive gesundheitsbezogene Lebensqualität und Parameter der Patienten Zufriedenheit

3.5.1 Short Form (SF-36)

Alle Rohwerte des SF-36 wurden in die normbasierte Variante konvertiert. Hierzu erfolgte die Adjustierung an Alters-, Geschlechts- und geographische Unterschiede. **Abbildung 3.6** gibt einen Überblick über die Ergebnisse der einzelnen Subskalen, relativ zur Normalbevölkerung.

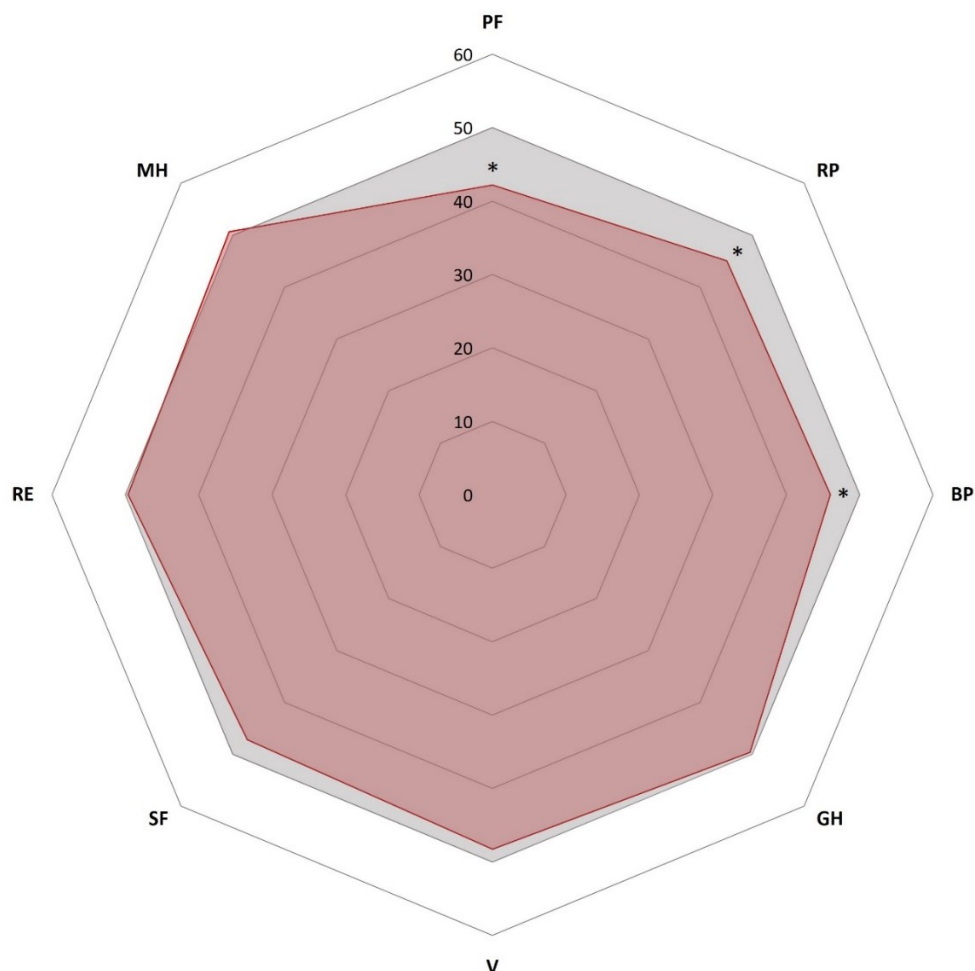


Abbildung 3.5: Netzdiagramm. Ergebnisse aller Subskalen des SF-36 im Verhältnis zu Werten der Normalbevölkerung, im mittelfristigen Follow-up. Alle Werte sind an Alters- Geschlechts- und Geographische Unterschiede adjustiert. PF: körperliche Funktionsfähigkeit, RP: körperliche Rollenfunktion, BP: körperliche Schmerzen, GH: allgemeine Gesundheitswahrnehmung, V: Vitalität, SF: soziale Funktionsfähigkeit, RE: emotionale Rollenfunktion, MH: psychisches Wohlbefinden, NB: Normalbevölkerung.

Es zeigt sich vor allem in den physisch betonten Subskalen (PF, RP und BP) eine Abweichung zu Werten der Normalbevölkerung. Die Subskalen der psychischen Gesundheit zeigen lediglich im Fall von Vitalität und Sozialer Rollenfunktion eine diskrete Abweichung zur Normalbevölkerung, während die Emotionale Rollenfunktion und das Psychische Wohlbefinden keine Abweichungen zeigen. In **Tabelle 3.7** sind neben den absoluten Werten des SF-36 auch die jeweiligen Differenzen zur Normalbevölkerung dargestellt. Im Paarvergleich zeigt sich eine signifikante Abweichung zur Normalbevölkerung für die körperliche Funktionsfähigkeit ($p<0,001$), die Körperliche Rollenfunktion ($p=0,004$) und die Körperlichen Schmerzen ($p=0,002$). Alle übrigen Subskalen zeigen keine statistisch signifikante Abweichung zu Werten der Normalbevölkerung.

Tabelle 3.7: Ergebnisse des SF-36 in der normbasierten Variante. Differenzen der einzelnen Subskalen sowie der Summenscores relativ zur Normalbevölkerung und korrespondierende Signifikanzen.

	PF	RP	BP	GH	PCS
Ergebnis	42,2±10,6	45,1±11,0	46,0±8,2	49,6±11,9	43,4±10,5
Mittlere Diff. zu NB	-7,8*	-4,9*	-4,0*	-0,4	-6,6*
Signifikanz [p value]	0,000	0,004	0,002	0,836	0,000
	V	SF	RE	MH	MCS
Ergebnis	48,3±9,4	47,2±10,6	49,6±10,6	50,7±7,7	50,7±9,4
Mittlere Diff. zu NB	-1,7	-2,8	-0,7	0,7	0,7
Signifikanz [p value]	0,222	0,080	0,669	0,519	0,607

Alle Werte sind arithmetische Mittelwerte±SD

*. Gepaarte Differenzen sind auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Körperliche Funktionsfähigkeit (PF), körperliche Rollenfunktion (RP), körperliche Schmerzen (BP), allgemeine Gesundheitswahrnehmung (GH), Vitalität (V), soziale Funktionsfähigkeit (SF), emotionale Rollenfunktion (RE) und psychisches Wohlbefinden (MH), physical health component summary score (PCS), mental health component summary score (MCS), Normalbevölkerung (NB), Differenz (Diff.)

Zur vereinfachten Interpretation des SF-36 können zwei Summenscores gebildet werden. Hierzu werden die einzelnen Subskalen (in der normbasierten Skalierung) unterschiedlich gewichtet und aufsummiert. Aus den Subskalen der physischen Komponenten wird so der PCS, stellvertretend für die physische Gesundheit, gebildet. Äquivalent wird aus den Subskalen der psychischen Komponenten MCS, stellvertretend für die mentale Gesundheit gebildet.

Auf Grund der starken Gewichtung der physischen Subskalen zeigt sich analog zu PF, RP und BP auch für PCS eine signifikante Reduktion ($p < 0,001$) im Vergleich zur Normalbevölkerung. MCS, mit starker Gewichtung der psychischen Subskalen, zeigt ein zu Werten der Normalbevölkerung vergleichbares Ergebnis, ohne statistisch signifikante Abweichung. Die exakten Werte der Summenscores sind in **Tabelle 3.7** aufgeführt.

3.5.2 EQ-5D-5L

Der EQ-5D-5L ergibt für jeden Patient, einen individuellen Zahlencode, wobei jede Ziffer für eine Dimension steht und auch separat betrachtet werden muss. Eine Auflistung der individuellen Ergebnisse erscheint jedoch wenig sinnvoll und ist nur begrenzt interpretierbar. Somit wird die Häufigkeitsverteilung der Ergebnisse des Kollektivs über die einzelnen Dimensionen betrachtet. **Abbildung 3.7** zeigt die Häufigkeitsverteilungen des Kollektivs über alle fünf Dimensionen hinweg.

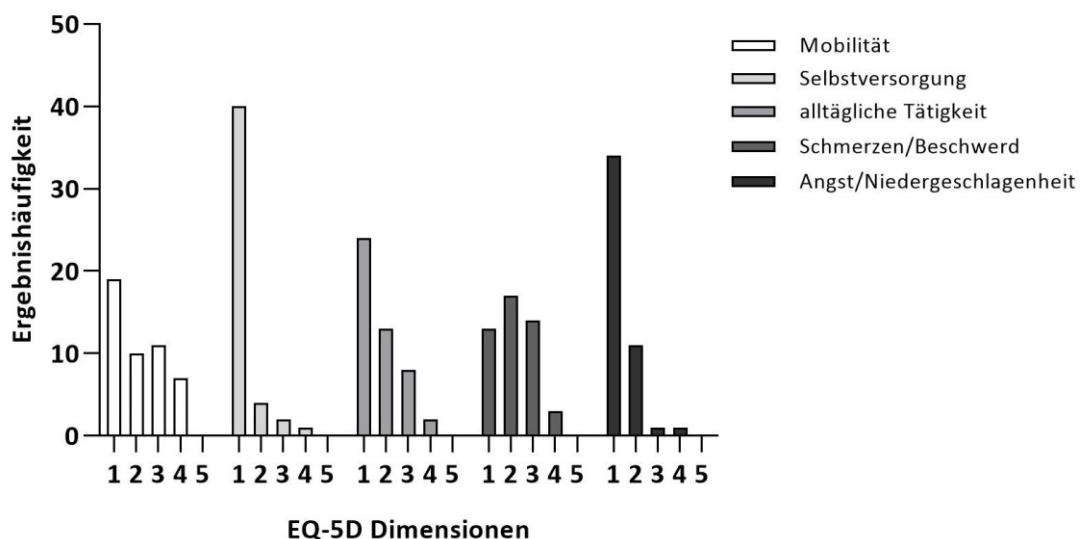


Abbildung 3.6: Säulendiagramm. Häufigkeitsverteilung der einzelnen Dimensionen des EQ-5D für das gesamte Kollektiv.

Innerhalb einer Dimension (Ordinalskalen) können mehrere Patienten zusammengefasst und als Kollektiv ausgewertet werden. Die Zusammenfassung, der sich für jede Dimension ergebenden Mediane, stellt damit den fiktiven Patienten, welcher repräsentativ für das Kollektiv ist, dar. Das mediane Ergebnis des Kollektivs ist: **2-1-2-2-1**. Eine detaillierte Darstellung bietet **Abbildung 3.8**.

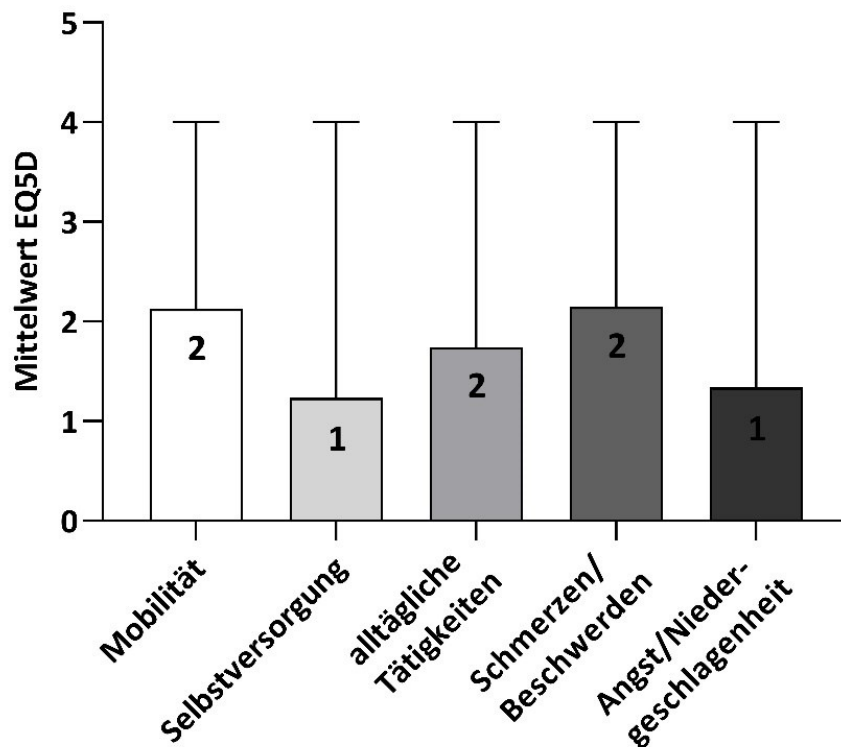


Abbildung 3.7: Boxplots. Mittelwerte der einzelnen Dimensionen für das gesamte Kollektiv, stellvertretend für einen fiktiven Patienten. Die Höhe der Balken zeigt dabei das arithmetische Mittel, zusätzlich angegeben ist der Median. Der obere Whisker gibt die Streuung an.

3.5.3 Parameter der allgemeinen Zufriedenheit

Die allgemeine Zufriedenheit der Patienten gemessen anhand einer NRS ergab im Mittel (Median) eine Zufriedenheit von 8 (Range 0-10) mit einer Häufigkeitsverteilung wie in **Abbildung 3.9 A** dargestellt.

Speziell die Zufriedenheit mit dem Gesamtergebnis der operativen Behandlung zeigt ein ähnliches Bild. Die meisten Patienten gaben an mit dem Behandlungsergebnis zufrieden oder darüber sogar erfreut zu sein. Werden Patienten, die eine ausreichende Zufriedenheit mit dem Behandlungsergebnis angaben, ebenfalls noch zu dieser Gruppe dazu gezählt, umfasst dies 89,8% aller Patienten (**vgl. Abbildung 3.9 B**).

Neben und für die Zufriedenheit mit dem Behandlungsergebnis, spielt auch die Erwartungshaltung an die Behandlung eine große Rolle. 63,8% der Patienten gab an, dass ihre Erwartungen an die Behandlung und das Behandlungsergebnis erfüllt wurden. 19,1% gaben sogar an, dass ihre Erwartungen übertroffen wurden. **Abbildung 3.9 C** zeigt die Häufigkeitsverteilung hinsichtlich der Erfüllung der Erwartungen an Behandlung und Behandlungsergebnis auf.

Letztlich gaben 89% der Patienten, die zum Zeitpunkt der finalen Erfassung, keine Endoprothese erhalten hatten, an die Operation erneut durchführen zu lassen (**vgl. Abbildung 3.9 D**).

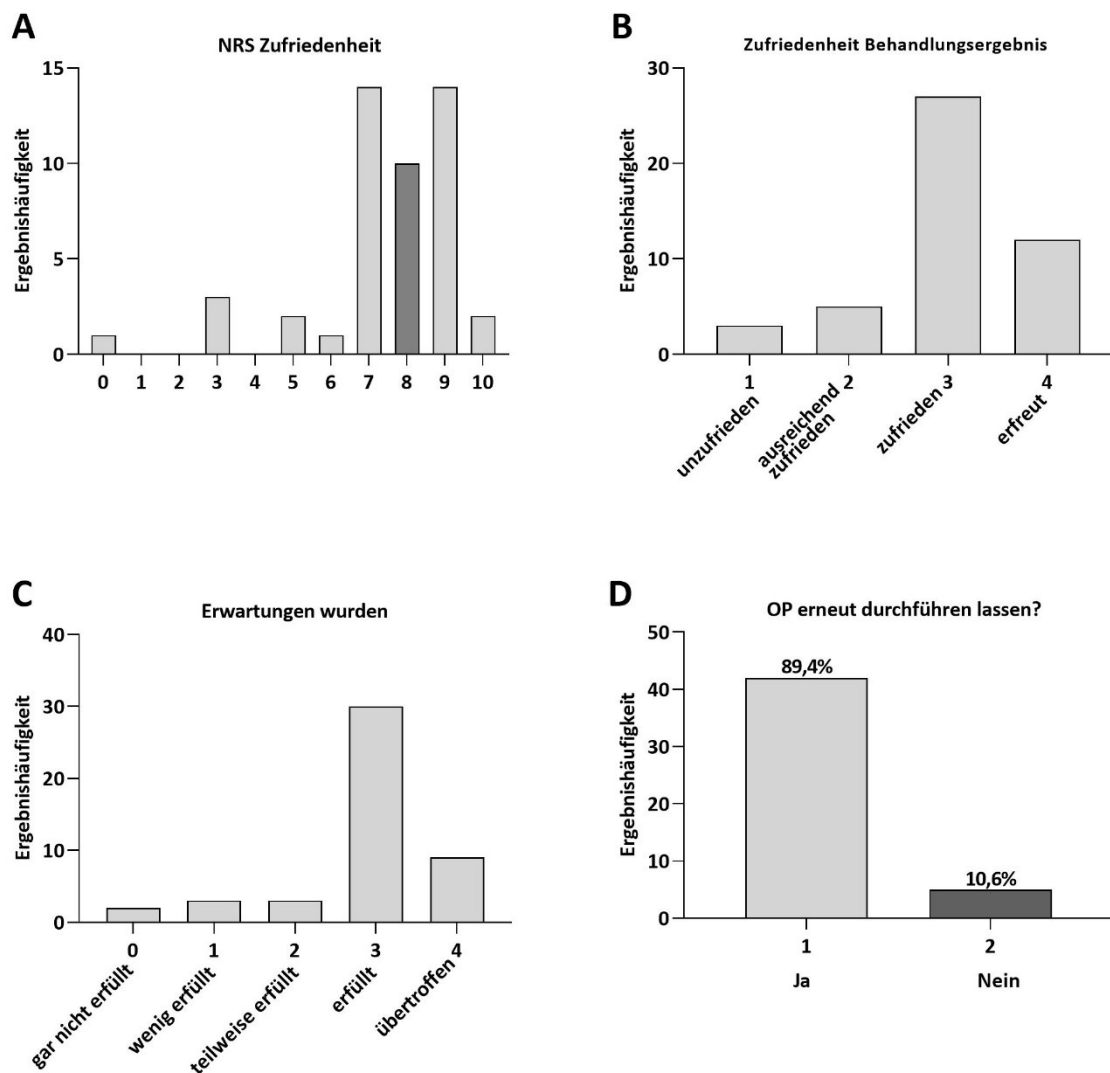


Abbildung 3.8: Säulendiagramme. Parameter der allgemeinen Patientenzufriedenheit und Erfüllung der Erwartungshaltungen. **A** Häufigkeitsverteilung der NRS der allg. Patientenzufriedenheit, **B** Zufriedenheit mit dem Behandlungsergebnis, jeweils für das gesamte Kollektiv. **C** Erfüllung der Erwartungshaltungen der Patienten über eine 5-stufige Antwortskala. **D** gibt in einer binären Antwortskala an, ob die Patienten mit dem Wissensstand zum Zeitpunkt der mittelfristigen Nachuntersuchung, die OP respektive Behandlung erneut durchführen lassen würden.

3.6 Radiologische Ergebnisse

Eine Übersicht der gesamten Deformitätenanalyse präoperativ sowie der Planung und der postoperativen Messungen gibt **Tabelle 3.8**.

Präoperativ wiesen alle Patienten eine Genuvarus-Deformität mit einem durchschnittlichen mTFA von $-10,2^{\circ} \pm 2,7^{\circ}$ ($-16,7^{\circ}$ - $-5,8^{\circ}$) auf. Die Durchschnittswerte für mL DFA $91,5^{\circ} \pm 2,1^{\circ}$ ($85,9^{\circ}$ - 98°) und mMPTA $84,6^{\circ} \pm 2,1^{\circ}$ ($78,3^{\circ}$ - $88,9^{\circ}$) zeigen ebenfalls das Bild einer Varus-Deformität im Kniegelenk. Hierbei liegen unphysiologische Winkel sowohl tibial als auch femoral vor, was eine kombinierte Deformität mit tibialer und femoraler Ursache der Varus-Deformität anzeigt.

Die operative Planung zeigte eine physiologische Beinachse mit einem geplanten mTFA von $1,6^{\circ} \pm 0,7^{\circ}$ ($0,3^{\circ}$ - $3,0^{\circ}$) und damit einer diskreten Überkorrektur im Sinne von $1,6^{\circ}$ Valgus. Die einzelnen Gelenkwinkel lagen alle innerhalb der als physiologisch anzusehenden Grenzen. Hierfür wurden entsprechend eine femorale Keilhöhe mit $5,6 \pm 2,0$ mm und eine tibiale Keilhöhe mit $8,2 \pm 2,8$ mm geplant.

Die röntgenologische Erfassung und Auswertung zum Zeitpunkt sechs Wochen postoperativ, kann als Operationsergebnis hinsichtlich der Achskorrektur betrachtet werden. Im Mittel wurde eine physiologische Beinachse mit einem mTFA von $0,8^{\circ} \pm 2,0^{\circ}$ ($-4,0^{\circ}$ - $4,5^{\circ}$) erreicht. Sowohl mL DFA mit $86,5^{\circ} \pm 2,1^{\circ}$ ($81,1^{\circ}$ - $91,0^{\circ}$) als auch mMPTA mit $91,1^{\circ} \pm 2,2^{\circ}$ ($86,1^{\circ}$ - $96,9^{\circ}$) zeigten sich innerhalb der physiologischen Grenzen, sodass sowohl eine Korrektur der femoralen als auch der tibialen Deformität durchgeführt wurde.

Zum letzten Erfassungszeitpunkt 8,2 Jahre nach erfolgter DLO zeigten sich weiterhin alle erfassten Werte der Deformitätenanalyse innerhalb der physiologischen Grenzen. Die Beinachse ergab eine diskrete Varus-Stellung mit einem mTFA von $-0,8^{\circ} \pm 2,5^{\circ}$ ($-7,5^{\circ}$ - $3,0^{\circ}$).

Tabelle 3.8: Radiologische Parameter des Kollektivs. Deskriptive Darstellung der präoperativen Deformitätenanalyse, der operativen Planung, des postoperativen Ergebnisses und des langzeit Follow-ups.

	präOP	Planung	postOP	Follow up
Mikulicz [mm]	822,7±54,2	828,0±54,7	824,0±53,7	824,9±54,8
Range (Mikulicz [mm])	704-927	706-932	689-921	699-941
AMA [°]	6,3±1,1	7,0±1,1	6,9±1,2	7,1±1,2
Range (AMA [°])	3,2-9,1	3,9-9,8	3,9-9,6	5,0-9,6
mTFA [°]	-10,2±2,7	1,6±0,7	0,8±2,0	-0,8±2,5
Range (mTFA [°])	-16,7--5,8	0,3-3,0	-4,0-4,5	-7,5-3,0
mLDFA [°]	91,5±2,1	86,3±1,2	86,5±2,2	86,9±2,4
Range (mLDFA [°])	85,9-98	83,3-89,0	81,1-91,0	81,9-91,9
mMPTA [°]	84,6±2,1	91,1±1,2	91,1±2,2	90,3±2,5
Range (mMPTA [°])	78,3-88,9	88,6-93,6	86,1-96,9	84,1-95,2
JLCA [°]	3,3±1,9	3,2±1,8	3,8±2,2	4,5±1,9
Range (JLCA [°])	0,2-9,4	0,2-9,4	0,2-11,2	0,0-9,1
JLO [°]	2,8±1,8		2,8±2,1	3,1±2,1
Range (JLO [°])	0,3-6,9		0,3-8,1	0,0-10,2
Keilhöhe femoral [mm]		5,6±2,0		
Range [mm]		2-12		
Keilhöhe tibial [mm]		8,2±2,8		
Range [mm]		4-16		

Alle Werte sind arithmetische Mittelwerte±SD.

Präoperativer Erfassungszeitpunkt (präOP), präoperative OP-Planung (Planung), postoperativer Erfassungszeitpunkt (postOP), mittelfristiger Nachuntersuchungszeitpunkt (Follow up). Mikulicz Linie (Mikulicz), Anatomisch-mechanischer Femurwinkel (AMA), mechanischer tibiofemoraler Winkel (mTFA), mechanischer, lateraler, distaler Femurwinkel (mLDFA), mechanischer, medialer, proximaler Tibiawinkel (mMPTA), Gelenkslinienkonvergenzwinkel (JLCA), Schräge der Gelenkslinie (JLO).

3.6.1 Chirurgische Korrekturgenauigkeit und Achsdeviationen im Beobachtungsverlauf

Im folgenden Kapitel werden die radiologischen Daten der einzelnen Erfassungszeitpunkte miteinander verglichen. Hierbei werden zuerst die Zeitpunkte präoperativ mit dem postoperativen Follow-up (6 Wochen) und dann mit dem mittelfristigen Follow-up (8,2 Jahre) verglichen. Anschließend die präoperative Planung mit dem postoperativ erreichten Ergebnis, was die chirurgische Präzision widerspiegelt. Letztlich noch das erste Follow-up

(6 Wochen) mit dem mittelfristigen Follow-up (8,2 Jahre), um Veränderungen im Beobachtungsverlauf darzustellen.

3.6.1.1 Änderung der Beinachsverhältnisse und kniegelenksnahen Winkel durch die DLO

Der Vergleich der präoperativen Deformitätenanalyse mit den postoperativen Ergebnissen sechs Wochen nach erfolgter DLO zeigte eine Korrektur der Beinachse um $11,0^\circ \pm 3,2^\circ$ (Veränderung mTFA) in Richtung *genu valgus*. *Femoral* erfolgte eine Korrektur um $-4,9^\circ \pm 2,2^\circ$ (Veränderung mL DFA) und *tibial* um $6,5^\circ \pm 2,8^\circ$ (Veränderung mMPTA). Alle beschriebenen Veränderungen waren auf einem Niveau von $p < 0,001$ signifikant.

Sowohl JLCA als auch JLO zeigten nur eine diskrete Veränderung von $0,5^\circ \pm 1,8^\circ$ respektive $-0,1^\circ \pm 2,2^\circ$ ohne statistische Signifikanz. Die genauen Werte im Gruppenvergleich sowie die Differenz zwischen den Erfassungszeitpunkten, mit zugehörigem Signifikanzwert sind **Tabelle 3.9** zu entnehmen.

Tabelle 3.9: Radiologische Parameter des Kollektivs im Paarvergleich zwischen den Zeitpunkten der präoperativen Deformitätenanalyse und dem postoperativen Ergebnis.

	präOP	postOP	Differenz	p value
mTFA [°]	-10,2±2,7	0,8±2,0	11,0±3,2*	<0,001
mL DFA [°]	91,5±2,1	86,5±2,2	-4,9±2,2*	<0,001
mMPTA [°]	84,6±2,1	91,1±2,2	6,5±2,8*	<0,001
JLCA [°]	3,3±1,9	3,8±2,2	0,5±1,8	0,083
JLO [°]	2,8±1,8	2,8±2,1	-0,1±2,2	0,884

Alle Werte sind arithmetische Mittelwerte±SD.

*. Gepaarte Differenzen sind auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Präoperativer Erfassungszeitpunkt (präOP), postoperativer Erfassungszeitpunkt (postOP), mechanischer tibiofemoraler Winkel (mTFA), mechanischer, lateraler, distaler Femurwinkel (mL DFA), mechanischer, medialer, proximaler Tibiawinkel (mMPTA), Gelenkslinienkonvergenzwinkel (JLCA), Schräge der Gelenkslinie (JLO).

3.6.1.2 Radiologische Langzeitergebnisse in Relation zur präoperativen Deformitätenanalyse

Ein Vergleich zwischen der präoperativen Ausgangssituation und dem mittelfristigen Ergebnis ergab eine signifikante Änderung der Beinachse um $9,3^\circ \pm 3,3^\circ$ in Richtung Valgus ($p < 0,001$). Darüber hinaus änderte sich die kniegelenksnahen Winkel mL DFA und mMPTA ebenfalls signifikant (**vgl. Tabelle 3.10**). Der JLCA zeigte eine statistisch signifikante Änderung, jedoch absolut betrachtet nur mit einer Änderung von $1,1^\circ$, und damit einer fraglichen klinischen Relevanz. Die JLO zeigte keine statistisch signifikante Änderung ($p = 0,701$). Die genauen Werte im Gruppenvergleich sowie die Differenzen zwischen den Erfassungszeitpunkten, mit zugehörigem Signifikanzwerten sind **Tabelle 3.10** zu entnehmen.

Tabelle 3.10: Radiologische Parameter des Kollektivs im Paarvergleich zwischen den Zeitpunkten der präoperativen Deformitätenanalyse und dem postoperativen Langzeitergebnis.

	präOP	Follow up	Differenz	p value
mTFA [°]	-10,2±2,7	-0,8±2,5	9,3±3,3*	<0,001
mL DFA [°]	91,5±2,1	86,9±2,4	-4,6±2,7*	<0,001
mMPTA [°]	84,6±2,1	90,3±2,5	5,6±2,8*	<0,001
JLCA [°]	3,3±1,9	4,5±1,9	1,1±1,7*	<0,001
JLO [°]	2,8±1,8	3,1±2,1	0,1±2,4	0,701

Alle Werte sind arithmetische Mittelwerte±SD.

*. Gepaarte Differenzen sind auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Präoperativer Erfassungszeitpunkt (präOP), mittelfristiger Nachuntersuchungszeitpunkt (Follow up), mechanischer tibiofemoraler Winkel (mTFA), mechanischer, lateraler, distaler Femurwinkel (mL DFA), mechanischer, medialer, proximaler Tibiawinkel (mMPTA), Gelenkslinienkonvergenzwinkel (JLCA), Schräge der Gelenkslinie (JLO).

3.6.1.3 Erreichte, chirurgische Präzision hinsichtlich der präoperativen Planung

Die Abweichung zwischen operativer Planung und erreichtem Ergebnis zum Zeitpunkt sechs Wochen postoperativ kann als Maß für die chirurgische Genauigkeit gesehen werden.

Sowohl die operative Planung als auch das postoperative Ergebnis zeigten eine diskrete Überkorrektur in Richtung Valgus-Stellung. Hierbei zeigte sich für mTFA eine Abweichung von $0,8^{\circ} \pm 2,0^{\circ}$ im chirurgischen Ergebnis, verglichen zur präoperativen Planung. Der Mittelwertvergleich ergab, trotz geringer absoluter Abweichung eine statistische Signifikanz ($p=0,010$). Die einzelnen Gelenkwinkel, stellvertretend für die *femorale* Gelenkausrichtung (mLDFA) und die *tibiale* Gelenkausrichtung (mMPTA) zeigten nur geringfügige Abweichungen, ohne statistische Signifikanz (*vgl. Tbl. 3.11*). Die genauen Werte im Gruppenvergleich sowie die Differenzen zwischen den Erfassungszeitpunkten, mit zugehörigen Signifikanzwerten sind **Tabelle 3.11** zu entnehmen.

Tabelle 3.11: Radiologische Parameter des Kollektivs im Paarvergleich. Vergleich zwischen der präoperativen Planung und den erreichten postoperativen Ergebnissen.

	Planung	postOP	Differenz	p value
mTFA [°]	1,6±0,7	0,8±2,0	-0,8±2,0*	0,010
mLDFA [°]	86,3±1,2	86,5±2,2	0,2±2,0	0,408
mMPTA [°]	91,1±1,2	91,1±2,2	-0,0±2,1	0,902
JLCA [°]	3,2±1,8	3,8±2,2	0,6±1,8*	0,024

Alle Werte sind arithmetische Mittelwerte±SD.

*. Gepaarte Differenzen sind auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Präoperative OP-Planung (Planung), postoperativer Erfassungszeitpunkt (postOP), mechanischer tibiofemoraler Winkel (mTFA), mechanischer, lateraler, distaler Femurwinkel (mLDFA), mechanischer, medialer, proximaler Tibiawinkel (mMPTA), Gelenkslinienkonvergenzwinkel (JLCA), Schräge der Gelenkslinie (JLO).

3.6.1.4 Radiologische Veränderungen im postoperativen Beobachtungsverlauf

Veränderungen zwischen den Erfassungszeitpunkten sechs Wochen und 98,4 Monaten nach erfolgter DLO entsprechen der mittelfristigen radiologischen Veränderung respektive der Achsabweichung. Für die Beinachse, gemessen anhand des mTFA zeigte sich eine Re-Varisierung von $-1,6^{\circ} \pm 2,1^{\circ}$ im Beobachtungsverlauf, was einer Veränderung (Re-Varisierung) von $0,195^{\circ}$ pro Jahr entspricht. Hierfür ergab sich eine statistische Signifikanz im Gruppenvergleich (*vgl. Tbl. 3.10*). Hierbei scheint die Veränderung vorwiegend

aus einer Veränderung der proximalen Tibia zu resultieren, im Vergleich zum distalen Femur, wo sich nur eine diskrete, nicht signifikante Veränderung über den Beobachtungszeitraum abzeichnete (**vgl. Tbl. 3.12**). Die JLO zeigte ebenfalls keine statistisch signifikante Veränderung im Beobachtungsverlauf (**vgl. Tbl. 3.12**). Die genauen Werte im Gruppenvergleich sowie die Differenz zwischen den Erfassungszeitpunkten, mit zugehörigem Signifikanzwert sind **Tabelle 3.12** zu entnehmen.

Tabelle 3.12: Radiologische Parameter des Kollektivs im Paarvergleich. Vergleich der postoperativen Ergebnisse und der Langzeitergebnisse.

	postOP	Follow up	Differenz	p value
mTFA [°]	0,8±2,0	-0,8±2,5	-1,6±2,1*	<0,001
mLDFA [°]	86,5±2,2	86,9±2,4	0,3±1,2	0,054
mMPTA [°]	91,1±2,2	90,3±2,5	-0,8±2,2*	0,024
JLCA [°]	3,8±2,2	4,5±1,9	0,6±1,9*	0,038
JLO [°]	2,8±2,1	3,1±2,1	0,3±2,3	0,390

Alle Werte sind arithmetische Mittelwerte±SD.

*. Gepaarte Differenzen sind auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Postoperativer Erfassungszeitpunkt (postOP), mittelfristiger Nachuntersuchungszeitpunkt (Follow up), mechanischer tibiofemoraler Winkel (mTFA), mechanischer, lateraler, distaler Femurwinkel (mLDFA), mechanischer, medialer, proximaler Tibiawinkel (mMPTA), Gelenkslinienkonvergenzwinkel (JLCA), Schräge der Gelenkslinie (JLO).

4 Diskussion

4.1 Ergebnisübersicht und Interpretation der Zielkriterien

Die vorliegende Forschungsarbeit zeigt, die DLO als suffiziente, chirurgische Technik zur Wiederherstellung physiologischer Gelenkwinkel, bei Patienten mit symptomatischer Varusgonarthrose und ausgeprägter knöcherner Deformitäten. Es zeigte sich im mittelfristigen Beobachtungsverlauf ein Therapieerfolg mit guten klinisch-funktionellen Ergebnissen und einer sehr niedrigen Konversionsrate zur KTP.

Die 5-Jahres Überlebensrate (keine Konversion zur KTP) betrug 94,3% (Hauptzielkriterium). Dies bestätigt auch die vorrangig postulierte Hypothese, dass mittelfristig nur einem kleinen Anteil an Patienten eine KTP implantiert werden muss. Die berechnete 7-Jahres Überlebensrate lag bei 92,5% und die Überlebensrate nach 8,2 Jahren lag bei 88,7%. Diese Erkenntnisse stellen eine repräsentative Vergleichsmöglichkeit für alternative Behandlungsverfahren und andere Forschungsarbeiten auf diesem Themengebiet dar.

Überdies wurde gezeigt, dass mittels DLO, mittelfristig ein gutes subjektives Ergebnis und eine hohe Patientenzufriedenheit erreicht werden kann, trotz präoperativ ausgeprägter Varusgonarthrose ($mTFA -10,2 \pm 2,7^\circ$). Ebenfalls zeigen sich die klinisch-funktionellen *Outcome*-Parameter sehr zufriedenstellend (Nebenzielkriterium).

Die Doppellevelosteotomie ermöglicht es bei kombinierter, präoperativer Deformität im distalen Femur und der proximalen Tibia und daraus resultierender, ausgeprägter Varusdeformität, physiologische Gelenkwinkel ($mLDFA$ und $mMPTA$) zu erzeugen, ohne dabei eine ausgeprägte Schräge der Gelenkslinie (JLO) zu verursachen. Die präoperative Planung der Beinachse und Gelenkwinkel, konnte zum einen ohne signifikante Abweichung operativ erreicht werden, zum anderen zeigten sich diese im mittelfristigen Nachbeobachtungszeitraum konsistent (Nebenzielkriterium).

Dies stellt mutmaßlich die biomechanische Grundlage des klinischen Erfolgs des Therapieverfahrens im mittelfristigen Beobachtungsverlauf dar. Letztlich können die vorliegenden Ergebnisse, dazu dienen zukünftig die Indikationsstellung zur DLO weiter zu präzisieren und bereits präoperativ einen möglichst realistischen Erwartungswert bei Patienten zu schaffen.

4.2 Vergleichsarbeiten und Einordnung der Studienergebnisse in die bestehende Literatur

4.2.1 Betrachtung der klinischen und radiologischen kurz- und mittelfristigen Ergebnisse

Vergleiche zu anderen Forschungsarbeiten desselben Themengebietes sind wichtig, um die Ergebnisse möglichst unabhängig zu bestätigen bzw. zu diskutieren.

Als Vergleichsarbeiten werden die Arbeiten Nakayama *et al.* aus dem Jahr 2018 (58), Schröter *et al.* aus 2018 (47), Akamatsu *et al.* aus 2021 (161) und Rupp *et al.* aus 2022 (162) herangezogen. Diese Arbeiten stimmen hinsichtlich Indikationsstellung, operativem Vorgehen und Studiendesign in hohem Maße mit der vorliegenden Forschungsarbeit überein, betrachten aber alle nur einen kurzfristigen, Rupp *et al.* einen kurz- bis mittelfristigen Zeitraum nach erfolgter DLO. Darüber hinaus lag allen besagten Studien nur ein deutlich kleineres Kollektiv zu Grunde. In allen genannten Forschungsvorhaben kamen winkelstabile Plattenfixateursysteme zum Einsatz (*vgl. Tab. 4.1*).

Bei Nakayama *et al.* wurde eine DLO durchgeführt, sobald die präoperative Planung der HTO einen mMPTA $\geq 95^\circ$ ergab. Hierunter wurden 20 Patienten eingeschlossen und ein Jahr nachbeobachtet. Die Autoren beschrieben eine relative Wiederherstellung anatomischer Gelenkwinkel und erreichten ein Jahr postoperativ einen mTFA von $0,8^\circ \pm 2,4^\circ$ einen mL DFA von $85,5^\circ \pm 1,5^\circ$, einen mMPTA von $90,6^\circ \pm 2,3^\circ$ und einen JLCA von $4,2^\circ \pm 2,2^\circ$ (58). Akamatsu *et al.* führte ebenfalls eine präoperative Deformitätenanalyse mit konsekutiver Planung einer HTO durch und erweiterte ebenfalls die Therapie ab einem simulierten mMPTA $\geq 95^\circ$ hin zu einer DLO. Hierbei wurden 34 Patienten eingeschlossen und über zwei Jahre nachbeobachtet. Gleichzeitig wurden noch 34 Patienten einer HTO unterzogen und die Ergebnisse und postoperativen Gelenkwinkel verglichen. Auch hier zeigten sich physiologische Gelenkwinkel für mMPTA ($92,5^\circ \pm 3,0^\circ$), mL DFA ($84,9^\circ \pm 1,9^\circ$) und JLCA ($3,6^\circ \pm 2,2^\circ$) in der DLO-Gruppe. Im Gegensatz zur HTO-Gruppe wo sich für die JLO eine signifikante Erhöhung

postoperativ abzeichnete, blieb diese in der DLO-Gruppe konstant, ohne signifikante Veränderung postoperativ. Hierbei ergab sich eine postoperative JLO von $6,3^\circ \pm 2,5^\circ$ sowie eine signifikante Erhöhung von $4,9^\circ \pm 2,4^\circ$ für die HTO-Gruppe. In der DLO-Gruppe zeigte sich postoperativ eine JLO von $1,3^\circ \pm 2,7^\circ$ ohne signifikante Veränderung im präoperativen Vergleich (161). Schröter *et. al* untersuchten 28 Patienten über 18 Monate nach erfolgter DLO wobei die Indikation zur DLO bei einer simulierten HTO und einem präoperativ geplanten mMPTA $\geq 94^\circ$ gestellt wurde und damit exakt der Indikationsstellung in dieser Forschungsarbeit entsprach. Auch Schröter *et. al* erreichten postoperativ physiologische Gelenkwinkel mit einem mTFA von $0^\circ \pm 2^\circ$, einem mL DFA von $87^\circ \pm 2^\circ$ und einem mMPTA von $89,2^\circ \pm 2^\circ$ (47).

In der retrospektiven Kohortenanalyse von Rupp *et al.* wurden 32 Patienten, welche im Zeitraum zwischen 2007 und 2018 eine DLO erhalten hatten, eingeschlossen. Die Nachuntersuchung erfolgte nach durchschnittlich 57 Monaten (mindestens jedoch 24 Monate). Die Indikation zur DLO wurde gestellt, sobald die simulierte SLO einen mMPTA $\geq 95^\circ$ oder einen mL DFA $< 85^\circ$ ergeben hätte. Der Fokus lag auf dem klinischen *Outcome*, radiologische Ergebnisse wurden in besagter Arbeit nicht publiziert, sodass hier leider kein Vergleich gezogen werden kann.

Zusammenfassend zeigte sich somit eine Übereinstimmung der postoperativ erreichten radiologischen Ergebnisse der Vergleichsarbeiten mit der vorliegenden Forschungsarbeit. Die Gelenkwinkel dieser Forschungsarbeit ergaben einen mTFA von $-0,8^\circ \pm 2,5^\circ$, einen mL DFA von $86,9^\circ \pm 2,4^\circ$ einen mMPTA von $90,3^\circ \pm 2,5^\circ$, einen JLCA von $4,5^\circ \pm 1,9^\circ$ und eine JLO von $3,1^\circ \pm 2,1^\circ$ (**vgl. Tbl. 3.5 und Tbl. 3.8**). Hervorzuheben ist die Persistenz der JLO, ohne signifikante Änderung durch erfolgte, operative Therapie, im Falle der Anwendung einer DLO. Hier unterscheiden sich die radiologischen Ergebnisse von denen einer *singel level* Osteotomie. In dieser Forschungsarbeit konnten überdies die radiologischen Ergebnisse zusätzlich im mittelfristigen Beobachtungszeitraum bestätigt werden.

Auch die Ergebnisse der präoperativen Deformitätenanalysen der besagten Forschungsarbeiten, sind als vergleichbar anzusehen und erhöhen somit die

Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Hier entsprechen auch die Ergebnisse der präoperativen Deformitätenanalyse von Rupp *et al.* mit einem präoperativen mTFA von $10,1^\circ \pm 2,9^\circ$, einem mMPTA von $85,2^\circ \pm 2,1^\circ$ und einem mL DFA von $91,5^\circ \pm 3,1^\circ$, den der übrigen Vergleichsarbeiten und dieser Forschungsarbeit (**vgl. Tbl. 4.1**).

Auf Grund nicht durchgängig einheitlich erfasster klinischer Scores, ist eine Vergleichbarkeit diesbezüglich nur eingeschränkt zwischen allen Studien möglich. Insgesamt zeigten sich jedoch auch für die klinisch-funktionellen Parameter grundsätzlich vergleichbare Ergebnisse. Nakayama *et. al* beschrieb einen IKDC von $59 \pm 12,6\%$ und einen KOOS-Summenscore von 380 ± 52 Punkten nach einem Jahr (58). Schröter *et. al* einen Lysholm Score von 88 ± 13 Punkten, einen OKS von 44 ± 3 Punkten und einen IKDC von $77 \pm 12\%$ nach 18 Monaten (47). Akamatsu *et. al* beschrieb nach zwei Jahren ein Ergebnis von $94,4 \pm 6,3$ Punkten für den Lysholm Score. Die einzelnen Dimensionen des KOOS erreichten gute Werte (Symptome: $75,5 \pm 10,8$ Punkte, Schmerz: $82,6 \pm 6,1$ Punkte, Alltag: $83,7 \pm 8,4$ Punkte, Lebensqualität: $60,5 \pm 11,5$ Punkte und Sport: $48,9 \pm 10,1$ Punkte) (161). Rupp *et al.* beschrieb einen IKDC von $66,1 \pm 15,4\%$ und einen Lysholm Score von $73,1 \pm 23,6$ Punkten (162). Somit liegen alle Ergebnisse der Vergleichsarbeiten im Bereich der Ergebnisse dieser Forschungsarbeit (**vgl. Abschnitt 3.4 Etablierte klinische Scores, Abbildung 3.5 und Tbl. 4.1**). Die bestehenden Unterschiede einzelner Ergebnisse zwischen den Forschungsarbeiten erscheinen erwartungsgemäß, v.a. hinsichtlich relativ kleiner Kollektive, unterschiedlichen Durchschnittsaltern der Kollektive und unterschiedlichen Nachbeobachtungszeiträumen (**vgl. Tbl. 4.1**). Rupp *et al.* beschrieb überdies, dass 90% der Patienten nach 5,9 Monaten wieder die volle Arbeitsfähigkeit erreicht haben (162). In dieser Forschungsarbeit erreichten die Patienten nach durchschnittlich 3,4 Monaten die Arbeitsfähigkeit (**vgl. Abschnitt 3.3 Klinisch-funktionelle Untersuchungsergebnisse**)

Tabelle 4.1: Übersicht der allgemeinen Daten, Indikationsstellungen und Ergebnisse der Vergleichsarbeiten von Nakayama et al., Schröter et al., Akamatsu et al. und Rupp et al., sowie der vorliegenden Promotionsarbeit (vgl. Abschnitt 3.4 und Abbildung 3.5).

klinische Scores	Nakayama et al. (58)	Schröter et al. (47)	Akamatsu et al. (161)	Rupp et al. (162)	Vorliegende Promotionsarbeit
Jahr	2018	2018	2021	2022	2023
Anzahl (nur DLO) [n]	20	28	34	32	53
Alter [a]	62,5	50,0	61,3	44,2	58,4
Follow up [m]	12	18	24	57	98,4
Indikation					
MPTA [Grad]	>95	>94 oder <87*	>95	>95	>94 oder <87*
LDFA [Grad]		>90*	>88	<85	>90*
Keilhöhe [mm]	>15		>15		
Implantate [femoral]	Tomofix	Tomofix oder blade plate	Tomofix	Tomofix oder PEEK-power	Tomofix oder blade plate
Implantate [tibial]	Tomofix	Tomofix	Tomofix	Tomofix oder PEEK-power	Tomofix
IKDC [%]	59±12,6	77±12		66,1±15,4	61,2±21,5
Lysholm [Punkte]		88±13	94,4±6,3	73,1±23,6	78,3±20,1
OKS [Punkte]		44±3			36,1±9,9
KOOS					
Symptome [Punkte]			75,5±10,8		68,6±22,9
Schmerz [Punkte]			82,6±6,1		70,9±22,0
Alltag [Punkte]			83,7±8,4		75,6±22,6
Lebensqualität [Punkte]			60,5±11,5		53,4±26,5
Sport [Punkte]			48,9±10,1		41,0±27,6
Summenscore [Punkte]	380±52		351,2		309,4±111,5

Alle Werte sind arithmetische Mittelwerte±SD.

Doppellevelosteotomie (DLO), mechanischer, lateraler, distaler Femurwinkel (mLDFA), mechanischer, medialer, proximaler Tibiawinkel (mMPTA), IKDC subjektiv (IKDC), Oxford Knee Score (OKS), Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Scores (KOOS).

An dieser Stelle muss auf den mittelfristigen Erfassungszeitraum von 8,2 Jahren dieser Forschungsarbeit verwiesen werden. Somit konnte neben den radiologischen auch für die klinisch-funktionellen Ergebnisse die Persistenz im mittelfristigen Beobachtungszeitraum bestätigt werden. Dies entspricht auch dem ersten Nebenzielkriterium dieser Arbeit. Von einer diskreten Abnahme der Gelenkfunktion und klinischen Scores über den mittelfristigen Beobachtungszeitraum war dennoch auszugehen. Am Beispiel der HTO konnte vom selben Autor dieser Forschungsarbeit bereits gezeigt werden, dass mit einer stetigen, diskreten Abnahme der klinisch-funktionellen Situation ab den ersten 12-18 Monaten nach erfolgter Umstellungsosteotomie zu rechnen ist (127). Darüber hinaus beschreibt auch Saier *et al.* einen Höhepunkt des klinisch-funktionellen und subjektiven Ergebnisses nach erfolgter HTO zwölf Monate postoperativ (163).

Vor dem Hintergrund einer physiologisch abnehmenden Gelenksfunktion im fortschreitenden Alter, ist bei einem Beobachtungszeitraum von über 8 Jahren *per se* von einer Abnahme des Funktionsergebnisses (klinische Scores) auszugehen (164, 165). Eine Möglichkeit dies auszugleichen oder wenigstens zu reduzieren, bieten Messparameter, die an Altersunterschiede adjustiert werden wie z. B. der SF-36. Als weiterer Faktor muss bedacht werden, dass es sich bei den kniegelenksnahen Umstellungsosteotomien um gelenkerhaltende Verfahren handelt. Dies bedeutet auch, dass die Gonarthrose weiterhin besteht und ebenfalls über den zeitlichen Verlauf fortschreitet.

4.2.2 Betrachtung der mittelfristigen Überlebensraten nach DLO

Überlebensraten von Verfahren hängen naturgemäß mit der Länge des Beobachtungsverlaufs zusammen. Eine sinnvolle Vergleichsarbeit für mittelfristige Überlebensraten nach erfolgter DLO liegt jedoch bis *dato* nicht vor. Die repräsentativsten Vergleiche lassen sich zu mittel- bis langfristigen Ergebnissen nach erfolgter HTO ziehen. Legt man hier die Auswertung, einer auf finnischen Registerdaten von 3195 Patienten basierenden Studie zugrunde,

ergab sich für die HTO eine 5-Jahres Überlebensrate von 89% und eine 10-Jahres Überlebensrate von 73% (117). Eine noch bessere Vergleichbarkeit bietet eine 2020 publizierte Forschungsarbeit, welche die 6-Jahres Ergebnisse 120 prospektiv erfasster Patienten nach HTO mit einer Überlebensrate von 91,3% beschreibt (43, 127, 166). Die Durchführung erfolgte ebenfalls in der BG Unfallklinik Tübingen mit operativer Therapie im Zeitraum zwischen 2008 und 2011 (127, 166). Somit stimmen Studienzeitraum, epidemiologische und geografische Faktoren sowie die operative Fakultät, in besonderem Maße mit dieser Forschungsarbeit überein und erhöhen die Vergleichbarkeit. In Anbetracht dieser Überlebensraten für *single level* Osteotomien, erscheinen die erreichten Überlebensraten in diesem Forschungsvorhaben von 88,7% nach 8,2 Jahren, 92,5% nach 7 Jahren und 94,3% nach 5 Jahren, positiv überraschend. Es gilt anzumerken, dass *double level* Osteotomien vorwiegend bei ausgeprägten Achsdeformitäten zum Einsatz kommen.

An dieser Stelle soll auf den **Abschnitt 4.2.3 Bedeutung der *joint line obliquity* und Interpretation der einzelnen Gelenkwinkel**, hingewiesen werden. Vorwegnehmend scheint es als sind die mittel- und langfristig erreichten Überlebensraten nach DLO ein weiteres Indiz, dass eine Wiederherstellung der physiologischen Gelenkverhältnisse positiven Einfluss auf die Überlebensrate zu haben scheint (47). Zur besseren Interpretation muss jedoch auch erwähnt werden, dass zur genauen Bestimmung langfristiger Überlebensraten, mit naturgemäß abnehmenden Follow-up Quoten im zeitlichen Verlauf, noch größere Studienkollektive wünschenswert wären. Letztlich ist auch von einem positiven Einfluss auf die Überlebensrate, auf Grund der modernen Operationsplanung und Operationstechnik inklusive Implantat Auswahl, im Vergleich zu älteren Forschungsvorhaben, auszugehen.

Die diskutierten Vergleichsarbeiten von Nakayama *et al.*, Schröter *et al.* und Akamatsu *et al.* hatten keine Konversion zur KTP, während des Beobachtungsverlaufs (47, 58, 161). Jedoch wurden nur kurzfristige Beobachtungszeiträume zwischen 12-24 Monate abgebildet. Rupp *et al.* mussten im Beobachtungszeitraum (57 Monate) drei Patienten auf Grund eines Übergangs zur KTP ausschließen (162). Als Vergleichsarbeit hinsichtlich einer

mittelfristigen Überlebensrate nach DLO, kann die Arbeit von Babis *et al.* herangezogen werden. Der DLO ging eine digital gestützte Deformitätenanalyse und OP-Simulation voraus. jedoch stimmten Indikationsstellung und operatives Vorgehen nicht im selben Ausmaß mit dieser Forschungsarbeit überein, sodass die Arbeit von Babis *et al.* vor allem hinsichtlich der Überlebensrate als Vergleich herangezogen wird. Bei einer Fallzahl von 29 DLOs und einem Beobachtungszeitraum von 82,7 Monaten, erhielt ein Patient nach 49 Monaten eine KTP (51).

Hinsichtlich der erreichten mittel- und langfristigen Überlebensraten sollte neben dem Prozentsatz, auch der Zeitraum bis zum Übergang in eine KTP mitbetrachtet werden. Bei Rupp *et al.* erfolgte der Übergang in die KTP nach durchschnittlich 27 Monaten (162). Für das untersuchte Studienkollektiv lag dieser Zeitraum bei durchschnittlich 61,6 Monaten. Dieser Zeitraum ist damit nicht nur bedeutend länger als bei Rupp *et al.*, sondern für einzelne Patienten bereits so lange, dass nicht mehr unbedingt von einem Therapieversagen gesprochen werden kann.

Neben dem Zeitraum nach erfolgter DLO, muss zur umfassenden Bewertung der langfristigen Überlebensrate, letztlich auch noch die Ausgangssituation für mögliche Folgebehandlungen berücksichtigt werden. Kniegelenksnahe Osteotomien werden bisweilen oft als Risikofaktoren für ein schlechteres Ergebnis nach einer sekundären KTP gesehen (167-169). Im **Abschnitt 4.3.3 Bedeutung physiologischer Gelenkwinkel und der JLO für eine sekundäre KTP nach erfolgter kniegelenksnaher Umstellungsosteotomie**, werden die Auswirkungen einer DLO auf eine konsekutive Endoprothesenimplantationen diskutiert.

Im **Abschnitt 4.3.2** werden mögliche Risikofaktoren für eine frühzeitige Konversion zur Endoprothese untersucht. Bedingt durch eine Fallzahl von n=6 Patienten die eine Konversion zur KTP hatten und einer ausgedehnten Spannweite zwischen 13 und 114 Monaten, können diesbezüglich keine allgemeinen Schlussfolgerungen gezogen werden. Ein Zeitraum von 114 Monaten zwischen DLO und KTP ist definitiv nicht 13 Monaten gleich zu setzen und gilt es hinsichtlich Therapieversagen, anders zu bewerten. Dennoch muss die Risikoanalyse zur obligatorischen Vollständigkeit und Ausschluss

offensichtlicher Gründe für den Übergang in eine Endoprothese durchgeführt werden. Hier sind zukünftig weitere Analysen mit entsprechend großen Kollektiven und langen Beobachtungszeiträumen notwendig, um Risikofaktoren zu identifizieren, und die Indikation zur DLO dadurch zu präzisieren.

4.2.3 Bedeutung der *joint line obliquity* und Interpretation der einzelnen Gelenkwinkel

Akamatsu *et al.* konnten die Persistenz der JLO in einer Vergleichsstudie aus *single level* und *double level* Osteotomie zeigen, wobei jeweils 34 HTO- und 34 DLO-Patienten eingeschlossen und klinisch und radiologisch nachbeobachtet wurden. In der HTO-Gruppe kam es zu einem signifikanten Anstieg der JLO von $1,4^\circ$ auf $6,3^\circ$ postoperativ. In der DLO-Gruppe hingegen zeigte sich für die JLO nur eine statistisch nicht signifikante Veränderung von $1,0^\circ$ präoperativ auf $1,3^\circ$ postoperativ (161). Elbardesy *et al.* stellten 2022 in einer systematischen Übersichtsarbeit die Auswirkungen einer *double level* Osteotomie auf die Gelenkwinkel dar und verglichen diese mit Ergebnissen nach HTO. Die DLO zeigte sich in Fällen ausgeprägter Varusdeformität signifikant besser zur Vermeidung einer JLO und erhielt dabei physiologische Gelenkwinkel für mMPTA, JLCA und die Patellahöhe (170). Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit den Ergebnissen dieser Forschungsarbeit, wobei sich eine konstante JLO über den Beobachtungszeitraum bestätigte. Präoperativ bestand eine JLO von $2,8^\circ \pm 1,8^\circ$ welche postoperativ mit $2,8^\circ \pm 2,1^\circ$ annähernd konstant blieb und im mittelfristigen Verlauf lediglich eine diskrete, statistisch nicht signifikante Abweichung auf $3,1^\circ \pm 2,1^\circ$ zeigte (**vgl. Tbl. 3.8**).

Welche klinischen Auswirkungen eine vergrößerte JLO hat ist bis *dato* nicht abschließend geklärt, jedoch gibt es erste Anzeichen, dass bereits im kurzfristigen Follow-up ein reduziertes klinisch-funktionelles Ergebnis entsteht (112, 171).

Caubère *et al.* führte eine Korrelationsanalyse zwischen einer erhöhten JLO ($>3^\circ$) und dem funktionellen Ergebnis (klinische Scores) nach erfolgter DLO

durch. Hierbei ergab sich eine statistisch signifikante Korrelation, sodass eine JLO $>3^\circ$ zu signifikant schlechteren, klinischen Ergebnissen nach sechs Monaten führte (171). Zu einem ähnlichen Ergebnis kam Song *et al.* anhand von 103 Patienten nach erfolgter HTO. Die Autoren konnten einen Cut-off-Wert für die JLO ermitteln, bevor es zu einer signifikanten Reduktion des klinischen und radiologischen Ergebnisses kam. Nach einem Beobachtungszeitraum von 55 Monaten zeigte sich ab einer JLO von 4° ein signifikant schlechteres, klinisches *Outcome* und ab einer JLO von 6° ein reduziertes radiologisches Ergebnis, dargestellt durch eine Reduktion der Gelenkspalthöhe (112).

In direktem Zusammenhang mit der JLO stehen die einzelnen Kniegelenkswinkel, welche es an dieser Stelle ebenfalls zu betrachten gilt. Die radiologischen Ergebnisse für mL DFA und mMPTA zeigen eine diskrete Veränderung über den Beobachtungsverlauf von $-0,3^\circ \pm 1,2^\circ$ respektive $0,8^\circ \pm 2,2^\circ$. Die Veränderung des mMPTA entspricht einer statistischen Signifikanz (**vgl. Tbl. 3.12**). Die statistische Signifikanz beruht auf einer konstanten, gerichteten Abweichung, sodass oberes und unteres Konfidenzintervall dasselbe Vorzeichen haben. Hieraus resultiert eine statistisch signifikante, wenngleich in absoluten Zahlen, sehr kleine Abweichung. In diesem Fall entspricht dies, nach Meinung des Autors, jedoch keiner klinisch relevanten Abweichung. Sowohl mL DFA als auch mMPTA liegen auch im mittelfristigen Follow-up innerhalb der physiologischen Grenzen. Bei der Betrachtung des mTFA bestand präoperativ eine ausgeprägte Varusdeformität von $-10,2^\circ \pm 2,7^\circ$ für das gesamte Kollektiv. Die präoperative OP-Planung ergab für den mTFA eine diskrete Überkorrektur von $1,6^\circ \pm 0,7^\circ$. Das tatsächliche postoperative Ergebnis zeigte einen mTFA von $0,8^\circ \pm 2,0^\circ$ im ersten präoperativen Follow-up. Über den Beobachtungsverlauf zeigte sich eine neuerliche Varisierung und ein mTFA von $-0,8^\circ \pm 2,5^\circ$ nach 8,2 Jahren (**vgl. Tbl. 3.8**). Einerseits erscheint eine mittelfristige Veränderung des mTFA von $-1,6^\circ \pm 2,1^\circ$ innerhalb der physiologischen Grenzwerte (mTFA von $0^\circ \pm 3^\circ$) nicht besonders relevant. Andererseits gilt es zu berücksichtigen, dass bereits eine mediale Gonarthrose vorbesteht und eine neuerliche Varisierung gleichzeitig auch, die auf das mediale Kniegelenksskompartiment entfallende

Belastung erhöht. Vor diesem Hintergrund erscheint eine leichte Überkorrektur unter der Prämisse, dass dies zu keinen unphysiologischen Gelenkwinkeln führen darf, stringent.

Rosso *et al.* publizierte 2021 Langzeitergebnisse mit einem Nachbeobachtungszeitraum von 129 Monaten nach erfolgter *open wedge* HTO anhand von 76 Patienten und 92 eingeschlossenen Knien, und untersuchten dabei den Einfluss der einzelnen Gelenkwinkel auf das klinische Ergebnis. Die Autoren konnten niedrigere Werte im WOMAC und KSS, ab einem mMPTA von $>95^\circ$ nachweisen (172). Die Ergebnisse wurden 2022 von Kim *et al.* bestätigt. Die Arbeitsgruppe zeigte anhand von 135 Patienten nach erfolgter *open wedge* HTO, eine signifikante Reduktion des klinischen Ergebnisses, ab einem Grenzwert von $95,2^\circ$ für den mMPTA (173).

4.3 Auswirkungen einer *double level* Osteotomie im Vergleich zu einer *single level* Osteotomie auf die Gelenkmechanik und deren klinische Bedeutung

4.3.1 Betrachtung der Osteotomiekeilhöhe

Neben bereits diskutierten Limitationen einer *single level* Osteotomie, muss die Keilhöhe einer *medial open wedge* HTO nochmals näher beleuchtet werden. Über die Keilöffnungshöhe besteht ein direkter Zusammenhang mit dem resultierenden mMPTA. Im Fall einer sehr großen Keilöffnungshöhe entsteht so in den meisten Fällen ein großer mMPTA und folglich auch eine große *joint line obliquity*. Eine generelle Konklusion diesbezüglich wäre aber falsch, da resultierender mMPTA und korrespondierende JLO ebenso von präoperativ individuellen Gelenkwinkeln abhängen und nicht allein durch eine absolute Keilhöhe erreicht werden. Die Therapieentscheidung (*single level* Osteotomie vs. *double level* Osteotomie) sollte also nicht allein anhand einer absolut gemessenen bzw. simulierten Keilhöhe erfolgen. Ein Entscheidungsalgorithmus basierend auf resultierenden Gelenkwinkeln (mMPTA und mL DFA) ist unabhängig von den Ausgangsdeformitäten und scheint daher als primärer Indikator besser geeignet.

Dennoch darf die absolute Keilhöhe nicht außer Acht gelassen werden. Eine große Öffnungskeilhöhe birgt Risiken für Komplikationen und kann ein schlechteres *Outcome* mit sich bringen. Zum einen geht eine größere Öffnungskeilhöhe, der *medial open wedge* HTO, mit einem erhöhten Risiko für eine laterale Hinge-Fraktur einher (174, 175). Das Risiko einer Hinge-Fraktur hängt zweifellos ebenfalls von der Operationstechnik, bzw. der Schnittrichtung und Schnittführung (175) als auch von der Implantat Auswahl und der Nachbehandlung ab (176). Dennoch besteht ein unumstrittener Zusammenhang zwischen absoluter medialer Keilhöhe und dem Risiko für eine laterale Hinge-Fraktur (174, 175, 177).

Zum andern besteht bei großen mechanischen Korrekturen $\geq 10^\circ$ ein erhöhtes Risiko für eine verzögerte oder ausbleibende Knochenheilung der

Osteotomiestelle (178). Das Risiko einer Pseudarthrose im Bereich der Osteotomiestelle wird zusätzlich erhöht durch das Auftreten einer lateralen Hinge-Fraktur (178). Im Fall einer *single level* Osteotomie bzw. einer HTO wird daher in der Literatur repetitiv der Einsatz eines autologen oder allogenen Knochenkeils zur Füllung des Osteotomiespalts, in Fällen großer mechanischer Korrekturen und Keilhöhen, vorgeschlagen (178-181). Vor diesem Hintergrund erscheint eine *double level* Osteotomie als Alternative, wobei durch ein geringeres Korrekturausmaß an den einzelnen Osteotomiestellen, eben diskutierte Risiken reduziert werden und ein Knochenkeil hinfällig wird.

Eine Veränderung der Beinachse durch öffnende oder schließende Keilosteotomien beeinflusst nicht nur die Gelenkwinkel, sondern auch die Länge des korrigierten Knochens und in Summe somit die Beinlänge. Bei kleineren Korrekturen respektive Keilhöhen der Osteotomie, ist auch der Einfluss auf die Beinlänge und damit auf das klinische Ergebnis gering. In Fällen von beidseitigen Achskorrekturen ist dieser Punkt oft sowieso nicht bedeutsam, da vor allem eine Beinlängendifferenz zwischen linker und rechter, unterer Extremität klinisch von Bedeutung ist. Jedoch kann in Fällen einseitiger Achskorrekturen und großer Osteotomiekeilhöhe, durchaus eine relevante Beinlängendifferenz resultieren (182). Iseki *et al.* beobachteten 29 DLO- und 35 HTO-Patienten für einen Zeitraum von mindestens 24 Monaten und untersuchen anschließend die Auswirkung der Verfahren auf die Beinlänge. Im Ergebnis unterschieden sich HTO und DLO signifikant, wobei es nach HTO zu einer durchschnittlichen Veränderung der Beinlänge um plus $9,3 \pm 7,2$ mm und bei der DLO nur zu einer Veränderung der Beinlänge um plus $2,3 \pm 4,8$ mm kam (182). Diese Ergebnisse können anhand der vorliegenden Forschungsarbeit bestätigt werden. Hier zeigte sich auch im mittelfristigen Beobachtungszeitraum eine Veränderung der Beinlänge (Mikulicz-Linie) um lediglich plus $2,9 \pm 14,9$ mm. Im Allgemeinen geht man von einer klinischen Relevanz ab einer Beinlängendifferenz von ≥ 1 cm aus (183), wobei eine Veränderung der Beinlänge im Einzelfall bereits früher von großer Bedeutung sein kann. Anhand einer sorgfältig erstellten, digitalen Osteotomieplanung, kann der Chirurg bereits präoperativ die entstehende

Beinlänge bzw. Beinlängendifferenz abschätzen und in die Therapieentscheidung einfließen lassen.

4.3.2 Perioperative Komplikationsrisiken im Vergleich zwischen SLO und DLO

Demgegenüber steht unumstritten nachteilig für die *double level* Osteotomie, der bedeutend größere operative Eingriff. Zur Risikoabschätzung eines operativen Eingriffs sind die perioperativen Komplikationsrisiken maßgeblich. Elbardey *et al.* konnte 2022 in einer systematischen Metaanalyse unter Einschluss von sechs Forschungsarbeiten, eine durchschnittliche perioperative Komplikationsrate von 2,8% für die *double level* Osteotomie aufzeigen (170). Jedoch wurde bereits vom Autor selbst, dieses Ergebnis relativiert und auf die kleine Kollektivgrößen und kurzen Nachbeobachtungszeiträume hingewiesen. An dieser Stelle wurden langfristige Nachbeobachtungsstudien mit größeren Kollektiven zur weiteren Validierung empfohlen. In dieser Forschungsarbeit zeigten acht der 53 Patienten eine perioperative Komplikation, was deutlich realistischer erscheint (**vgl. Tbl. 3.2**). Darüber hinaus sprechen im Vergleich *single versus double level* Osteotomie, zweifellos Faktoren wie die Operationszeit, das erforderliche Skill-Level des Operateurs und intraoperative Risiken für die SLO. Jedoch muss an dieser Stelle die ausgeprägtere, präoperative Deformität bei der DLO, hinsichtlich perioperativen Komplikationsrisiken mitbetrachtet werden. Überdies ist im Fall einer DLO eine 6-wöchige, postoperative Teilbelastungsphase obligatorisch. Im Fall einer SLO kommt es auf das Operationsverfahren an, zum Teil ist hier jedoch eine Vollbelastung bereits nach wenigen Tagen möglich (184).

4.3.3 Bedeutung physiologischer Gelenkwinkel und der JLO für eine sekundäre KTP nach erfolgter kniegelenksnaher Umstellungsosteotomie

Aus Sicht der Endoprothetik werden kniegelenksnahe Umstellungsosteotomien bis *dato*, vielerorts sehr skeptisch gesehen. Dies liegt zum einen an ihrem fraglichen primären Erfolg, wobei dies durch eine immer breitere wissenschaftliche Grundlage zunehmend in den Hintergrund rückt und die Zweifel diesbezüglich ausgeräumt werden. Zum andern an zusätzlichen Schwierigkeiten einer sekundären Prothesenimplantation nach primär erfolgter kniegelenksnaher Umstellungsosteotomie und teilweise signifikant schlechteren Ergebnissen (168, 185-187). Diese Ergebnisse beziehen sich jedoch auf den Zeitraum zwischen 1987 und 2010, und müssen, auf Grund der Entwicklung der kniegelenksnahen Osteotomien, heute neu bewertet werden. In der Vergangenheit wurde von Problemen durch Narbengewebe und eine veränderte Weichteilsituation einschließlich Schwierigkeiten bei der Patella-Eversion, berichtet (168, 185-187). Vereinzelt wurde hierbei auch von Problemen durch eine resultierende Patella baja nach erfolgter Tibiakopfumstellung berichtet (168). Die Hauptprobleme bestanden jedoch in knöchernen Deformitäten der proximalen Tibia mit Abweichungen in der koronaren und sagittalen Ebene und Spannungsungleichgewichten im Kapsel-Band-Apparat (169). Unter Berücksichtigung der Entwicklung der kniegelenksnahen Umstellungsosteotomien in den letzten Jahrzehnten, sind einige Kritikpunkte bei modernen Indikationsstellungen und Operationstechniken *per se* hinfällig. Hierbei gilt es vor allem die Ablösung der LCWHTO durch die MOWHTO und die biplanare Osteotomietechnik, unter Nutzung eines winkelstabilen Plattenfixateurs, in der von Staubli *et al.* sowie von Lobenhoffer und Agneskirchner beschriebenen Vorgehensweise, zu nennen (44, 45). Ebenfalls konnte zwischenzeitlich gezeigt werden, dass es durch eine MOWHTO zu keiner relevanten Veränderung der Patellahöhe kommt (188). Neuere Publikationen zeigen überdies vergleichbare klinische Ergebnisse nach

sekundärer KTP-Implantation, bei primär erfolgter HTO verglichen mit Ergebnissen nach primärer KTP-Implantation (113, 189-192).

Durchaus berechtigt ist der Kritikpunkt der knöchernen Deformität und eines Spannungsungleichgewichts im Kapsel-Band-Apparat. Falls zum Zeitpunkt der Prothesenimplantation, eine knöcherne Deformität z. B. in der proximalen Tibia vorliegt, müsste diese durch die Resektionshöhe und Prothesenausrichtung ausgeglichen werden. Somit könnte nicht, die in der Metaphyse liegende, extraartikuläre Deformität adressiert werden, sondern müsste durch intraartikuläre Maßnahmen kompensiert werden. Die Folgen wären unter anderem massive Spannungsungleichgewichte im Kapsel-Band-Apparat (193). Diese Erkenntnisse implizieren, dass im Fall von physiologischen Gelenkwinkeln nach erfolgter kniegelenksnaher Umstellungsosteotomie auch die Ergebnisse nach sekundärer Prothesenimplantation davon positiv beeinflusst, werden könnten. In diesem Zusammenhang erscheint sogar eine längere Überlebensrate nach zuvor erfolgter kniegelenksnaher Umstellungsosteotomie und dadurch erreichter physiologischer Gelenkwinkel denkbar.

Zusammenfassend bleibt eine Prothesenimplantation nach primär erfolgter Umstellungsosteotomie, technisch anspruchsvoller, jedoch zeigen neuere Studienergebnisse zunehmend vergleichbare Ergebnisse, zur Primärimplantation (113, 189-192). Im Fall einer erfolgreichen Korrekturosteotomie mit Wiederherstellung physiologischer Gelenkwinkel könnte sogar eine verbesserte Ausgangssituation für eine konsekutive KTP bestehen. Hier gilt es keinen simplen Vergleich zu Ergebnissen nach primärer KTP zu ziehen, sondern die prekäre, präoperative Situation vor erfolgter Korrekturosteotomie, mit ausgeprägter Deformität in der Frontalebene zu berücksichtigen. In diesem Fall, würde auch bei primärer KTP eine deutlich erschwerte Ausgangssituation mit mutmaßlich höherem Komplikations- und Versagensrisiko bestehen, wenn nicht sogar ein höherer Kopplungsgrad der Primärprothese in Betracht gezogen werden müsste.

4.4 Limitationen der DLO und Ansätze für mögliche Erweiterungen des Verfahrens

Die in dieser Forschungsarbeit betrachtete DLO adressiert Fehlstellungen in der Metaphyse und sollte bei vorliegenden intraartikulären Fehlstellungen nicht primär eingesetzt werden, wie bereits in vorangegangenen Kapiteln diskutiert wurde (*vgl. Abschnitt 4.2.3 und Abschnitt 4.3*). Ausgeprägte Varusdeformitäten bei osteoarthritischen Knien sind jedoch, in den meisten Fällen, nicht allein durch knöcherne Deformitäten in der Metaphyse bedingt, sondern ebenfalls durch intraartikuläre Deformitäten. Dabei führt eine Verengung des betroffenen, medialen Gelenkspalts, bei gleichzeitiger Verbreiterung des lateralen Gelenkspalts zu einer Veränderung des Konvergenzwinkels der Gelenklinien. Ein vergrößerter JLCA kann zu Instabilität und einer Inkongruenz der Gelenkflächen bzw. der korrespondierenden Gelenkkörper führen (194). Darüber hinaus zeigte Ogawa *et al.*, dass eine bestehende, Varus bedingte Laxizität mit einem signifikant erhöhten Risiko für eine Überkorrektur bei medial öffnender HTO einhergeht (195).

In solchen Fällen ist es nicht möglich allein durch eine HTO die physiologische Gelenkgeometrie wiederherzustellen. Wie bereits in vorausgegangenen Abschnitten beschrieben, lässt sich durch eine MOWHTO nur die knöcherne Deformität in der Metaphyse, nicht jedoch die intraartikulären Deformitäten adressieren. Zur Korrektur der intraartikulären Deformität und Anhebung des medialen Tibiaplateaus kann eine Tibiakondylen valgus Osteotomie (TCVO) durchgeführt werden. Chiba *et al* erreichte im mittelfristigen Verlauf, 5 Jahre nach durchgeführter TCVO, für Patienten mit fortgeschrittener medialer Gonarthrose und einer Subluxation des lateralen Gelenkskompartiments, gute klinische und radiologische Ergebnisse (196). Hierbei konnte der JLCA erfolgreich korrigiert und normalisiert werden, jedoch bietet das Verfahren nur eine eingeschränkte Möglichkeit zur Korrektur der Varusdeformität (197).

Durch eine Kombination beider Korrekturosteotomien wäre somit eine Korrektur der extraartikulären und der intraartikulären Deformitäten möglich. Zumindest in

der Theorie könnten somit physiologische Gelenkwinkel, eine Gelenkstabilität und Kongruenz wiederhergestellt werden. Erste Fallberichte von Saito *et al* aus dem Jahr 2021 und Nakayama *et al*. aus dem Jahr 2022 zeigen den Ansatz als durchaus vielversprechend (198, 199). In beiden Artikeln wird vor allem das chirurgische Vorgehen anhand eines Beispiels mit präoperativ bestehender, massiver Deformität beschrieben. Saito *et al*. beschreibt darüber hinaus noch einen Algorithmus zur Entscheidungsfindung welches Verfahren der kniegelenksnahen Korrekturosteotomien zur Anwendung kommen sollte. Entscheidungsgrundlage sind hierbei die präoperative Deformitätenanalyse und präoperative Planung beziehungsweise Osteotomiesimulation (199). Gleichzeitig werden aber auch mögliche Risiken und Schwachpunkte der Verfahrenskombination diskutiert. Hierbei stellt die massive Korrektur der proximalen Tibia ein großes Risiko für die Entstehung eines postoperativen Hämatoms oder Kompartmentsyndroms dar. Darüber hinaus besteht ein relevantes Risiko für eine verzögerte oder ausbleibende Knochenheilung und die Entwicklung einer Pseudarthrose. Letztlich kann durch die Kombination der Osteotomien, v.a. im Bereich der verbleibenden posterioren Tibia eine knöcherne Schwachstelle mit erhöhtem Frakturrisiko im Heilverlauf, entstehen (197, 199). Weniger als Limitation einer DLO, sondern vielmehr mögliche Weiterentwicklung des Verfahrens, kann die Arbeit von Konrads *et al*. gesehen werden. Dieser zeigte anhand retrospektiver Ausmessungen von Ganzbeinstandaufnahmen, vor und nach erfolgter kniegelenksnaher Umstellungsosteotomien, deren Einfluss auf die Sprunggelenksstellung im Raum. Hierbei führten die kniegelenksnahen Umstellungsosteotomien zu Änderungen der malleolären, horizontalen Orientierung (MHA). Perspektivisch sollte bei der Planung einer Osteotomie im Bereich des Kniegelenks, zur Korrektur eines *genu varum* oder *valgum*, auch das Sprunggelenk berücksichtigt werden. Insbesondere bei Patienten mit vorbestehenden Deformitäten, Bandinstabilitäten oder Gelenkdegenerationen im Bereich des Sprunggelenks (200).

4.5 Studienlimitationen

Die vorliegende Forschungsarbeit hat studienbedingt einige Limitationen.

Grundsätzlich handelt es sich beim zugrunde liegenden Studiendesign um eine retrospektive Kohortenstudie. Hiervon sind vor allem die klinisch-funktionellen Ergebnisse beeinflusst, da diese somit eine Momentaufnahme darstellen und kein Verlauf abgebildet werden kann. Die erfassten klinischen Scores müssen somit als Absolutwerte interpretiert werden, eine Verbesserung oder Verschlechterung kann nur anhand der Erinnerungsdaten der Patienten dargestellt werden. Entsprechend wurden etablierte und umfassend getestete Scores verwendet, sodass, zum einen eine Interpretation der Absolutwerte erfolgen kann, zum anderen Vergleiche zu Studienergebnissen anderer Forschungsarbeiten gezogen werden konnten. Die Erfassung und Anwendung des SF-36, ermöglichte überdies Vergleiche zur Normalbevölkerung, wobei Alters- Geschlechts- und geographische Faktoren eliminiert sind.

Alle radiologischen Untersuchungen wurden sowohl im Rahmen der präoperativen Planung als auch der postoperativen Nachuntersuchungen standardmäßig durchgeführt. Hier erfolgte lediglich die Ausmessung retrospektiv, was eine konsistente Messmethode und Messdurchführung gewährleistet, und somit als Vorteil zu sehen ist.

Auf Grund des retrospektiven Studiendesigns ist ein Einfluss auf die Follow-up Rate oder sogar ein Selektionsbias nicht auszuschließen. Grundsätzlich ist bei einem prospektiven Studiendesign von einer höheren Follow-up Rate – auch im mittelfristigen Follow-up – auszugehen. Jedoch wurde im vorliegenden Forschungsvorhaben eine Follow-up Rate von 75% nach 8,2 Jahren erreicht. Überdies bei einer Kollektivgröße von 53 eingeschlossenen Patienten, was trotz retrospektivem Studiendesign, einen bis *dato* einmaligen Datensatz darstellt.

Ein potenzielles Selektionsbias ist dennoch nicht auszuschließen, da die meisten Patienten auf Grund fehlender Kontaktinformationen oder Ablehnung der Studienteilnahme ausgeschlossen wurden. Im Fall persistierender Beschwerden oder einer sekundären Endoprothese erfolgte in vielen Fällen die Kontaktaufnahme von Seiten der Patienten, während des Beobachtungsverlaufs.

Somit lagen zum Einschlusszeitpunkt, in diesen Fällen aktuelle Kontaktinformationen vor und eine Kontaktaufnahme mit Studieneinschluss wurde wahrscheinlicher. In Fällen der Studienablehnung zeigte sich ein heterogenes Bild. Dabei wurde als Ablehnungsgrund der Studienteilnahme, fehlender Leidensdruck und damit auch kein Bedarf einer Nachuntersuchung oder Behandlung, angegeben. Demgegenüber wurde als Ablehnungsgrund ebenfalls Unzufriedenheit mit dem Behandlungsergebnis und daraus resultierende, fehlende Bereitschaft einer Studienteilnahme, angegeben.

Eine weitere Einschränkung der Studie ist die fehlende Vergleichsgruppe mit einem alternativen Behandlungsverfahren. Hier wäre in erster Linie eine *single level* Osteotomie oder eine unikondyläre Oberflächenersatzprothese zu nennen. Jedoch wurde versucht mit Hilfe dieser Forschungsarbeit, genau in diesem Bereich die spezifischen Indikationsstellungen und Anwendungsfälle zwischen einer SLO, UKA und einer DLO besser herauszuarbeiten. Nach Meinung des Autors stehen genannte Verfahren nicht in direkter Konkurrenz zueinander, sondern ergänzen sich hinsichtlich operativer Therapiemöglichkeiten bei monokompartimenteller Gonarthrose.

Auf Grund der Gegebenheiten und Kliniksituation als Level-1-Traumazentrum, ergab sich insgesamt ein heterogenes Patienten Kollektiv. Hierbei wurden neben Patienten mit hereditär-degenerativer Gonarthrose auch Patienten mit posttraumatischer Gonarthrose eingeschlossen. Dies führt zusätzlich zu einer großen Altersspanne des Kollektivs (37-73 Jahre, **vgl. Tbl. 3.1**). Demgegenüber steht eine gute Homogenität hinsichtlich gestellter OP-Indikation, OP-Technik, der verwendeten Implantate, des Skilllevels der Chirurgen und der Spanne des Follow-up Zeitraums. Hierbei ist ein mindest Follow-up von 5 Jahren gewährleistet. Mit einem einheitlichen OP-Zentrum, geht auch eine einheitliche Nachbehandlung und Nachbehandlungsempfehlung einher.

4.6 Zusammenfassende Beurteilung

Mittels der vorliegenden Forschungsarbeit konnte gezeigt werden, dass die DLO eine überzeugende chirurgische Technik zur mittelfristigen Wiederherstellung physiologischer Gelenkwinkel bei Patienten mit fortgeschrittener Varusgonarthrose ist. Auf diesem Gebiet liegen bisher kaum mittel- bis langfristige Ergebnisse mit ausreichend großen Kollektiven vor, was die Relevanz dieser Forschungsarbeit unterstreicht. Es konnte die Konsistenz der physiologischen Gelenkverhältnisse im mittel- bis langfristigen Follow-up, ohne sekundäre Insuffizienz oder Revarisierung als entscheidende Erkenntnis, zur Bestätigung vieler kurzfristigen Arbeiten auf diesem Forschungsgebiet, erbracht werden. Damit einhergehend auch die Darstellung der mittelfristigen Überlebensrate (keine Konversion zur KTP) nach erfolgter DLO. Somit konnte eine Lücke geschlossen werden, wobei bis *dato* nur Schätzungen anhand kurzfristiger Ergebnisse nach DLO und Übertragungen anhand Langzeitergebnisse nach erfolgter *single level* Osteotomien möglich waren.

Zum Teil bereits während des Studienablaufs, jedoch spätestens in Anbetracht der vorliegenden Forschungsergebnisse, wurde im durchführenden Studienzentrum zunehmend progressiver die Indikation zur DLO, anstatt einer SLO gestellt. Hierbei überwiegen nach Meinung des Autors und des Forschungsteams die Vorteile einer DLO, in Grenzfällen der Indikationsstellung, zwischen beiden Verfahren. Vor allem die Wiederherstellung einer physiologischen Gelenksituation steht hier im Vordergrund und rechtfertigt einen umfangreicheren Eingriff im Vergleich zu einer SLO.

Die positiven Ergebnisse acht Jahre nach Durchführung der DLO unterstreichen nach Ansicht des Autos die Wirksamkeit dieser Behandlungsmethode. Dies spricht dafür, die DLO als festen Bestandteil des operativen Behandlungskonzepts bei medialer Gonarthrose und ausgeprägter Varusdeformität zu etablieren. In der BG Unfallklinik Tübingen (Eberhard Karls Universität Tübingen) ist die DLO bereits im operativen Stufenbehandlungskonzept der monokompartimentellen Gonarthrose integriert und kommt in Fällen ausgeprägter oder kombinierter Varusdeformität aus

proximaler Tibia und distalem Femur, zur Anwendung. Anhand der vorliegenden Ergebnisse konnten nun die subjektive Behandlungszufriedenheit der Patienten und Behandler, im mittelfristigen Verlauf, objektiv bestätigt werden. Die gewonnenen Erkenntnisse werden sowohl zur präoperativen Entscheidungsfindung als auch zur Schaffung eines patientenindividuellen Erwartungshorizonts genutzt und in das bestehende Behandlungskonzept integriert.

5 Zusammenfassung

Korrekturgenauigkeit und mittelfristige klinische Ergebnisse nach Doppelumstellungsosteotomie am Bein – eine katamnestische Querschnittsstudie

Fragestellung: Die valgisierende DLO ist eine gelenkerhaltende Technik zur Behandlung einer symptomatischen Varusgonarthrose. Sie kommt vor allem in Fällen ausgeprägter, sowie femoral und tibial kombinierter, Deformität zur Anwendung. Das Ziel liegt dabei in der Wiederherstellung physiologischer Gelenkwinkel und Entlastung des medialen Kniegelenkskompartiments.

Hauptzielkriterium dieser Studie war es, die mittelfristige Überlebensrate (>5 Jahre, keine Konversion zur KTP) zu untersuchen. Darüber hinaus sollte, die Wiederherstellung physiologischer Gelenkwinkel und ein möglicher Korrekturverlust im Beobachtungsverlauf untersucht werden. Letztlich sollte das klinisch-funktionelle Ergebnis im mittelfristigen Verlauf erfasst werden.

Methodik: Alle Patienten die im Zeitraum zwischen 2011 und 2015 eine valgisierende DLO (öffnende, hohe Tibiaosteotomie und schließende, distale Femurosteotomie) an der BG Unfallklinik Tübingen erhalten hatten, sollten eingeschlossen und nach einem mindest Follow-up von fünf Jahren nachuntersucht werden. Die Überlebensrate sollte erfasst werden, und im Fall einer Konversion zur KTP, der Konversionszeitpunkt.

Zur radiologischen Erfassung, sollten präoperativ, sechs Wochen nach erfolgter DLO und zum Zeitpunkt des letzten Follow-ups, eine anterior-posterior Ganzbeinstandaufnahmen unter Vollbelastung und Kniegelenksaufnahmen in zwei Ebenen angefertigt werden. Zu jedem Zeitpunkt sollte dann eine Deformitätenanalyse zur Erfassung der einzelnen Gelenkwinkel (mTFA, mMPTA, mLDFa, JLO, JLCA) durchgeführt werden.

Das klinische Ergebnis sollte anhand gängiger klinischer Scores (IKDC-, Oxford- und Lysholm Score) gemessen werden.

Ergebnisse: 45 Patienten (53 Knie; 74,6%) konnten nach $8,2 \pm 1,5$ Jahren eingeschlossen werden. Die Patienten waren zum Zeitpunkt der letzten Untersuchung $58,4 \pm 7,6$ Jahre alt und hatten einen BMI von $30,4 \pm 5,5 \text{ kg/m}^2$.

Zum Zeitpunkt des letzten Follow-ups hatten sechs Patienten eine Endoprothese erhalten, somit ergab sich eine Überlebensrate von 88,7% nach 8,2 Jahren (7-Jahres Überlebensrate: 92,5% und 5-Jahres Überlebensrate: 94,3%). Der Zeitpunkt der Prothesenimplantation lag bei durchschnittlich 5,1 Jahren.

Präoperativ bestand eine ausgeprägte Varusdeformität von $-10,2 \pm 2,7^\circ$ (mTFA). Außerdem pathologische Kniegelenkwinkel mit einem mMPTA von $84,6 \pm 2,1^\circ$, einem mL DFA von $91,5 \pm 2,1^\circ$, einer JLO von $2,8 \pm 1,8^\circ$ und einem JLCA von $3,3 \pm 1,9^\circ$. Das chirurgische Ergebnis sechs Wochen nach erfolgter DLO, zeigte eine korrigierte Beinachse (mTFA: $0,8 \pm 2,0^\circ$) und physiologische Werte der einzelnen Gelenkwinkel: mMPTA $91,1 \pm 2,2^\circ$, mL DFA $86,5 \pm 2,2^\circ$, eine JLO von $2,8 \pm 2,1^\circ$ und einen JLCA von $3,8 \pm 2,2^\circ$. Mittelfristig zeigte sich eine erhaltene physiologische Beinachse (mTFA: $-0,8 \pm 2,5^\circ$) und erhaltene physiologische Gelenkwinkel (mMPTA: $90,3 \pm 2,5^\circ$, mL DFA: $86,9 \pm 2,4^\circ$, eine JLO von $3,1 \pm 2,1^\circ$ und einen JLCA von $4,5 \pm 1,9^\circ$).

Die klinischen Ergebnisse für IKDC, OKS und Lysholm Score waren: 61,2%, 36,1 Punkte und 78,3 Punkte.

Schlussfolgerung: Die Studie zeigt, dass die DLO eine überzeugende chirurgische Technik zur mittelfristigen Wiederherstellung physiologischer Gelenkwinkel bei Patienten mit präoperativ ausgeprägter Deformität und symptomatischer Varusgonarthrose darstellt. Mittelfristig zeigt sich ein Therapieerfolg mit guten klinisch-funktionellen Ergebnissen und einer sehr niedrigen Konversionsrate zur KTP.

Die Vermeidung einer schrägen Gelenkslinie (JLO) und Erhaltung der physiologischen Gelenkwinkel im Beobachtungsverlauf, stellt mutmaßlich die biomechanische Grundlage des klinischen Erfolgs des Therapieverfahrens dar. Letztlich können die vorliegenden Ergebnisse, dazu dienen zukünftig die Indikationsstellung zur DLO weiter zu präzisieren und bereits präoperativ einen möglichst realistischen Erwartungswert bei den Patienten und Behandlern zu schaffen.

6 Literaturverzeichnis

1. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. Duale Reihe Orthopädie und Unfallchirurgie: Thieme; 2017.
2. Imhoff AB, Linke R, Baumgartner R. Checkliste Orthopädie: Thieme; 2010.
3. Michael JW, Schluter-Brust KU, Eysel P. The epidemiology, etiology, diagnosis, and treatment of osteoarthritis of the knee. *Deutsches Arzteblatt international*. 2010;107(9):152-62.
4. Ficklscherer A. Orthopädie und Traumatologie. 5. ed. Amsterdam: ELSEVIER, Urban und Fischer; 2017 15.08.2017.
5. Scharf HP, Rüter A, Pohlemann T, Marzi I, Kohn D, Günther KP. Orthopädie und Unfallchirurgie: Facharztwissen nach der neuen Weiterbildungsordnung: Elsevier Health Sciences Germany; 2011.
6. Coventry MB, Ilstrup DM, Wallrichs SL. Proximal tibial osteotomy. A critical long-term study of eighty-seven cases. *J Bone Joint Surg Am*. 1993;75(2):196-201.
7. Zhang Y, Jordan JM. Epidemiology of osteoarthritis. *Clin Geriatr Med*. 2010;26(3):355-69.
8. Jiang L, Tian W, Wang Y, Rong J, Bao C, Liu Y, et al. Body mass index and susceptibility to knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *Joint Bone Spine*. 2012;79(3):291-7.
9. Felson DT, Anderson JJ, Naimark A, Walker AM, Meenan RF. Obesity and knee osteoarthritis. The Framingham Study. *Ann Intern Med*. 1988;109(1):18-24.
10. Dare D, Rodeo S. Mechanisms of post-traumatic osteoarthritis after ACL injury. *Curr Rheumatol Rep*. 2014;16(10):448.
11. Dejour H, Walch G, Deschamps G, Chambat P. Arthrosis of the knee in chronic anterior laxity. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. 2014;100(1):49-58.
12. Strobel MJ, Weiler A, Schulz MS, Russe K, Eichhorn HJ. Arthroscopic evaluation of articular cartilage lesions in posterior-cruciate-ligament-deficient knees. *Arthroscopy*. 2003;19(3):262-8.
13. Markolf KL, Gorek JF, Kabo JM, Shapiro MS. Direct measurement of resultant forces in the anterior cruciate ligament. An in vitro study performed with a new experimental technique. *J Bone Joint Surg Am*. 1990;72(4):557-67.
14. Butler DL, Noyes FR, Grood ES. Ligamentous restraints to anterior-posterior drawer in the human knee. A biomechanical study. *J Bone Joint Surg Am*. 1980;62(2):259-70.
15. Roos H, Adalberth T, Dahlberg L, Lohmander LS. Osteoarthritis of the knee after injury to the anterior cruciate ligament or meniscus: the influence of time and age. *Osteoarthritis Cartilage*. 1995;3(4):261-7.
16. Strobel MJ. Manual of Arthroscopic Surgery: Springer Berlin Heidelberg; 2013.
17. Roos H, Laurén M, Adalberth T, Roos EM, Jonsson K, Lohmander LS. Knee osteoarthritis after meniscectomy: prevalence of radiographic changes

- after twenty-one years, compared with matched controls. *Arthritis Rheum.* 1998;41(4):687-93.
18. Baratz ME, Fu FH, Mengato R. Meniscal tears: the effect of meniscectomy and of repair on intraarticular contact areas and stress in the human knee. A preliminary report. *Am J Sports Med.* 1986;14(4):270-5.
 19. Ahmed AM, Burke DL. In-vitro measurement of static pressure distribution in synovial joints--Part I: Tibial surface of the knee. *J Biomech Eng.* 1983;105(3):216-25.
 20. Manidakis N, Dosani A, Dimitriou R, Stengel D, Matthews S, Giannoudis P. Tibial plateau fractures: functional outcome and incidence of osteoarthritis in 125 cases. *Int Orthop.* 2010;34(4):565-70.
 21. Parkkinen M, Madanat R, Mustonen A, Koskinen SK, Paavola M, Lindahl J. Factors predicting the development of early osteoarthritis following lateral tibial plateau fractures: mid-term clinical and radiographic outcomes of 73 operatively treated patients. *Scand J Surg.* 2014;103(4):256-62.
 22. Runhaar J, van Middelkoop M, Reijman M, Vroegindewij D, Oei EH, Bierma-Zeinstra SM. Malalignment: a possible target for prevention of incident knee osteoarthritis in overweight and obese women. *Rheumatology (Oxford).* 2014;53(9):1618-24.
 23. Brouwer GM, van Tol AW, Bergink AP, Belo JN, Bernsen RM, Reijman M, et al. Association between valgus and varus alignment and the development and progression of radiographic osteoarthritis of the knee. *Arthritis Rheum.* 2007;56(4):1204-11.
 24. Sharma L, Song J, Felson DT, Cahue S, Shamiyeh E, Dunlop DD. The role of knee alignment in disease progression and functional decline in knee osteoarthritis. *JAMA.* 2001;286(2):188-95.
 25. Lobenhoffer P. [Importance of osteotomy around to the knee for medial gonarthrosis. Indications, technique and results]. *Orthopäde.* 2014;43(5):425-31.
 26. Oest O. [The significance of axial misalignment as a pre-osteoarthrotic deformity, and its radiological assessment]. *Unfallheilkunde.* 1978;81(11):629-33.
 27. Spahn G, Fritz J, Albrecht D, Angele P, Fickert S, Aurich M, et al. [Coincidence and Therapy of Dysalignments and Degenerative Knee Cartilage Lesions. Results from the German CartilageRegistry DGOU]. *Z Orthop Unfall.* 2017;155(4):457-67.
 28. Thijs Y, Bellemans J, Rombaut L, Witvrouw E. Is high-impact sports participation associated with bowlegs in adolescent boys? *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44(6):993-8.
 29. Moision K, Chang A, Eckstein F, Chmiel JS, Wirth W, Almagor O, et al. Varus–valgus alignment: Reduced risk of subsequent cartilage loss in the less loaded compartment. *Arthritis Rheum.* 2011;63(4):1002-9.
 30. Herbst M. Gesundheitsbezogene Lebensqualität nach open wedge HTO - prospektive 6-Jahres-Ergebnisse. [Diplomarbeit. Medizinische Universität Innsbruck]. In press 2020.
 31. Kellgren JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteo-arthritis. *Ann Rheum Dis.* 1957;16(4):494-502.
 32. Jäger MW, Carl Joachim. *Praxis der Orthopädie.* 1. ed. Stuttgart/New York: Thieme; 1986.

33. Outerbridge RE. The etiology of chondromalacia patellae. *J Bone Joint Surg Br.* 1961;43-b:752-7.
34. Mainil-Varlet P, Van Damme B, Nesic D, Knutsen G, Kandel R, Roberts S. A new histology scoring system for the assessment of the quality of human cartilage repair: ICRS II. *Am J Sports Med.* 2010;38(5):880-90.
35. Barton JR. On the Treatment of Anchylosis, by the Formation of Artificial Joints. *Lond Med Phys J.* 1827;3(14):138-50.
36. Adams W. On Subcutaneous Osteotomy. *Br Med J.* 1879;2(981):604-6.
37. Beger HG. From Archiv fur Klinische Chirurgie to Langenbeck's Archives of Surgery: 1860-2010. *Langenbecks Arch Surg.* 2010;395 Suppl 1:3-12.
38. Brittain HA. Treatment of genu valgum; the discarded iron. *Br Med J.* 1948;2(4572):385-7.
39. Wardle EN. Osteotomy of the tibia and fibula. *Surg Gynecol Obstet.* 1962;115:61-4.
40. Wardle EN. OSTEOTOMY OF THE TIBIA AND FIBULA IN THE TREATMENT OF CHRONIC OSTEOARTHRITIS OF THE KNEE. *Postgrad Med J.* 1964;40:536-42.
41. Dabis J, Templeton-Ward O, Lacey AE, Narayan B, Trompeter A. The history, evolution and basic science of osteotomy techniques. *Strategies Trauma Limb Reconstr.* 2017;12(3):169-80.
42. Dickschas J, Staubli A, Harrer J. [Osteotomies around the Knee]. *Z Orthop Unfall.* 2019;157(2):203-18.
43. Ihle C, Stöckle U, Schröter S, Grünwald L, Herbst M. Mittelfristige klinische und radiologische Ergebnisse nach hoher, öffnender, valgusierender Tibiakopfumstellungsosteotomie - Eine prospektive Untersuchung Homepage DGUV: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung; 2019 [Available from: www.dguv.de/projektdatenbank/0240/ab_01.03.2019_fr240.pdf].
44. Lobenhoffer P, Agneskirchner JD. Improvements in surgical technique of valgus high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2003;11(3):132-8.
45. Staubli AE, De Simoni C, Babst R, Lobenhoffer P. TomoFix: a new LCP-concept for open wedge osteotomy of the medial proximal tibia--early results in 92 cases. *Injury.* 2003;34 Suppl 2:B55-62.
46. Lobenhoffer P, Kley K, Freiling D, van Heerwaarden R. [Medial closed wedge osteotomy of the distal femur in biplanar technique and a specific plate fixator]. *Oper Orthop Traumatol.* 2017;29(4):306-19.
47. Schröter S, Nakayama H, Yoshiya S, Stöckle U, Ateschrang A, Gruhn J. Development of the double level osteotomy in severe varus osteoarthritis showed good outcome by preventing oblique joint line. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2019;139(4):519-27.
48. Nakayama H, Schröter S, Yamamoto C, Iseki T, Kanto R, Kurosaka K, et al. Large correction in opening wedge high tibial osteotomy with resultant joint-line obliquity induces excessive shear stress on the articular cartilage. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018;26(6):1873-8.
49. Saragaglia D, Mercier N, Colle PE. Computer-assisted osteotomies for genu varum deformity: which osteotomy for which varus? *Int Orthop.* 2010;34(2):185-90.

50. Angel JC, Liyanage SP, Griffiths WE. Double osteotomy for the relief of pain in arthritis of the knee. *Rheumatol Rehabil.* 1974;13(3):109-19.
51. Babis GC, An KN, Chao EY, Rand JA, Sim FH. Double level osteotomy of the knee: a method to retain joint-line obliquity. Clinical results. *J Bone Joint Surg Am.* 2002;84(8):1380-8.
52. Benjamin A. Double osteotomy for the painful knee in rheumatoid arthritis and osteoarthritis. *J Bone Joint Surg Br.* 1969;51(4):694-9.
53. Benjamin A. Double Osteotomy of the Knee. *Scand J Rheumatol.* 1974;3(2):65-.
54. Iveson J, Longton EB, Wright V. Comparative study of tibial (single) and tibiofemoral (double) osteotomy for osteoarthritis and rheumatoid arthritis. *Ann Rheum Dis.* 1977;36:319 - 26.
55. Saragaglia D, Nemer C, Colle PE. Computer-assisted double level osteotomy for severe genu varum. *Sports Med Arthrosc Rev.* 2008;16(2):91-6.
56. Zaalberg GS, Wouters HW. Double osteotomy of the knee-joint according to Benjamin. *Acta Orthop Belg.* 1972;58(1):89-90.
57. Schüller HM, van Dijk CN, Fidler MW. Poor results of double osteotomy for the rheumatoid knee. *Acta Orthop Scand.* 1987;58(3):253-5.
58. Nakayama H, Iseki T, Kanto R, Kambara S, Kanto M, Yoshiya S, et al. Physiologic knee joint alignment and orientation can be restored by the minimally invasive double level osteotomy for osteoarthritic knees with severe varus deformity. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(3):742-50.
59. Benzakour T, Hefti A, Lemseffer M, El Ahmadi JD, Bouyarmene H, Benzakour A. High tibial osteotomy for medial osteoarthritis of the knee: 15 years follow-up. *Int Orthop.* 2010;34(2):209-15.
60. Hernigou P. Open wedge tibial osteotomy: Combined coronal and sagittal correction. *The Knee.* 2002;9:15-20.
61. Dugdale TW, Noyes FR, Styer D. Preoperative planning for high tibial osteotomy. The effect of lateral tibiofemoral separation and tibiofemoral length. *Clin Orthop Relat Res.* 1992(274):248-64.
62. Miniaci A, Ballmer FT, Ballmer PM, Jakob RP. Proximal tibial osteotomy. A new fixation device. *Clin Orthop Relat Res.* 1989(246):250-9.
63. Schröter S, Günzel J, Freude T, Ateschrang A, Stöckle U, Albrecht D. [Precision in the planning of open wedge HTO]. *Z Orthop Unfall.* 2012;150(4):368-73.
64. Schröter S, Ihle C, Mueller J, Lobenhoffer P, Stöckle U, van Heerwaarden R. Digital planning of high tibial osteotomy. Interrater reliability by using two different software. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(1):189-96.
65. Weiland SK, Rapp K, Klenk J, Keil U. Zunahme der Lebenserwartung: Größenordnung, Determinanten und Perspektiven. *Dtsch Arztebl International.* 2006;103(16):1072-.
66. Woolf AD, Pfleger B. Burden of major musculoskeletal conditions. *Bull World Health Organ.* 2003;81(9):646-56.
67. Lim WB, Al-Dadah O. Conservative treatment of knee osteoarthritis: A review of the literature. *World J Orthop.* 2022;13(3):212-29.
68. Abbott JH, Robertson MC, Chapple C, Pinto D, Wright AA, Leon de la Barra S, et al. Manual therapy, exercise therapy, or both, in addition to usual

- care, for osteoarthritis of the hip or knee: a randomized controlled trial. 1: clinical effectiveness. *Osteoarthritis Cartilage*. 2013;21(4):525-34.
69. Kurtz S, Ong K, Lau E, Mowat F, Halpern M. Projections of primary and revision hip and knee arthroplasty in the United States from 2005 to 2030. *J Bone Joint Surg Am*. 2007;89(4):780-5.
 70. Mannion AF, Kämpfen S, Munzinger U, Kramers-de Quervain I. The role of patient expectations in predicting outcome after total knee arthroplasty. *Arthritis Res Ther*. 2009;11(5):R139.
 71. Bhandari M, Smith J, Miller LE, Block JE. Clinical and economic burden of revision knee arthroplasty. *Clin Med Insights Arthritis Musculoskelet Disord*. 2012;5:89-94.
 72. Maradit Kremers H, Visscher SL, Moriarty JP, Reinalda MS, Kremers WK, Naessens JM, et al. Determinants of direct medical costs in primary and revision total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2013;471(1):206-14.
 73. Kapadia BH, McElroy MJ, Issa K, Johnson AJ, Bozic KJ, Mont MA. The economic impact of periprosthetic infections following total knee arthroplasty at a specialized tertiary-care center. *J Arthroplasty*. 2014;29(5):929-32.
 74. Konopka JF, Gomoll AH, Thornhill TS, Katz JN, Losina E. The cost-effectiveness of surgical treatment of medial unicompartmental knee osteoarthritis in younger patients: a computer model-based evaluation. *J Bone Joint Surg Am*. 2015;97(10):807-17.
 75. Van Manen MD, Nace J, Mont MA. Management of primary knee osteoarthritis and indications for total knee arthroplasty for general practitioners. *J Am Osteopath Assoc*. 2012;112(11):709-15.
 76. Lobenhoffer P. Indication for Unicompartmental Knee Replacement versus Osteotomy around the Knee. *J Knee Surg*. 2017;30(8):769-73.
 77. Köck FX, Weingärtner D, Beckmann J, Anders S, Schaumburger J, Grifka J, et al. [Operative treatment of the unicompartmental knee arthritis - results of a nationwide survey in 2008]. *Z Orthop Unfall*. 2011;149(2):153-9.
 78. Bähgis H, Tingart M, Perlick L, Lüring C, Anders S, Grifka J. [Total knee arthroplasty and high tibial osteotomy in osteoarthritis--results of a survey in traumatic surgery and orthopedic clinics]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*. 2005;143(1):19-24.
 79. Schallberger A, Jacobi M, Wahl P, Maestretti G, Jakob RP. High tibial valgus osteotomy in unicompartmental medial osteoarthritis of the knee: a retrospective follow-up study over 13-21 years. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011;19(1):122-7.
 80. Song SJ, Bae DK, Kim KI, Park CH. Long-term survival is similar between closed-wedge high tibial osteotomy and unicompartmental knee arthroplasty in patients with similar demographics. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2019;27(4):1310-9.
 81. Ryu SM, Park JW, Na HD, Shon OJ. High Tibial Osteotomy versus Unicompartmental Knee Arthroplasty for Medial Compartment Arthrosis with Kissing Lesions in Relatively Young Patients. *Knee surgery & related research*. 2018;30(1):17-22.
 82. Herman BV, Giffin JR. High tibial osteotomy in the ACL-deficient knee with medial compartment osteoarthritis. *J Orthop Traumatol*. 2016;17(3):277-85.

83. Griffin T, Rowden N, Morgan D, Atkinson R, Woodruff P, Maddern G. UNICOMPARTMENTAL KNEE ARTHROPLASTY FOR THE TREATMENT OF UNICOMPARTMENTAL OSTEOARTHRITIS: A SYSTEMATIC STUDY. *ANZ J Surg.* 2007;77(4):214-21.
84. Mancuso F, Hamilton TW, Kumar V, Murray DW, Pandit H. Clinical outcome after UKA and HTO in ACL deficiency: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(1):112-22.
85. Fu D, Li G, Chen K, Zhao Y, Hua Y, Cai Z. Comparison of high tibial osteotomy and unicompartmental knee arthroplasty in the treatment of unicompartmental osteoarthritis: a meta-analysis. *The Journal of arthroplasty.* 2013;28(5):759-65.
86. Rodriguez-Merchan EC. Unicompartmental Knee Osteoarthritis (UKOA): Unicompartmental Knee Arthroplasty (UKA) or High Tibial Osteotomy (HTO)? *Arch Bone Jt Surg.* 2016;4(4):307-13.
87. Robertsson O, W-Dahl A. The Risk of Revision After TKA Is Affected by Previous HTO or UKA. *Clinical Orthopaedics and Related Research®.* 2015;473(1):90-3.
88. El-Galaly A, Nielsen PT, Kappel A, Jensen SL. Reduced survival of total knee arthroplasty after previous unicompartmental knee arthroplasty compared with previous high tibial osteotomy: a propensity-score weighted mid-term cohort study based on 2,133 observations from the Danish Knee Arthroplasty Registry. *Acta Orthop.* 2020;91(2):177-83.
89. Robertsson O, A WD. The risk of revision after TKA is affected by previous HTO or UKA. *Clin Orthop Relat Res.* 2015;473(1):90-3.
90. Jeon YS, Ahn CH, Kim M-K. Comparison of HTO with articular cartilage surgery and UKA in unicompartmental OA. *Journal of Orthopaedic Surgery.* 2017;25(1):2309499016684092.
91. Santoso MB, Wu L. Unicompartmental knee arthroplasty, is it superior to high tibial osteotomy in treating unicompartmental osteoarthritis? A meta-analysis and systemic review. *J Orthop Surg Res.* 2017;12(1):50.
92. Goshima K, Sawaguchi T, Sakagoshi D, Shigemoto K, Hatsuchi Y, Akahane M. Age does not affect the clinical and radiological outcomes after open-wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(3):918-23.
93. Takeuchi R, Umemoto Y, Aratake M, Bito H, Saito I, Kumagai K, et al. A mid term comparison of open wedge high tibial osteotomy vs unicompartmental knee arthroplasty for medial compartment osteoarthritis of the knee. *J Orthop Surg Res.* 2010;5(1):65.
94. Seil R, van Heerwaarden R, Lobenhoffer P, Kohn D. The rapid evolution of knee osteotomies. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(1):1-2.
95. Ziegler R, Goebel L, Cucchiaroni M, Pape D, Madry H. Effect of open wedge high tibial osteotomy on the lateral tibiofemoral compartment in sheep. Part II: standard and overcorrection do not cause articular cartilage degeneration. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;22(7):1666-77.
96. Hernigou P, Medevielle D, Debeyre J, Goutallier D. Proximal tibial osteotomy for osteoarthritis with varus deformity. A ten to thirteen-year follow-up study. *J Bone Joint Surg Am.* 1987;69(3):332-54.

97. Cho SW, Kim DH, Lee GC, Lee SH, Park SH. Comparison between Autogenous Bone Graft and Allogeneous Cancellous Bone Graft in Medial Open Wedge High Tibial Osteotomy with 2-Year Follow-up. *Knee surgery & related research*. 2013;25(3):117-25.
98. Onodera J, Kondo E, Omizu N, Ueda D, Yagi T, Yasuda K. Beta-tricalcium phosphate shows superior absorption rate and osteoconductivity compared to hydroxyapatite in open-wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22(11):2763-70.
99. Pape D, Dueck K, Haag M, Lorbach O, Seil R, Madry H. Wedge volume and osteotomy surface depend on surgical technique for high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2013;21(1):127-33.
100. El-Assal MA, Khalifa YE, Abdel-Hamid MM, Said HG, Bakr HM. Opening-wedge high tibial osteotomy without bone graft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2010;18(7):961-6.
101. Petersen W, Wall A, Paulin T, Park HU, Heymann L. Stability of two angular stable locking plates for open wedge high tibial osteotomy (HTO): TomoFix versus LOQTEQ(R) HTO plate. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2014;134(10):1437-42.
102. Raja Izaham RM, Abdul Kadir MR, Abdul Rashid AH, Hossain MG, Kamarul T. Finite element analysis of Puddu and Tomofix plate fixation for open wedge high tibial osteotomy. *Injury*. 2012;43(6):898-902.
103. Lee SC, Jung KA, Nam CH, Jung SH, Hwang SH. The short-term follow-up results of open wedge high tibial osteotomy with using an Aescula open wedge plate and an allogenic bone graft: the minimum 1-year follow-up results. *Clin Orthop Surg*. 2010;2(1):47-54.
104. Duivenvoorden T, van Diggele P, Reijman M, Bos PK, van Egmond J, Bierma-Zeinstra SMA, et al. Adverse events and survival after closing- and opening-wedge high tibial osteotomy: a comparative study of 412 patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25(3):895-901.
105. Schroter S, Gonser CE, Konstantinidis L, Helwig P, Albrecht D. High complication rate after biplanar open wedge high tibial osteotomy stabilized with a new spacer plate (Position HTO plate) without bone substitute. *Arthroscopy*. 2011;27(5):644-52.
106. Cotic M, Vogt S, Hinterwimmer S, Feucht MJ, Slotta-Huspenina J, Schuster T, et al. A matched-pair comparison of two different locking plates for valgus-producing medial open-wedge high tibial osteotomy: peek-carbon composite plate versus titanium plate. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23(7):2032-40.
107. Lee OS, Ahn S, Ahn JH, Teo SH, Lee YS. Effectiveness of concurrent procedures during high tibial osteotomy for medial compartment osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2018;138(2):227-36.
108. Niemeyer P, Schmal H, Hauschild O, von Heyden J, Sudkamp NP, Kostler W. Open-wedge osteotomy using an internal plate fixator in patients with medial-compartment gonarthrosis and varus malalignment: 3-year results with regard to preoperative arthroscopic and radiographic findings. *Arthroscopy*. 2010;26(12):1607-16.

109. Cooke TD, Pichora D, Siu D, Scudamore RA, Bryant JT. Surgical implications of varus deformity of the knee with obliquity of joint surfaces. *J Bone Joint Surg Br.* 1989;71(4):560-5.
110. Martin JA, Buckwalter JA. Post-traumatic osteoarthritis: the role of stress induced chondrocyte damage. *Biorheology.* 2006;43(3,4):517-21.
111. Smith RL, Carter DR, Schurman DJ. Pressure and shear differentially alter human articular chondrocyte metabolism: a review. *Clin Orthop Relat Res.* 2004(427 Suppl):S89-95.
112. Song JH, Bin SI, Kim JM, Lee BS. What Is An Acceptable Limit of Joint-Line Obliquity After Medial Open Wedge High Tibial Osteotomy? Analysis Based on Midterm Results. *Am J Sports Med.* 2020;48(12):3028-35.
113. Ramappa M, Anand S, Jennings A. Total knee replacement following high tibial osteotomy versus total knee replacement without high tibial osteotomy: a systematic review and meta analysis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2013;133(11):1587-93.
114. Hernigou P, Duffiet P, Julian D, Guissou I, Poignard A, Flouzat-Lachaniette CH. Outcome of Total Knee Arthroplasty After High Tibial Osteotomy: Does Malalignment Jeopardize the Results when Using a Posterior-Stabilized Arthroplasty? *HSS Journal*®. 2013;9(2):134-7.
115. Preston S, Howard J, Naudie D, Somerville L, McAuley J. Total knee arthroplasty after high tibial osteotomy: no differences between medial and lateral osteotomy approaches. *Clin Orthop Relat Res.* 2014;472(1):105-10.
116. Gladbach B, Pfeil J, Heijens E. [Correction of leg deformities. Definition, estimation and realignment of axis deviation and misalignment]. *Orthopade.* 1999;28(12):1023-33.
117. Niinimäki TT, Eskelinen A, Mann BS, Junnila M, Ohtonen P, Leppilahti J. Survivorship of high tibial osteotomy in the treatment of osteoarthritis of the knee: Finnish registry-based study of 3195 knees. *J Bone Joint Surg Br.* 2012;94(11):1517-21.
118. Backstein D, Morag G, Hanna S, Safir O, Gross A. Long-term follow-up of distal femoral varus osteotomy of the knee. *J Arthroplasty.* 2007;22(4 Suppl 1):2-6.
119. Brinkman JM, Freiling D, Lobenhoffer P, Staubli AE, van Heerwaarden RJ. Supracondylar femur osteotomies around the knee: patient selection, planning, operative techniques, stability of fixation, and bone healing. *Orthopade.* 2014;43 Suppl 1:S1-10.
120. Brinkman JM, Hurschler C, Agneskirchner JD, Freiling D, van Heerwaarden RJ. Axial and torsional stability of supracondylar femur osteotomies: biomechanical comparison of the stability of five different plate and osteotomy configurations. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011;19(4):579-87.
121. Brinkman JM, Hurschler C, Staubli AE, van Heerwaarden RJ. Axial and torsional stability of an improved single-plane and a new bi-plane osteotomy technique for supracondylar femur osteotomies. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011;19(7):1090-8.
122. Agneskirchner JD, Freiling D, Hurschler C, Lobenhoffer P. Primary stability of four different implants for opening wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14(3):291-300.

123. Alves P, van Rooij F, Kuratle T, Saffarini M, Miozzari H. Consistent indications, targets and techniques for double-level osteotomy of the knee: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2022;1-10.
124. Saragaglia D, Rubens-Duval B, Chaussard C. [Computer-assisted combined femoral and tibial osteotomy for severe genu varum: early results in 16 patients]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 2007;93(4):351-6.
125. Saragaglia D, Chedal-Bornu B. Computer-assisted osteotomy for valgus knees: medium-term results of 29 cases. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2014;100(5):527-30.
126. Cameron JI, McCauley JC, Kermanshahi AY, Bugbee WD. Lateral Opening-wedge Distal Femoral Osteotomy: Pain Relief, Functional Improvement, and Survivorship at 5 Years. *Clin Orthop Relat Res.* 2015;473(6):2009-15.
127. Herbst M, Kuwashima U, Ahrend MD, Gueorguiev BG, Schröter S, Ihle C. Health-Related Quality of Life - an Underestimated Factor to Evaluate the Treatment Success after Open Wedge HTO Surgery: Prospective 6-Years Follow-Up. *Z Orthop Unfall.* 2020.
128. Herzenberg JE, Paley D. *Principles of Deformity Correction*: Springer Berlin Heidelberg; 2014.
129. Paley D, Herzenberg JE, Tetsworth K, McKie J, Bhave A. Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies. *Orthop Clin North Am.* 1994;25(3):425-65.
130. Nakayama H, Kanto R, Onishi S, Kambara S, Amai K, Yoshiya S, et al. Hinge fracture in lateral closed-wedge distal femoral osteotomy in knees undergoing double-level osteotomy: assessment of postoperative change in rotational alignment using CT evaluation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020.
131. Takeuchi R, Ishikawa H, Kumagai K, Yamaguchi Y, Chiba N, Akamatsu Y, et al. Fractures around the lateral cortical hinge after a medial opening-wedge high tibial osteotomy: a new classification of lateral hinge fracture. *Arthroscopy.* 2012;28(1):85-94.
132. Freiling D, van Heerwaarden R, Staubli A, Lobenhoffer P. [The medial closed-wedge osteotomy of the distal femur for the treatment of unicompartmental lateral osteoarthritis of the knee]. *Oper Orthop Traumatol.* 2010;22(3):317-34.
133. Lobenhoffer P, van Heerwaarden R, Agneskirchner J, Galla M. *Kniegelenknahe Osteotomien: Indikation - Planung - Operationstechniken mit Plattenfixateuren*: Thieme; 2014.
134. Visser J, Brinkman JM, Bleys RL, Castelein RM, van Heerwaarden RJ. The safety and feasibility of a less invasive distal femur closing wedge osteotomy technique: a cadaveric dissection study of the medial aspect of the distal femur. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(1):220-7.
135. V RF. *REFA-Grundausbildung 4.0 - Begriffe und Formeln*: Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG; 2021.
136. Dawson J, Fitzpatrick R, Murray D, Carr A. Questionnaire on the perceptions of patients about total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br.* 1998;80(1):63-9.

137. Harcourt WG, White SH, Jones P. Specificity of the Oxford knee status questionnaire. The effect of disease of the hip or lumbar spine on patients' perception of knee disability. *J Bone Joint Surg Br.* 2001;83(3):345-7.
138. Lysholm J, Gillquist J. Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *Am J Sports Med.* 1982;10(3):150-4.
139. Tegner Y, Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Relat Res.* 1985(198):43-9.
140. Irrgang JJ, Anderson AF, Boland AL, Harner CD, Kurosaka M, Neyret P, et al. Development and validation of the international knee documentation committee subjective knee form. *Am J Sports Med.* 2001;29(5):600-13.
141. Collins NJ, Misra D, Felson DT, Crossley KM, Roos EM. Measures of knee function: International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Evaluation Form, Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score Physical Function Short Form (KOOS-PS), Knee Outcome Survey Activities of Daily Living Scale (KOS-ADL), Lysholm Knee Scoring Scale, Oxford Knee Score (OKS), Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC), Activity Rating Scale (ARS), and Tegner Activity Score (TAS). *Arthritis Care Res (Hoboken).* 2011;63 Suppl 11:S208-28.
142. Grevnerts HT, Terwee CB, Kvist J. The measurement properties of the IKDC-subjective knee form. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(12):3698-706.
143. Hefti F, Müller W. [Current state of evaluation of knee ligament lesions. The new IKDC knee evaluation form]. *Orthopade.* 1993;22(6):351-62.
144. Roos EM, Roos HP, Lohmander LS, Ekdahl C, Beynnon BD. Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)--development of a self-administered outcome measure. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1998;28(2):88-96.
145. Ware JE, Jr., Sherbourne CD. The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). I. Conceptual framework and item selection. *Med Care.* 1992;30(6):473-83.
146. Morfeld M, Kirchberger I, Bullinger M. Fragebogen zum Gesundheitszustand (SF-36). Göttingen: Hogrefe; 2011.
147. McHorney CA, Ware JE, Jr., Lu JF, Sherbourne CD. The MOS 36-item Short-Form Health Survey (SF-36): III. Tests of data quality, scaling assumptions, and reliability across diverse patient groups. *Med Care.* 1994;32(1):40-66.
148. Bullinger M. German translation and psychometric testing of the SF-36 Health Survey: preliminary results from the IQOLA Project. *International Quality of Life Assessment. Soc Sci Med.* 1995;41(10):1359-66.
149. Bullinger M, Alonso J, Apolone G, Leplege A, Sullivan M, Wood-Dauphinee S, et al. Translating health status questionnaires and evaluating their quality: the IQOLA Project approach. *International Quality of Life Assessment. J Clin Epidemiol.* 1998;51(11):913-23.
150. Ware JE, Kosinski M. Interpreting SF-36 summary health measures: a response. *Qual Life Res.* 2001;10(5):405-13; discussion 15-20.
151. Laucis NC, Hays RD, Bhattacharyya T. Scoring the SF-36 in Orthopaedics: A Brief Guide. *J Bone Joint Surg Am.* 2015;97(19):1628-34.

152. Bullinger MK, Inge. SF-36 Fragebogen zum Gesundheitszustand, Handanweisung. Göttingen: Hogrefe; 1998.
153. Stenhausen M, Ekstrom H, Nordell E, Elmstahl S. Accidental falls, health-related quality of life and life satisfaction: a prospective study of the general elderly population. *Arch Gerontol Geriatr.* 2014;58(1):95-100.
154. Ware JE, Jr., Gandek B. Overview of the SF-36 Health Survey and the International Quality of Life Assessment (IQOLA) Project. *J Clin Epidemiol.* 1998;51(11):903-12.
155. Ware JE, Jr. SF-36 health survey update. *Spine (Phila Pa 1976).* 2000;25(24):3130-9.
156. Franke H, Franke HJZfMPV. Monika Bullinger und Inge Kirchberger "SF-36. Fragebogen zum Gesundheitszustand. Handanweisung. 1998(4):190-1.
157. Gandek B, Ware JE, Aaronson NK, Apolone G, Bjorner JB, Brazier JE, et al. Cross-validation of item selection and scoring for the SF-12 Health Survey in nine countries: results from the IQOLA Project. *International Quality of Life Assessment. J Clin Epidemiol.* 1998;51(11):1171-8.
158. EuroQol--a new facility for the measurement of health-related quality of life. *Health Policy.* 1990;16(3):199-208.
159. Nowels D, McGloin J, Westfall JM, Holcomb S. Validation of the EQ-5D quality of life instrument in patients after myocardial infarction. *Qual Life Res.* 2005;14(1):95-105.
160. Schweikert B, Hahmann H, Leidl R. Validation of the EuroQol questionnaire in cardiac rehabilitation. *Heart.* 2006;92(1):62-7.
161. Akamatsu Y, Nejima S, Tsuji M, Kobayashi H, Muramatsu S. Joint line obliquity was maintained after double-level osteotomy, but was increased after open-wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2022;30(2):688-97.
162. Rupp M-C, Muench LN, Ehmann YJ, Themessl A, Winkler PW, Mehl J, et al. Improved clinical outcome and high rate of return to low-impact sport and work after knee double level osteotomy for bifocal varus malalignment. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery.* 2022;38(6):1944-53.
163. Saier T, Minzlaff P, Feucht MJ, Lammle L, Burghoff M, Ihle C, et al. Health-related quality of life after open-wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(3):934-42.
164. Paradowski PT, Bergman S, Sundén-Lundius A, Lohmander LS, Roos EM. Knee complaints vary with age and gender in the adult population. Population-based reference data for the Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS). *BMC Musculoskelet Disord.* 2006;7(1):38.
165. White DK, Neogi T, Nguyen U-SDT, Niu J, Zhang Y. Trajectories of functional decline in knee osteoarthritis: the Osteoarthritis Initiative. *Rheumatology.* 2015;55(5):801-8.
166. Herbst M, Ahrend MD, Grünwald L, Fischer C, Schröter S, Ihle C. Overweight patients benefit from high tibial osteotomy to the same extent as patients with normal weights but show inferior mid-term results. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2022;30(3):907-17.

167. Song SJ, Bae DK, Kim KI, Lee CH. Conversion total knee arthroplasty after failed high tibial osteotomy. *Knee surgery & related research*. 2016;28(2):89-98.
168. Bae DK, Song SJ, Yoon KH. Total knee arthroplasty following closed wedge high tibial osteotomy. *Int Orthop*. 2010;34(2):283-7.
169. Erak S, Naudie D, MacDonald SJ, McCalden RW, Rorabeck CH, Bourne RB. Total knee arthroplasty following medial opening wedge tibial osteotomy: Technical issues early clinical radiological results. *The Knee*. 2011;18(6):499-504.
170. Elbardesy H, McLeod A, Ghaith HS, Hakeem S, Housden P. Outcomes of double level osteotomy for osteoarthritic knees with severe varus deformity. A systematic review. *Sicot j*. 2022;8:7.
171. Caubère A, Barbier O, Kley K, Hanak L, Jacquet C, Ollivier M. Double level osteotomy for genu varum: Is a return to sport possible? *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. 2023;109(4):103397.
172. Rosso F, Rossi R, Cantivalli A, Pilone C, Bonasia DE. Joint Line Obliquity Does Not Affect the Outcomes of Opening Wedge High Tibial Osteotomy at an Average 10-Year Follow-up. *The American Journal of Sports Medicine*. 2022;50(2):461-70.
173. Kim JS, Lim JK, Choi HG, Jeong HW, Park SB, Shim SJ, et al. Excessively Increased Joint-Line Obliquity After Medial Opening-Wedge High Tibial Osteotomy Is Associated With Inferior Radiologic and Clinical Outcomes: What Is Permissible Joint-Line Obliquity. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 2022;38(6):1904-15.
174. Han S-B, Choi J-H, Mahajan A, Shin Y-S. Incidence and Predictors of Lateral Hinge Fractures Following Medial Opening-Wedge High Tibial Osteotomy Using Locking Plate System: Better Performance of Computed Tomography Scans. *The Journal of Arthroplasty*. 2019;34(5):846-51.
175. Lee S-J, Kim J-H, Baek E, Ryu H-S, Han D, Choi W. Incidence and Factors Affecting the Occurrence of Lateral Hinge Fracture After Medial Opening-Wedge High Tibial Osteotomy. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2021;9(10):23259671211035372.
176. Weng P-W, Chen C-H, Luo C-A, Sun J-S, Tsuang Y-H, Cheng C-K, et al. The effects of tibia profile, distraction angle, and knee load on wedge instability and hinge fracture: A finite element study. *Med Eng Phys*. 2017;42:48-54.
177. Lee S-S, Celik H, Lee D-H. Predictive Factors for and Detection of Lateral Hinge Fractures Following Open Wedge High Tibial Osteotomy: Plain Radiography Versus Computed Tomography. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 2018;34(11):3073-9.
178. Siboni R, Beaufils P, Boisrenoult P, Steltzlen C, Pujol N. Opening-wedge high tibial osteotomy without bone grafting in severe varus osteoarthritic knee. Rate and risk factors of non-union in 41 cases. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. 2018;104(4):473-6.
179. Takeuchi R, Ishikawa H, Aratake M, Bito H, Saito I, Kumagai K, et al. Medial Opening Wedge High Tibial Osteotomy With Early Full Weight Bearing. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 2009;25(1):46-53.

180. Yacobucci GN, Cocking MR. Union of Medial Opening-Wedge High Tibial Osteotomy Using a Corticocancellous Proximal Tibial Wedge Allograft. *The American Journal of Sports Medicine*. 2008;36(4):713-9.
181. Slevin O, Ayeni OR, Hinterwimmer S, Tischler T, Feucht MJ, Hirschmann MT. The role of bone void fillers in medial opening wedge high tibial osteotomy: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016;24(11):3584-98.
182. Iseki T, Onishi S, Kanto M, Kanto R, Kambara S, Yoshiya S, et al. Double-level osteotomy for severe varus osteoarthritic knees can prevent change in leg length and restore physiological joint geometry. *The Knee*. 2021;31:136-43.
183. Hasler CC. Beinlängendifferenzen. *Der Orthopäde*. 2000;29(9):766-74.
184. Schroter S, Ateschrang A, Lowe W, Nakayama H, Stockle U, Ihle C. Early full weight-bearing versus 6-week partial weight-bearing after open wedge high tibial osteotomy leads to earlier improvement of the clinical results: a prospective, randomised evaluation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25(1):325-32.
185. Mont MA, Antonaides S, Krackow KA, Hungerford DS. Total knee arthroplasty after failed high tibial osteotomy. A comparison with a matched group. *Clin Orthop Relat Res*. 1994(299):125-30.
186. Windsor R, Insall J, Vince K. Technical considerations of total knee arthroplasty after proximal tibial osteotomy. *JBJS*. 1988;70(4):547-55.
187. Katz M, Hungerford D, Krackow K, Lennox D. Results of total knee arthroplasty after failed proximal tibial osteotomy for osteoarthritis. *JBJS*. 1987;69(2):225-33.
188. Ihle C, Ahrend M, Grunwald L, Ateschrang A, Stockle U, Schroter S. No change in patellar height following open wedge high tibial osteotomy using a novel femur-referenced measurement method. *The Knee*. 2017;24(5):1118-28.
189. Meding JB, Wing JT, Ritter MA. Does high tibial osteotomy affect the success or survival of a total knee replacement? *Clin Orthop Relat Res*. 2011;469(7):1991-4.
190. Kazakos KJ, Chatzipapas C, Verettas D, Galanis V, Xarchas KC, Psillakis I. Mid-term results of total knee arthroplasty after high tibial osteotomy. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2008;128(2):167-73.
191. van Raaij TM, Bakker W, Reijman M, Verhaar JA. The effect of high tibial osteotomy on the results of total knee arthroplasty: a matched case control study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2007;8:74.
192. Sun X, Wang J, Su Z. A meta-analysis of total knee arthroplasty following high tibial osteotomy versus primary total knee arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2020;140(4):527-35.
193. Wolff AM, Hungerford DS, Pepe CL. The Effect of Extraarticular Varus and Valgus Deformity on Total Knee Arthroplasty. *Clinical Orthopaedics and Related Research®*. 1991;271:35-51.
194. Kuwashima U, Yonekura A, Itoh M, Itoh J, Okazaki K. Tibial condylar valgus osteotomy – indications and technique. *Journal of Experimental Orthopaedics*. 2020;7(1):30.

195. Ogawa H, Matsumoto K, Ogawa T, Takeuchi K, Akiyama H. Preoperative varus laxity correlates with overcorrection in medial opening wedge high tibial osteotomy. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016;136(10):1337-42.
196. Chiba K, Yonekura A, Miyamoto T, Osaki M, Chiba G. Tibial condylar valgus osteotomy (TCVO) for osteoarthritis of the knee: 5-year clinical and radiological results. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2017;137(3):303-10.
197. Nakayama H, Akiyama T, Kondo E, Takeuchi R, Yoshiya S, Tachibana T, et al. Tibial Condylar Valgus Osteotomy Combined With Medial Open-Wedge Distal Tuberosity Tibial Osteotomy. *Arthroscopy Techniques.* 2022;11(4):e569-e75.
198. Akaoka Y, Iseki T, Kanto R, Onishi S, Tachibana T, Tensho K, et al. Changes in patellar height and patellofemoral alignment following double level osteotomy performed for osteoarthritic knees with severe varus deformity. *Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol.* 2020;22:20-6.
199. Saito H, Yonekura A, Saito K, Shimada Y, Yamamura T, Sato T, et al. A new double level osteotomy procedure to restore a joint line and joint angles in severe varus osteoarthritis.-Double level osteotomy associated with tibial condylar valgus osteotomy (DLOTO). *Asia-Pacific Journal of Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation and Technology.* 2021;24:9-13.
200. Konrads C, Eis A, Ahmad SS, Stöckle U, Döbele S. Osteotomies around the knee lead to corresponding frontal realignment of the ankle. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2022;32(4):675-82.

7 Erklärung zum Eigenanteil der Dissertationsschrift

Die Arbeit wurde in der BG Unfallklinik Tübingen in der Abteilung für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie unter Betreuung von Prof. Dr. med. C. Ihle durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit PD Dr. med. MD Ahrend.

Sämtliche Untersuchungen und Datenerfassungen wurden von mir eigenständig durchgeführt.

Die statistische Auswertung erfolgte eigenständig durch mich.

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

Tübingen den 23.06.2024, Moritz Herbst

VI. Anhänge

Anhang 1: Ethikvotum

EBERHARD KARLS
UNIVERSITÄT
TÜBINGEN



Universitätsklinikum
Tübingen

Medizinische Fakultät

Ethik-Kommission

Prof. Dr. med. Karl Jaschonek
Vorsitzender

Telefon: +49 7071 29-77681

Telefax: +49 7071 29-5985

E-Mail:

ethik.kommission@med.uni-tuebingen.de

Ethik-Kommission an der Medizinischen Fakultät der Eberhard-Karls-Universität
und am Universitätsklinikum Tübingen, Gartenstraße 47, 72074 Tübingen

Herrn

Dr. med. Marc-Daniel Ahrend
Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik
Schnarrenbergstr. 95
72076 Tübingen

nachrichtlich:
Frau Prof. Dr. med. Tina Histing
731/2020BO2
unser Projekt-Nummer

08.09.2020
eingegangen am

23.09.2020
Datum

**Korrekturgenaugigkeit und klinische Langzeitergebnisse nach Doppelosteotomie am Bein
- eine katamnestische Querschnittstudie.**

Hier:

Schreiben vom 11.08.2020, Prüfplan Version 1.0 vom 24.07.2020, Informationsblatt zur Studie vom 13.07.2020, Einverständniserklärung zur Studie, Patienteninformation (Fragebogen) undatiert, Schreiben Ethik-Kommission Tübingen vom 27. März 2013 zur Studie 103/2013BO2

Sehr geehrter Herr Dr. Ahrend,

die Unterlagen zu o.g. Studienvorhaben lagen der Ethik-Kommission der Medizinischen Fakultät und am Universitätsklinikum Tübingen zur Beratung vor.

Danach bestehen gegen die geplante Studie seitens der Kommission keine Bedenken.

Die Ethik-Kommission empfiehlt Klarstellungen im Prüfplan sowie Ergänzungen im Informationstext. Einzelheiten finden Sie im Folgenden aufgelistet:

Prüfplan:

1. Im Abschnitt 14 sollten die gültigen Regelungen zu den in der Studie erhobenen Daten gemäß DSGVO ausführlich dargestellt werden (einen Mustertext finden Sie auf der Webseite des Arbeitskreises der Medizinischen Ethik-Kommissionen, www.ak-med-ethik-komm.de).
2. Der Begriff „Pseudononymisierung“ sollte vermieden werden. In Deutschland wird der Begriff „Pseudonymisierung“ verwendet.
3. Abschnitt 14 Abs. 4, Zeile 5: Der Satz sollte lauten „für die weitere Bearbeitung und Auswertung werden pseudonymisierte (verschlüsselte) Daten verwendet, für die Veröffentlichung ausschließlich anonymisierte Daten.“

Informationstext:

1. Die Angaben im Prüfplan zur Studiendauer (Ende Dezember 2021), Mindest-Follow-Up (mehr als 5 Jahre) und Einschlusskriterien (letzter Termin 31.12.2016) sollten aneinander angepasst werden.
2. Die ungefähr geplante Zahl der Studienteilnehmer sollte mitgeteilt werden.

Universitätsklinikum Tübingen
Anstalt des öffentlichen Rechts
Stz Tübingen
Geissweg 3 • 72076 Tübingen
Tel. 0707 1429-0
www.medizin.uni-tuebingen.de
Steuer-Nr. 85166/08402
USt-ID: DE 146 899 674

Aufsichtsrat
Ulrich Steinbach (Vorsitzender)
Vorstand
Prof. Dr. Michael Bamberg (Vorsitzender)
Gabriele Sonntag (Stellv. Vorsitzende)
Prof. Dr. Karl Ulrich Bartz-Schmidt
Prof. Dr. Bernd Pichler
Klaus Tischler

Baden-Württembergische Bank Stuttgart
BLZ 650 601 01 Konto-Nr. 7477 5037 93
IBAN: DE 41 6005 0101 7477 5037 93
BIC (SWIFT-Code): SOLADES600
Kreissparkasse Tübingen
BLZ 641 500 20 Konto-Nr. 14 144
IBAN: DE 79 6415 0020 0000 0141 44
BIC (SWIFT-Code): SOLADES1TUB

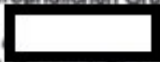
3. Beim Hinweis auf die fehlenden gesundheitlichen Risiken durch die Studienteilnahme soll auch auf die möglichen Vorteile durch die Studienteilnahme hingewiesen werden.
4. Der Umgang mit den Daten muss entsprechend der DSGVO ausführlich dargestellt werden (s.o.). Im Informationstext sollte ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass unter einer noch zu nennenden Telefonnummer ein bestimmter Mitarbeiter (einschl. der Funktion) zur Verfügung steht, bei dem weitere Informationen eingeholt werden können.
5. Es sollte darüber informiert werden, ob ggf. Reisekosten der Studienteilnehmer ersetzt werden.

Einwilligungserklärung:

Der Satz „Ich bin einverstanden, dass die zuständigen Untersuchenden meine Originaldaten einsehen dürfen, jedoch unter strikter Einhaltung der Vertraulichkeit“ ist durch eine komplette datenschutzrechtliche Einwilligungserklärung (s. o.) zu ersetzen

Für Rückfragen stehe ich Ihnen gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen


Prof. Dr. med. Dieter Luft
Stellv. Vorsitzender der Ethik-Kommission

ALLGEMEINE HINWEISE:

Vorsitz der Ethik-Kommission		
Professor Dr. med. Karl Jaschonek	(Vorsitzender)	Innere Medizin
Professor Dr. med. Dr. phil. Urban Wieseling	(1. stellv. Vorsitzender)	Medizinische Ethik
Professor Dr. med. Dieter Luft	(2. stellv. Vorsitzender)	Innere Medizin
Mitglieder der Ethik-Kommission		
Privatdozent Dr. med. Berthold Dreier		Anästhesiologie
Professor Dr. med. Jürgen Honegger		Neurochirurgie
Professor Dr. med. dent. Bernd Koos		Zahnmedizin
Professor Dr. phil. Dipl. Psych. Stefan Klingberg		Psychologie, Psychotherapie
Professor Dr. med. Holger Lerche		Neurologie
Professor Dr. rer. nat. Peter Martus		Biometrie
Professor Dr. med. Klaus Mörike		Klinische Pharmakologie
Professor Dr. med. Christian F. Poets		Pädiatrie
Ulrike Röllecke		Leite
Professor Dr. iur. Dr. h. c. Georg Sandberger		Jurist

Die Ethik-Kommission an der Medizinischen Fakultät der Eberhard-Karls-Universität und am Universitätsklinikum Tübingen verfährt entsprechend den ICH-GCP-Richtlinien, der Deklaration von Helsinki in der jeweils gültigen Fassung sowie den gesetzlichen Bestimmungen. Die Ethik-Kommission ist gemäß § 41a Arzneimittelgesetz, Geschäftszeichen 2017-385-15954, gemäß § 20 Abs. 7 MPG, Aktenzeichen: Z14-A1871-14924/97 und gemäß § 36 Absatz 1 StriSchG beim BfS registriert.

Die Ethik-Kommission bestätigt, dass der Prüfplan mit den erforderlichen Unterlagen insbesondere nach ethischen und rechtlichen Gesichtspunkten beraten wurde. Die berufsethische und berufsrechtliche Beratung gemäß §15 Abs.1 Berufsordnung für Ärzte in Baden-Württemberg ist für 3 Jahre ab Ausstellungsdatum gültig. Änderungen im Prüfplan und in der Phase der Umsetzung bitten wir der Kommission mitzuteilen; dabei wären wir Ihnen dankbar, wenn Sie geänderte Passagen deutlich kennzeichnen würden. Unabhängig vom Beratungsergebnis macht die Ethik-Kommission darauf aufmerksam, dass die medizinische, ethische und rechtliche Verantwortung für die Durchführung des Forschungsvorhabens beim Projektleiter und allen an der Studie teilnehmenden Ärzten liegt.

Nach Abschluss der Studie bittet die Kommission um einen abschließenden Bericht.

Anhang 2: Fragebogen selbständig

Korrekturgenauigkeit und klinische Langzeitergebnisse nach Doppelosteotomie am Beim - eine katamnestische Querschnittsstudie

Patienteninformation

Geschlecht	☐ männlich	☐ weiblich
Geburtsdatum	_____. _____. _____. [tt.mm.jjjj]	
Körpergröße	_____ [cm]	
Körpergewicht	_____ [kg]	
Beruf	_____	
Nehmen Sie Medikamente ein?	☐ Ja	☐ Nein
Wenn ja, welche?	_____	
Rauchen Sie?	☐ Ja	☐ Nein
Wie viele Zigaretten rauchen bzw. haben am Tag geraucht?	_____ [Stück]	
Seit wie vielen Jahren? Bzw. Wie viele Jahre haben Sie geraucht?	_____ [Jahre]	
Hatten sie vor der Doppelumstellungsosteotomie bereits einmal eine Operation am besagten Bein?	☐ Ja	☐ Nein
Wenn ja, welche Operationen wurden durchgeführt?	_____	
Haben Sie einen Diabetes mellitus?	☐ Ja	☐ Nein
Haben Sie eine rheumatische Erkrankung?	☐ Ja	☐ Nein
Wenn ja, welche?	_____	
Haben Sie eine Autoimmunerkrankung?	☐ Ja	☐ Nein
Wenn ja, welche?	_____	
Wurde eine Metallentfernung durchgeführt?	☐ Ja	☐ Nein
Wann wurde die Metallentfernung durchgeführt?	_____. _____. _____. [tt.mm.jjjj]	

SF – 36 Health Survey

1	Wie würden Sie Ihren Gesundheitszustand beschreiben?	Ausgezeichnet	Sehr gut	Gut	weniger gut	schlecht
		1	2	3	4	5
2	Im Vergleich zum vergangenen Jahr, wie würden Sie Ihren derzeitigen Gesundheitszustand beschreiben?	Derzeit viel besser	Derzeit etwas besser	Etwa wie vor einem Jahr	Derzeit etwas schlechter	Derzeit viel schlechter
		1	2	3	4	5
Im Folgenden sind einige Tätigkeiten beschrieben, die Sie vielleicht an einem normalen Tag ausüben.						
3	Sind Sie durch Ihren derzeitigen Gesundheitszustand bei diesen Tätigkeiten eingeschränkt? Wenn ja, wie stark?	Ja, stark eingeschränkt	Ja, etwas eingeschränkt	Nein, überhaupt nicht eingeschränkt		
3a	anstrengende Tätigkeiten z.B. schnell laufen, schwere Gegenstände heben, anstrengenden Sport treiben	1	2	3		
3b	mittelschwere Tätigkeiten, z.B. einen Tisch verschieben, staubsaugen, kegeln, Golf spielen	1	2	3		
3c	Einkaufstaschen heben oder tragen	1	2	3		
3d	mehrere Treppenabsätze steigen	1	2	3		
3e	einen Treppenabsatz steigen	1	2	3		
3f	sich beugen, knien, bücken	1	2	3		
3g	mehr als 1 Kilometer zu Fuß gehen	1	2	3		
3h	mehrere Straßenkreuzungen weit zu Fuß gehen	1	2	3		
3i	eine Straßenkreuzung weit zu Fuß gehen	1	2	3		
3j	sich baden oder anziehen	1	2	3		
4	Hatten Sie in den vergangenen vier Wochen aufgrund Ihrer körperlichen Gesundheit irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause?	Ja		Nein		
4a	Ich konnte nicht so lange wie üblich tätig sein	1		2		
4b	Ich habe weniger geschafft als ich wollte	1		2		
4c	Ich konnte nur bestimmte Dinge tun	1		2		
4d	Ich hatte Schwierigkeiten bei der Ausführung	1		2		
5	Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund seelischer Probleme irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause (z.B. weil Sie sich niedergeschlagen oder ängstlich fühlten)?	Ja		Nein		
5a	Ich konnte nicht so lange wie üblich tätig sein	1		2		
5b	Ich habe weniger geschafft als ich wollte	1		2		
5c	Ich konnte meine Tätigkeiten nicht so sorgfältig wie üblich durchführen	1		2		
6	Wie sehr haben ihre körperliche Gesundheit oder seelischen Probleme in den vergangenen 4 Wochen Ihre Kontakte zu Familienangehörigen, Freunden, Nachbarn oder zum Bekanntenkreis beeinträchtigt?	Überhaupt nicht	Etwas	Mäßig	Ziemlich	Sehr
		1	2	3	4	5

7	Wie stark waren Ihre Schmerzen in den vergangenen 4 Wochen?	Keine Schmerzen	Sehr leichte Schmerzen	Leichte Schmerzen	Mäßige Schmerzen	Starke Schmerzen	sehr starke Schmerzen
		1	2	3	4	5	6
8	Inwieweit haben die Schmerzen Sie in den vergangenen 4 Wochen bei der Ausübung Ihrer Alltagstätigkeiten zu Hause und im Beruf behindert?	Überhaupt nicht	Ein Bisschen	Mäßig	Ziemlich	sehr	
		1	2	3	4	5	
In diesen Fragen geht es darum, wie Sie sich fühlen und wie es Ihnen in den vergangenen 4 Wochen gegangen ist. (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die Zahl an, die Ihrem Befinden am ehesten entspricht).							
9	Wie oft waren Sie in den letzten 4 Wochen...	Immer	Meistens	Ziemlich oft	Manchmal	Selten	Nie
9a	... voller Schwung?	1	2	3	4	5	6
9b	... sehr nervös?	1	2	3	4	5	6
9c	... so niedergeschlagen, dass Sie nichts aufheutern konnte?	1	2	3	4	5	6
9d	... ruhig und gelassen?	1	2	3	4	5	6
9e	... voller Energie?	1	2	3	4	5	6
9f	... entmutigt und traurig?	1	2	3	4	5	6
9g	... erschöpft?	1	2	3	4	5	6
9h	... glücklich?	1	2	3	4	5	6
9i	... müde?	1	2	3	4	5	6
10	Wie häufig haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelischen Probleme in den vergangenen 4 Wochen Ihre Kontakte zu anderen Menschen (Besuche der Freunden, Verwandten usw.) beeinträchtigt?	Immer	Meistens	Manchmal	Selten	Nie	
		1	2	3	4	5	
11	Inwieweit trifft jede der folgenden Aussagen auf Sie zu?	Immer	Meistens	Manchmal	Selten	Nie	
11a	Ich scheine etwas leichter als andere krank zu werden	1	2	3	4	5	
11b	Ich bin genauso gesund wie alle anderen, die ich kenne	1	2	3	4	5	
11c	Ich erwarte, dass meine Gesundheit nachlässt	1	2	3	4	5	
11d	Ich erfreue mich ausgezeichneter Gesundheit	1	2	3	4	5	

IKDC – Subjektiver Knieevaluationsscore

SYMPTOME*:

* Wählen Sie zur Beurteilung der Symptome die höchste Aktivitätsstufe, die Sie Ihrer Meinung nach ohne erhebliche Symptome ausüben könnten, selbst wenn Sie auf dieser Stufe keine Aktivitäten ausüben.

1. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliche Schmerzen im Knie ausüben können?

- ☐ Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)
- ☐ Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis
- ☐ Mäßig anstrengende Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen
- ☐ Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
- ☐ Ich kann auf Grund meiner Schmerzen im Knie keine der oben genannten Aktivitäten ausführen.

2. Wie oft hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen?

Kreuzen Sie eines der Kästchen in der nachstehenden Skala an. Die Skala beginnt mit 0 (Nie) und geht mit zunehmender Häufigkeit der Schmerzen bis zu 10 (ständig Schmerzen).

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Nie	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ständig Schmerzen

3. Wie stark sind Ihre Schmerzen?

Kreuzen Sie eines der Kästchen in der nachstehenden Skala an. Die Skala beginnt mit 0 (keine Schmerzen) und geht mit zunehmender Stärke der Schmerzen bis zu 10 (unerträgliche Schmerzen).

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Keine Schmerzen	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Unerträgliche Schmerzen

4. Wie steif oder geschwollen war Ihr Knie während der vergangenen 4 Wochen?

- ☐ Überhaupt nicht
- ☐ Etwas
- ☐ Ziemlich
- ☐ Sehr
- ☐ Extrem

5. Was ist das höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliches Anschwellen des Knies ausüben können?

- ☐ Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)
- ☐ Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis
- ☐ Mäßig anstrengende Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen
- ☐ Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
- ☐ Ich kann auf Grund eines geschwollenen Knies keine der oben genannten Aktivitäten ausführen.

6. Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen oder seit dem Auftreten Ihrer Verletzung ein gesperrtes Knie oder ist Ihr Knie aus- und wieder eingeschnappt?
- ☐ ja
☐ nein
7. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliche durch Knieschwäche verursachte Gangunsicherheit einhalten können?
- ☐ Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)
☐ Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis
☐ Mäßig anstrengende Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen
☐ Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
☐ Ich kann auf Grund der Knieschwäche keine der oben genannten Aktivitäten ausführen.

Sportliche Betätigung

8. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, an der Sie regelmäßig teilnehmen können?
- ☐ Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)
☐ Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis
☐ Mäßig anstrengende Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen
☐ Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
☐ Ich kann auf Grund meines Knies keine der oben genannten Aktivitäten ausführen.
9. Wie schwierig sind aufgrund Ihres Knies die folgenden Aktivitäten für Sie?

	überhaupt nicht schwierig	minimal schwierig	ziemlich schwierig	extrem schwierig	unmöglich
Treppensteigen					
Treppe hinuntergehen					
Auf dem vorderen Knie knien					
Hockstellung					
Normal sitzen					
Vom Stuhl aufstehen					
Geradeaus laufen					
Hochspringen und auf dem betroffenen Bein landen					
Beim Gehen (bzw. Laufen, wenn Sie Sportler/in sind) schnell anhalten und starten					

10. Wie würden Sie die Funktionsfähigkeit Ihres Knies auf einer Skala von 0 bis 10 beurteilen, wobei 10 eine normale und ausgezeichnete Funktionsfähigkeit bezeichnet und 0 die Unfähigkeit, irgendeine Ihrer normalen täglichen Aktivitäten, darunter möglicherweise auch Sport, auszuführen?

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Kann keine täglichen Aktivitäten ausführen	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Keine Einschränkung der täglichen Aktivitäten

Visuelle Analogskale (VAS) – Patienten Zufriedenheit

Allgemeine Patientenzufriedenheit:

Sehr unzufrieden 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Sehr zufrieden
☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Wie zufrieden sind Sie mit dem Gesamtergebnis Ihrer Umstellungsosteotomie?				
Erfreut	Zufrieden	Ausreichend zufrieden	Unzufrieden	schrecklich
4	3	2	1	0
Inwieweit wurden Ihre Erwartungen an die OP erfüllt?				
Erwartungen wurden übertroffen	Erwartungen wurden erfüllt	Erwartungen wurden teilweise erfüllt	Erwartungen wurden wenig erfüllt	In keiner Art und Weise
4	3	2	1	0
Würden Sie sich der OP, wenn nötig, noch einmal unterziehen?				
☐ Ja		☐ Nein		

EQ – 5D – 5L

Bitte Kreuzen Sie unter jeder Überschrift DAS Kästchen an, das Ihre Gesundheit HEUTE am besten beschrieb:

BEWEGLICHKEIT / MOBILITÄT

- Ich habe keine Probleme herumzugehen ☐
- Ich habe leichte Probleme herumzugehen ☐
- Ich habe mäßige Probleme herumzugehen ☐
- Ich habe große Probleme herumzugehen ☐
- Ich bin nicht in der Lage herumzugehen ☐

FÜR SICH SELBST SORGEN

- Ich habe keine Probleme, mich selbst zu waschen oder anzuziehen ☐
- Ich habe leichte Probleme, mich selbst zu waschen oder anzuziehen ☐
- Ich habe mäßige Probleme, mich selbst zu waschen oder anzuziehen ☐
- Ich habe große Probleme, mich selbst zu waschen oder anzuziehen ☐
- Ich bin nicht in der Lage, mich selbst zu waschen oder anzuziehen ☐

ALLTÄGLICHE TÄTIGKEITEN (z.B. Arbeit, Studium, Hausarbeit, Familien- oder Freizeitaktivitäten)

- Ich habe keine Probleme, meinen alltäglichen Tätigkeiten nachzugehen ☐
- Ich habe leichte Probleme, meinen alltäglichen Tätigkeiten nachzugehen ☐
- Ich habe mäßige Probleme, meinen alltäglichen Tätigkeiten nachzugehen ☐
- Ich habe große Probleme, meinen alltäglichen Tätigkeiten nachzugehen ☐
- Ich bin nicht in der Lage, meinen alltäglichen Tätigkeiten nachzugehen ☐

SCHMERZEN / KÖRPERLICHE BESCHWERDEN

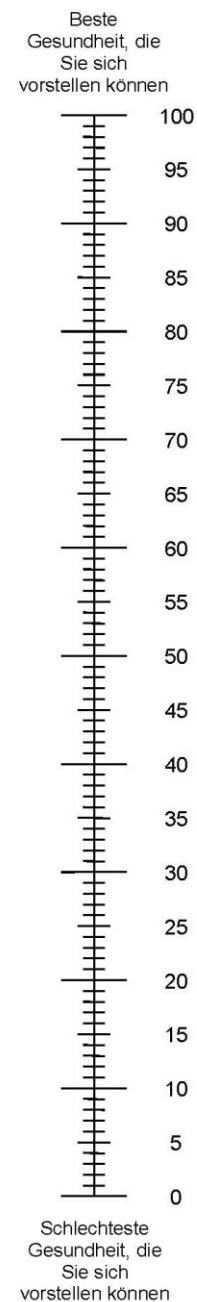
- Ich habe keine Schmerzen oder Beschwerden ☐
- Ich habe leichte Schmerzen oder Beschwerden ☐
- Ich habe mäßige Schmerzen oder Beschwerden ☐
- Ich habe starke Schmerzen oder Beschwerden ☐
- Ich habe extreme Schmerzen oder Beschwerden ☐

ANGST / NIEDERGESCHLAGENHEIT

- Ich bin nicht ängstlich oder deprimiert ☐
- Ich bin ein wenig ängstlich oder deprimiert ☐
- Ich bin mäßig ängstlich oder deprimiert ☐
- Ich bin sehr ängstlich oder deprimiert ☐
- Ich bin extrem ängstlich oder deprimiert ☐

- Wir wollen herausfinden, wie gut oder schlecht Ihre Gesundheit HEUTE ist.
- Diese Skala ist mit Zahlen von 0 bis 100 versehen.
- 100 ist die beste Gesundheit, die Sie sich vorstellen können.
0 (Null) ist die schlechteste Gesundheit, die Sie sich vorstellen können.
- Bitte kreuzen Sie den Punkt auf der Skala an, der Ihre Gesundheit HEUTE am besten beschreibt.
- Jetzt tragen Sie bitte die Zahl, die Sie auf der Skala angekreuzt haben, in das Kästchen unten ein.

IHRE GESUNDHEIT HEUTE =



Anhang 3: Fragebogen Interview

Korrekturgenauigkeit und klinische Langzeitergebnisse nach Doppelosteotomie am Beim - eine katamnestische Querschnittsstudie

Patienteninformation

1. Untersuchungsdatum (tt.mm.jjjj)

2. Operiertes Knie

- ☐ Rechts
- ☐ Links

3. Richtung der Osteotomie

- ☐ valgisierend
- ☐ varisierend

4. Komplikationen (1-11)

- a. Keine
- b. Infektion
- c. Thrombose
- d. Hämatom
- e. Arthrofibrose
- f. Verzögerte Wundheilung
- g. Gefäßverletzungen
- h. Keine volle Belastung des Knies in den ersten 3 Monaten
- i. Insuffizienz mit Giving-Way
- j. Andere

Spezifizieren Sie andere Komplikation: _____

5. Behandlung der Komplikationen (1-7)

- a. Keine
- b. Mobilisation
- c. Punktion
- d. Arthrolyse
- e. Antibiose
- f. Revisionsoperation
- g. Andere

Spezifizieren Sie andere Behandlung: _____

6. Sekundäre klinische degenerative Veränderungen

- a. keine
- b. Meniskusschaden medial
- c. Meniskusschaden lateral
- d. Knorpelschaden femoral medial
- e. Knorpelschaden femoral lateral
- f. Knorpelschaden tibial medial
- g. Knorpelschaden tibial lateral
- h. Knorpelschaden retropatellar
- i. Andere

Spezifizieren Sie andere sekundäre degenerative Veränderungen: _____

7. Behandlung der sekundären degenerativen Veränderungen

- a. keine
- b. Meniskusrefixation medial
- c. Meniskusrefixation lateral
- d. Meniskektomie medial
- e. Meniskektomie lateral
- f. Mikrofrakturierung
- g. Mosaikplastik
- h. Hohe Tibiaosteotomie
- i. Prothese unikondylär
- j. Prothese bikondylär
- k. Andere

Spezifizieren Sie andere Behandlung sekundäre degenerative Veränderungen:

8. Datum der Behandlung . . (tt.mm.jjjj)

9. MRT durchgeführt?

- a. ja
- b. nein

10. Weitere Operationen, die an der unteren Extremität nach initialer Doppelumstellungsosteotomie durchgeführt wurde (inkl. Metallentfernung):

Ipsilaterale Seite:

Kontralaterale Seite:

11. Muskelumfänge:

Umfangmaße in cm:

20 cm ob. inn. Knie-Gelenkspalt

10 cm ob. inn. Knie-Gelenkspalt

Kniescheibenmitte

15 cm unterh. inn. Gelenkspalt

Unterschenkel, kleinster Umfang

Knöchel

Rist über Kahnbein

Vorfußballen

Operierte Seite

Nicht-Operierte Seite

Tegner activity scale postoperativ

TAS – Tegner activity scale – Validierte deutsche Version (Wirth 2013)

Mit den nachfolgenden Fragen möchten wir untersuchen, wie gut Ihre Alltags- und sportartspezifische Funktion ist. Bitte lesen Sie die nachfolgende Aufstellung durch. Beurteilen Sie ihren Aktivitätsstatus und kreuzen Sie die betreffende Spalte an.

Aktivitätsgrad	Tätigkeit	Wertung
Wettkampfsport – auf nationalen und internationalem Niveau	Fußball, Ski alpin (auf nationalem oder internationalem Niveau)	10
Wettkampfsport	Eishockey, Ringen, Turnen, Fußball, Ski alpin (auf regionalem Niveau)	9
Wettkampfsport	Snowboard, Badminton, Squash, Leichtathletik (Sprungdisziplinen)	8
Wettkampfsport	Tennis, Leichtathletik, (Lauf- und Wurfdisciplinen), Geräteturnen, Handball, Basketball, Orientierungslauf, Crosslauf	7
Freizeitsport	Eishockey, Fußball, Ski alpin	
Freizeitsport	Badminton, Tennis, Squash, Basketball, Handball, Volleyball, Orientierungslauf, Crosslauf, Snowboard, Aerobic (high impact), Joggen (mindestens 5x die Woche)	6
Wettkampfsport Freizeitsport	- Radfahren, Skilanglauf, Eiskunstlauf - Turnen, Gymnastik, In-line-skating, Klettern, Bergsteigen, Skitouren, Schneeschuhlaufen, Joggen auf unebenem Boden (mindestens 2x die Woche)	5
Arbeit	Schwere körperliche Arbeit (Bauarbeit, Waldarbeit)	
Freizeitsport	Skilanglauf, Radfahren, Tanzen, Aerobic (low impact), , Bergwandern (abwärts), Joggen auf ebenem Boden (mind. 2x die Woche)	4
Arbeit	Mittelschwere körperliche Arbeit (schwere Hausarbeit)	
Wettkampf- und Freizeitsport	Schwimmen, Wandern, Walking, Kegeln, Bowling	3
Arbeit	Leichte körperliche Arbeit	
Gehen	Querfeldein ist möglich	
Arbeit	Vorwiegend sitzende Tätigkeit	2
Gehen	Auf unebenem Boden möglich	
Arbeit	Sitzende Tätigkeit	1
Gehen	Nur auf ebenem Boden möglich	
Arbeit	Arbeitsunfähig oder berentet aufgrund von Knieproblemen	0
Gehen	Nur eingeschränkt möglich	

Lysholm Score postoperativ

1. Hinken
 - ☐ Kein
 - ☐ Leicht oder gelegentlich
 - ☐ Stark und konstant
2. Hilfsmittel
 - ☐ Keine
 - ☐ Stock oder Unterarmgehstütze
 - ☐ Belastung nicht möglich
3. Treppensteigen
 - ☐ Keine Probleme
 - ☐ Leicht eingeschränkt
 - ☐ Stufe für Stufe
 - ☐ Unmöglich
4. Kniebeugen (in die Hocke gehen)
 - ☐ Keine Probleme
 - ☐ Leicht eingeschränkt
 - ☐ Nicht mehr als 90°
 - ☐ Unmöglich
5. Instabilität
 - ☐ Niemals „giving way“ (einknicken)
 - ☐ Selten während des Sports oder anderer starker Anstrengung
 - ☐ Regelmäßig während des Sports oder anderer starker Anstrengung (oder Teilnahme unmöglich)
 - ☐ Gelegentlich bei Alltagsaktivitäten
 - ☐ Oft bei Alltagsaktivitäten
 - ☐ Bei jedem Schritt
6. Blockieren
 - ☐ Kein Blockieren und kein Gefühl des Einklemmens
 - ☐ Gefühl des Einklemmens aber kein Blockieren
 - ☐ Gelegentliches Blockieren
 - ☐ Regelmäßiges Blockieren
 - ☐ Blockiertes Gelenk bei der Untersuchung
7. Schmerzen
 - ☐ Keine
 - ☐ Nicht immer und leicht während starker Anstrengung
 - ☐ Deutlich während starker Anstrengung
 - ☐ Deutlich während oder nach mehr als 2 km Gehen
 - ☐ Deutlich während oder nach weniger als 2 km Gehen
 - ☐ Konstant
8. Schwellung
 - ☐ Keine
 - ☐ Bei starker Anstrengung
 - ☐ Bei gewöhnlicher Anstrengung
 - ☐ Konstant

IKDC –Objektiver Knieevaluationsscore

Allgemeine Laxität:	☐ verminderte Laxität	☐ normal	☐ erhöhte Laxität		
Beinachse	☐ eindeutig Varus	☐ normal	☐ eindeutig Valgus		
Patellastellung	☐ baja	☐ normal	☐ alta		
Subluxation / Dislokation der Patella:	☐ zentriert	☐ subluxierbar	☐ subluxiert ☐ disloziert		
Bewegungsausmaß (Streckung/Beugung)	Betroffene Seite: Passiv / / / Aktiv / / / Gegenseite: Passiv / / / Aktiv / / / Extension (-60 - 30), Neutral (-20 - 20), Flexion (-30 - 150); Passiv: mit Hilfe des Untersuchers				
Unterschied des betroffenen Knies im Vergleich zum Normalzustand oder dem, was als Normalzustand angenommen wird. Gruppengrad: Der Gruppengrad richtet sich nach dem niedrigsten Grad innerhalb einer Gruppe.					
Sieben Gruppen	Vier Grade				Gruppengrad
	normal	fast normal	abnormal	deutlich abnormal	A B C D
Erguss (Gruppe 1)	kein	leicht	mäßig	deutlich	☐ ☐ ☐ ☐
Passives Bewegungsdefizit (Gruppe 2)					☐ ☐ ☐ ☐
Δ Streckdefizit	☐ < 3°	☐ 3-5°	☐ 6-10°	☐ >10°	
Δ Beugedefizit	☐ 0-5°	☐ 6-15°	☐ 16-25°	☐ > 25°	
Ligamentuntersuchung (manuell, instrumentell; Gruppe 3)					
Δ Lachmann Test (25° Beugung, 134N)	☐ (-1) -2 mm	☐ 3-5 mm (1+) ☐ < (-1) - (-3)	☐ 6-10 mm (2+) ☐ < (-3) steif	☐ > 10 mm	☐ ☐ ☐ ☐
Δ Lachmann Test (25° Beugung, max.)	☐ (-1) - 2mm	☐ 3-5 mm	☐ 6-10 mm	☐ > 10 mm	
Vorderer Endpunkt	☐ fest		☐ unsicher		
Δ Gesamt AP-Translation (25°)	☐ 0-2mm	☐ 3-5 mm	☐ 6-10 mm	☐ > 10 mm	
Δ Gesamt AP-Translation (70°)	☐ 0-2mm	☐ 3-5 mm	☐ 6-10 mm	☐ > 10 mm	
Δ Hintere Schublade	☐ 0-2mm	☐ 3-5 mm	☐ 6-10 mm	☐ > 10 mm	
Δ Valgusstress	☐ 0-2mm	☐ 3-5 mm	☐ 6-10 mm	☐ > 10 mm	
Δ Varusstress	☐ 0-2mm	☐ 3-5 mm	☐ 6-10 mm	☐ > 10 mm	
Δ Außenrotationstest (30°)	☐ < 5°	☐ 6-10°	☐ 11-19°	☐ > 20°	
Δ Außenrotationstest (90°)	☐ < 5°	☐ 6-10°	☐ 11-19°	☐ > 20°	
Δ Pivot shift	☐ gleich	☐ + (Gleiten)	☐ ++ (dumpf)	☐ +++ (laut)	
Δ Reverse pivot shift	☐ gleich	☐ Gleiten	☐ stark	☐ ausgeprägt	
Kompartimentbefunde (Gruppe 4)	Krepitation		Krepitation mit		☐ ☐ ☐ ☐
Δ Krepitation anterior (PF)	☐ keine	☐ mäßig	☐ leichtem Schmerz	☐ >leichtem Schmerz	

Δ Krepitation mediales Kompartiment	☐ Keine	☐ mäßig	☐ leichtem Schmerz	☐ >leichtem Schmerz	
Δ Krepitation laterales Kompartiment	☐ Keine	☐ mäßig	☐ leichtem Schmerz	☐ >leichtem Schmerz	
Röntgenbefunde (Gruppe 6)					☐ ☐ ☐ ☐
Medialer Gelenkspalt	☐ keine	☐ geringe	☐ mäßig	☐ deutliche	
Lateral Gelenkspalt	☐ keine	☐ geringe	☐ mäßig	☐ deutliche	
Femoropatellar-Gelenk	☐ keine	☐ geringe	☐ mäßig	☐ deutliche	
Vorderer Gelenkspalt (sagittal)	☐ keine	☐ geringe	☐ mäßig	☐ deutliche	
Hinterer Gelenkspalt (sagittal)	☐ keine	☐ geringe	☐ mäßig	☐ deutliche	
Funktionstest (Gruppe 7)					☐ ☐ ☐ ☐
Hüpfen auf einem Bein (in % der gegenüberliegenden Seite)	≥ 90%	89-76%	75-50%	< 50%	

Arbeitsfähigkeit

Anzahl Tage von Operation bis 100% Arbeitsfähigkeit: Tage

Bemerkungen (optional): _____

„KOOS“ KNIEFRAGEBOGEN

Datum: ____/____/____ Geburtsdatum: ____/____/____

Patienten Nr. _____

ANLEITUNG: Dieser Ankreuzbogen befragt Sie, welchen Eindruck Sie von Ihrem Knie haben. Die dadurch gewonnene Information wird uns helfen zu überwachen, wie es Ihnen mit Ihrem Knie geht und wie gut Sie in der Lage sind, Ihre üblichen Aktivitäten zu verrichten. Beantworten Sie bitte jede Frage durch ankreuzen des zugehörigen Kästchens. Bitte nur ein Kästchen pro Frage ankreuzen. Wenn Sie sich unsicher sind, wie Sie die Frage beantworten sollen, wählen Sie die Antwort aus, die Ihnen am zutreffendsten erscheint.

Symptome

Diese Fragen beziehen sich auf Beschwerden von Seiten Ihres Kniegelenkes in der **vergangenen Woche**.

S1. Haben Sie Schwellungen an Ihrem Knie?

niemals ☐ selten ☐ manchmal ☐ oft ☐ immer ☐

S2. Fühlen Sie manchmal ein Mahlen, hören Sie manchmal ein Klicken oder irgendein Geräusch, wenn Sie Ihr Knie bewegen?

niemals ☐ selten ☐ manchmal ☐ oft ☐ immer ☐

S3. Bleibt Ihr Knie manchmal hängen, oder blockiert es, wenn Sie es bewegen?

niemals ☐ selten ☐ manchmal ☐ oft ☐ immer ☐

S4. Können Sie Ihr Knie ganz ausstrecken?

immer ☐ oft ☐ manchmal ☐ selten ☐ nie ☐

S5. Können Sie Ihr Knie ganz beugen?

immer ☐ oft ☐ manchmal ☐ selten ☐ nie ☐

Steifigkeit

Die nachfolgenden Fragen betreffen die Steifigkeit Ihres Kniegelenkes während der **letzten Woche**. Unter Steifigkeit versteht man ein Gefühl der Einschränkung oder Verlangsamung der Fähigkeit Ihr Kniegelenk zu bewegen.

Für jede der nachfolgenden Aktivitäten sollen Sie das Ausmaß der Schwierigkeiten angeben, welche Sie durch Ihr Kniegelenk innerhalb der letzten Woche erfahren haben.

S6. Wie stark ist Ihre KniestEIFigkeit morgens direkt nach dem Aufstehen?

keine ☐ schwach ☐ mäßig ☐ stark ☐ sehr stark ☐

S7. Wie stark ist Ihre KniestEIFigkeit nach dem Sie saßen, lagen, oder sich ausruhten im **Verlauf des Tages**?

keine ☐ schwach ☐ mäßig ☐ stark ☐ sehr stark ☐

Schmerzen

P1. Wie oft tut Ihnen Ihr Knie weh?

niemals
☐monatlich
☐wöchentlich
☐täglich
☐immer
☐Wie ausgeprägt waren Ihre Schmerzen in der **vergangenen Woche** als Sie z.B.:

P2. sich im Knie drehen?

keine
☐schwach
☐mäßig
☐stark
☐sehr stark
☐

P3. Ihr Knie ganz ausstrecken?

keine
☐schwach
☐mäßig
☐stark
☐sehr stark
☐

P4. Ihr Knie ganz beugen?

keine
☐schwach
☐mäßig
☐stark
☐sehr stark
☐

P5. auf ebenem Boden gehen?

keine
☐schwach
☐mäßig
☐stark
☐sehr stark
☐

P6. Treppen herauf oder heruntergehen?

keine
☐schwach
☐mäßig
☐stark
☐sehr stark
☐

P7. nachts im Bett liegen?

keine
☐schwach
☐mäßig
☐stark
☐sehr stark
☐

P8. saßen oder lagen, z.B. auf der Couch?

keine
☐schwach
☐mäßig
☐stark
☐sehr stark
☐

P9. aufrecht stehen?

keine
☐schwach
☐mäßig
☐stark
☐sehr stark
☐**Aktivitäten des täglichen Lebens**

Die nachfolgenden Fragen beziehen sich auf Ihre körperliche Leistungsfähigkeit. Hierunter verstehen wir Ihre Fähigkeit sich selbständig zu bewegen bzw. sich selbst zu versorgen.

Für jede der nachfolgenden Aktivitäten sollen Sie das Ausmaß der Schwierigkeiten angeben, welche Sie durch Ihr Kniegelenk innerhalb der **letzten Woche** erfahren haben.Welche Schwierigkeiten hatten Sie **letzte Woche** als Sie z.B.:

A1. Treppen herunterstiegen?

keine
☐wenig
☐einige
☐große
☐sehr große
☐

A2. Treppen hinaufstiegen?

keine
☐wenig
☐einige
☐große
☐sehr große
☐

A3. vom Sitzen aufstehen?

keine
☐wenig
☐einige
☐große
☐sehr große
☐

Welche Schwierigkeiten hatten Sie **letzte Woche** als Sie z.B.:

A4. standen?

keine ☐ wenig ☐ einige ☐ große ☐ sehr große ☐

A5. sich bückten um z.B. etwas vom Boden aufzuheben?

keine ☐ wenig ☐ einige ☐ große ☐ sehr große ☐

A6. auf ebenen Boden gingen?

keine ☐ wenig ☐ einige ☐ große ☐ sehr große ☐

A7. ins Auto ein- oder ausstiegen?

keine ☐ wenig ☐ einige ☐ große ☐ sehr große ☐

A8. einkaufen gingen?

keine ☐ wenig ☐ einige ☐ große ☐ sehr große ☐

A9. Strümpfe/Socken anzogen?

keine ☐ wenig ☐ einige ☐ große ☐ sehr große ☐

A10. vom Bett aufstanden?

keine ☐ wenig ☐ einige ☐ große ☐ sehr große ☐

A11. Strümpfe/Socken auszogen?

keine ☐ wenig ☐ einige ☐ große ☐ sehr große ☐

A12. im Bett lagen und sich drehten, ohne das Knie dabei zu beugen?

keine ☐ wenig ☐ einige ☐ große ☐ sehr große ☐

A13. in oder aus der Badewanne kamen?

keine ☐ wenig ☐ einige ☐ große ☐ sehr große ☐

A14. saßen?

keine ☐ wenig ☐ einige ☐ große ☐ sehr große ☐

A15. sich auf die Toilette setzten oder aufstanden?

keine ☐ wenig ☐ einige ☐ große ☐ sehr große ☐

A16. schwere Hausarbeit verrichteten (schrubben, Garten umgraben, ...)?

keine ☐ wenig ☐ einige ☐ große ☐ sehr große ☐

A17. leichte Hausarbeit verrichteten (Staub wischen, kochen, ...)?

keine ☐ wenig ☐ einige ☐ große ☐ sehr große ☐

Sport und Freizeit

Die nachfolgenden Fragen beziehen sich auf Ihre körperliche Belastbarkeit im Rahmen eher sportlicher Aktivitäten. Für jede der nachfolgenden Aktivitäten sollen Sie das Ausmaß der Schwierigkeiten angeben, welche Sie durch Ihr Kniegelenk innerhalb der **letzten Woche** erfahren haben.

Hatten Sie Schwierigkeiten **letzte Woche** als Sie z.B.:

SP1. in die Hocke gingen?

keine ☐ wenig ☐ einige ☐ große ☐ sehr große ☐

SP2. rannten?

keine ☐ wenig ☐ einige ☐ große ☐ sehr große ☐

SP3. hüpfen?

keine ☐ wenig ☐ einige ☐ große ☐ sehr große ☐

SP4. sich auf Ihrem kranken Knie umdrehen?

keine ☐ wenig ☐ einige ☐ große ☐ sehr große ☐

SP5. sich hinknieten?

keine ☐ wenig ☐ einige ☐ große ☐ sehr große ☐

Beeinflussung der Lebensqualität durch das betroffene Knie

Q1. Wie oft spüren Sie Ihr erkranktes Knie?

nie ☐ monatlich ☐ wöchentlich ☐ täglich ☐ immer ☐

Q2. Haben Sie Ihre Lebensweise verändert um eventuell Ihrem Knie schadende Tätigkeiten zu vermeiden?

nicht ☐ wenig ☐ etwas ☐ stark ☐ vollständig ☐

Q3. Wie sehr macht es Ihnen zu schaffen, daß Ihr Knie nicht stabil ist?

gar nicht ☐ wenig ☐ einiges ☐ schlimm ☐ sehr schlimm ☐

Q4. Wie würden Sie insgesamt die Schwierigkeiten bewerten die Sie durch das Knie haben?

keine ☐ wenig ☐ etwas ☐ große ☐ sehr große ☐

Vielen Dank für die Beantwortung aller Fragen dieses Fragebogens

Oxford Knee Score

Bitte beantworten Sie die folgenden 12 Fragen, indem Sie für jede Antwort den zutreffen- den Zahlenwert ankreuzen. Wählen Sie nur eine Antwort pro Frage.

ALLE FRAGEN BEZIEHEN SICH AUF DEN ZEITRAUM DER LETZTEN 4 WOCHEN!

1. Wie würden Sie die Schmerzen beschreiben, die Sie üblicherweise in Ihrem Knie hatten?				
Keine Schmerzen	Sehr geringe Schmerzen	Geringe Schmerzen	Mäßige Schmerzen	Starke Schmerzen
4	3	2	1	0
2. Hatten Sie wegen Ihrem Knie Schwierigkeiten sich selbst zu waschen bzw. sich abzutrocknen?				
Keine Schwierigkeiten	Sehr geringen Schwierigkeiten	Mäßigen Schwierigkeiten	Extremen Schwierigkeiten	Unmöglich zu tun
4	3	2	1	0
3. Hatten Sie wegen Ihrem Knie Schwierigkeiten beim Ein- bzw. Aussteigen aus einem Auto oder bei der Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel?				
Keine Schwierigkeiten	Sehr geringen Schwierigkeiten	Mäßigen Schwierigkeiten	Extremen Schwierigkeiten	Unmöglich zu tun
4	3	2	1	0
4. Wie lange konnten Sie (mit oder ohne Stock) gehen, bevor Sie starke Schmerzen in Ihrem Knie bekamen?				
Über 30 Minuten	16 bis 30 Minuten	5 bis 15 Minuten	Nur zu Hause	Gar nicht
4	3	2	1	0
5. Wie schmerzhaft war es für Sie nach einer Mahlzeit wieder vom Tisch aufzustehen?				
Gar nicht schmerzhaft	Ein wenig schmerzhaft	Mäßig schmerzhaft	Sehr schmerzhaft	Unerträglich
4	3	2	1	0
6. Mussten Sie wegen der Kniebeschwerden hinken?				
Nie / selten	Manchmal / nur die ersten Meter	Oft / nicht nur die ersten Meter	Die meiste Zeit	Immer
4	3	2	1	0
7. Konnten Sie sich hinknien und danach wieder aufstehen?				
Ja, Ohne Probleme	Mit geringen Schwierigkeiten	Mit mäßigen Schwierigkeiten	Mit extremen Schwierigkeiten	Nein, unmöglich
4	3	2	1	0
8. Wurden Sie durch die Schmerzen im Knie in Ihrer Nachtruhe gestört?				
Nein, nie	In eine oder zwei Nächten	Einige Male	In den meisten Nächten	Jede Nacht
4	3	2	1	0
9. Wie sehr haben Sie die Schmerzen im Knie bei Ihrer alltäglichen Arbeit beeinträchtigt?				
Gar nicht	Ein wenig	Mäßig	Erheblich	Vollständig
4	3	2	1	0

10. Hatten Sie das Gefühl, dass Ihr Knie plötzlich „nachgeben“ oder Sie nicht mehr tragen kann?				
Selten / Nie	Manchmal / nur in den ersten Metern	Oft / nicht nur in den ersten Metern	Die meiste Zeit	Immer
4	3	2	1	0
11. Konnten Sie die Haushaltseinkäufe selbst erledigen?				
Ja, Ohne Probleme	Mit geringen Schwierigkeiten	Mit mäßigen Schwierigkeiten	Mit extremen Schwierigkeiten	Nein, unmöglich
4	3	2	1	0
12. Konnten Sie einen Treppenabsatz hinunter gehen?				
Ja, Ohne Probleme	Mit geringen Schwierigkeiten	Mit mäßigen Schwierigkeiten	Mit extremen Schwierigkeiten	Nein, unmöglich
4	3	2	1	0

Antwortpunkte 0 bis 4

0 = höchster Schweregrad der Einschränkung

4 = keine bzw. geringgradigste Einschränkung

Gesamtpunktzahl 0 bis 48

0 = höchster Schweregrad der Einschränkung

48 = keine bzw. geringgradigste Einschränkung

Fragebogen zur Erhebung der sportlichen Aktivität

1) Aktivitätsniveau

a) Auf welchem Aktivitätsniveau haben Sie vor dem Unfall Sport gemacht?

Profi-Sport Vereinssport Gelegenheitssport kein Sport

b) Auf welchem Aktivitätsniveau treiben Sie heute Sport?

Profi-Sport Vereinssport Gelegenheitssport kein Sport

2) Sportliche Aktivität

a) Vor Unfall

b) Heute/Nachuntersuchung

Hauptsportart: _____

Hauptsportart: _____

weitere Sportarten: _____

weitere Sportarten: _____

Anzahl d. Sportarten: _____

Anzahl d. Sportarten: _____

Trainingsfrequenz: _____ (Einheiten/Woche)

Trainingsfrequenz: _____ (Einheiten/Woche)

Trainingsdauer: _____ (Minuten/Einheit)

Trainingsdauer: _____ (Minuten/Einheit)

3a) Kreuzen Sie die nachfolgenden **Sportarten** an, wenn Sie diese vor dem Unfall regelmäßig (mind. 1x im Monat) ausgeübt haben?

Radfahren Wandern Joggen Nordic-Walking Inline-Skaten Aerobic Gymnastik
Fitness-/Gewicht-Training Tanzen Schwimmen Golfen Tennis Ski-Fahren
Reiten Handball Basketball Volleyball Fußball Badminton Squash

3b) Kreuzen Sie die nachfolgenden **Sportarten** an, wenn Sie diese heute regelmäßig (mind. 1x im Monat) ausüben?

Radfahren Wandern Joggen Nordic-Walking Inline-Skaten Aerobic Gymnastik
Fitness-/Gewicht-Training Tanzen Schwimmen Golfen Tennis Ski-Fahren
Reiten Handball Basketball Volleyball Fußball Badminton Squash

4) Wie lange betrug Ihre **Sportpause** nach der Operation? _____

5) Mussten Sie auf Grund des Unfalls Ihre **Hauptsportart** wechseln? Ja Nein

6) Schmerzmittelgebrauch

a) Haben Sie vor dem Unfall zum Sporttreiben Schmerzmittel benötigt?

nein gelegentlich regelmäßig

b) Benötigen Sie heute zum Sporttreiben Schmerzmittel?

nein gelegentlich regelmäßig

REFA präoperativ

Klassifizierung der körperlichen Beanspruchung an Arbeitsplätzen nach REFA

Leicht	Grad 1	☐
Leichte Arbeiten wie Handhaben leichter Werkstücke und Handwerkzeuge, Bedienen leichtgehender Steuerhebel und Kontrollen oder ähnlicher mechanisch wirkender Einrichtungen, auch langdauerndes Stehen oder ständiges Umhergehen.		
Mittelschwer	Grad 2	☐
Mittelschwere Arbeiten wie Handhaben 1-3Kg schwerkender Steuereinrichtungen, unbelastetes Begehen von Treppen und Leitern, Heben und Tragen von mittelschweren Lasten in der Ebene (von etwas 10-15 Kg) oder Hantierungen, die den gleichen Kraftaufwand erfordern. Ferner: leichte Arbeiten entsprechend Grad 1 mit zusätzlicher Ermüdung durch Haltearbeit mäßigen Grades wie Arbeiten am Schleifstein, mit Bohrwinden und Handbohrmaschinen.		
Schwer	Grad 3	☐
Schwere Arbeiten wie Tragen von etwa 20 bis 30 Kg schweren Lasten in der Ebene oder Steigen unter mittleren Lasten und Handhaben von Werkzeugen (über 3 Kg Gewicht), auch von Kraftwerkzeugen mit starker Rückstoßwirkung, Schaufeln, Graben, Hacken. Ferner: Mittelschwere Arbeiten entsprechend Grad 3 in angespannter Körperhaltung. Z.B. in gebückter, knieender oder liegender Stellung. Höchst mögliche Dauer der Körperbeanspruchung in diesem Schweregrad bei sonst günstigen Arbeitsbedingungen (Umwelteinflüsse)=7 Stunden.		
Schwerst	Grad 4	☐
Schwerste Arbeiten wie Heben und Tragen von Lasten über 50 Kg oder Steigen unter schwerer Last, vorwiegender Gebrauch schwerster Hämmer, schwerstes Ziehen und Schieben. Ferner: schwere Arbeiten entsprechend Grad 3 in angespannter Körperhaltung, z.B. in gebückter, knieender oder liegender Stellung. Höchst mögliche Beanspruchung in diesem Schweregrad bei sonst günstigen Arbeitsbedingungen (Umwelteinflüsse)=6 Stunden.		
Ergänzender Hinweis	+ 1 Grad	☐
Belastende Körperhaltungen (Haltearbeit, Zwangshaltungen) erschweren die Arbeit um eine Stufe. Belastende Umgebungseinflüsse müssen ebenfalls berücksichtigt werden		

Beispielberufe:

Arbeit mit leichter Belastung

- Botengänger, Büroberufe, Garderobenfrau, Kontrolleur, Lagerverwalter, Pförtner, Platzanweiser, Telefonist

Klassische Sitzberufe:

- Angestellte, Goldschmied, Graveur, Kontrolleur (EDV), Uhrmacher

Arbeit mit schwerer Belastung

- Bergbauer, Betonbauer, Eisenbieger, Gerüstbauer, Hafenarbeiter, Holzfäller, Möbelpacker, Pressluftarbeiter, Steinbrucharbeiter, Transportarbeiter

Klassische Stehberufe

- Chirurg, Friseur, Gipser, Kellner, KFZ-Mechaniker, Maurer, Schlosser, Verkäufer, Zahnarzt

REFA zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung

Klassifizierung der körperlichen Beanspruchung an Arbeitsplätzen nach REFA

Leicht	Grad 1	☐
Leichte Arbeiten wie Handhaben leichter Werkstücke und Handwerkzeuge, Bedienen leichtgehender Steuerhebel und Kontrollen oder ähnlicher mechanisch wirkender Einrichtungen, auch langdauerndes Stehen oder ständiges Umhergehen.		
Mittelschwer	Grad 2	☐
Mittelschwere Arbeiten wie Handhaben 1-3Kg schwerkender Steuereinrichtungen, unbelastetes Begehen von Treppen und Leitern, Heben und Tragen von mittelschweren Lasten in der Ebene (von etwas 10-15 Kg) oder Handierungen, die den gleichen Kraftaufwand erfordern. Ferner: leichte Arbeiten entsprechend Grad 1 mit zusätzlicher Ermüdung durch Haltearbeit mäßigen Grades wie Arbeiten am Schleifstein, mit Bohrwinden und Handbohrmaschinen.		
Schwer	Grad 3	☐
Schwere Arbeiten wie Tragen von etwa 20 bis 30 Kg schweren Lasten in der Ebene oder Steigen unter mittleren Lasten und Handhaben von Werkzeugen (über 3 Kg Gewicht), auch von Kraftwerkzeugen mit starker Rückstoßwirkung, Schaufeln, Graben, Hacken. Ferner: Mittelschwere Arbeiten entsprechend Grad 3 in angespannter Körperhaltung. Z.B. in gebückter, knieender oder liegender Stellung. Höchst mögliche Dauer der Körperbeanspruchung in diesem Schweregrad bei sonst günstigen Arbeitsbedingungen (Umwelteinflüsse)=7 Stunden.		
Schwerst	Grad 4	☐
Schwerste Arbeiten wie Heben und Tragen von Lasten über 50 Kg oder Steigen unter schwerer Last, vorwiegender Gebrauch schwerster Hämmer, schwerstes Ziehen und Schieben. Ferner: schwere Arbeiten entsprechend Grad 3 in angespannter Körperhaltung, z.B. in gebückter, knieender oder liegender Stellung. Höchst mögliche Beanspruchung in diesem Schweregrad bei sonst günstigen Arbeitsbedingungen (Umwelteinflüsse)=6 Stunden.		
Ergänzender Hinweis	+ 1 Grad	☐
Belastende Körperhaltungen (Haltearbeit, Zwangshaltungen) erschweren die Arbeit um eine Stufe. Belastende Umgebungseinflüsse müssen ebenfalls berücksichtigt werden		

Beispielberufe:

Arbeit mit leichter Belastung

- Botengänger, Büroberufe, Garderobenfrau, Kontrolleur, Lagerverwalter, Pförtner, Platzanweiser, Telefonist

Klassische Sitzberufe:

- Angestellte, Goldschmied, Graveur, Kontrolleur (EDV), Uhrmacher

Arbeit mit schwerer Belastung

- Bergbauer, Betonbauer, Eisenbieger, Gerüstbauer, Hafenarbeiter, Holzfäller, Möbelpacker, Pressluftarbeiter, Steinbrucharbeiter, Transportarbeiter

Klassische Stehberufe

- Chirurg, Friseur, Gipsler, Kellner, KFZ-Mechaniker, Maurer, Schlosser, Verkäufer, Zahnarzt

Beschreibung der beruflichen Veränderung durch OP:
