

Aus dem Orthopädisch-Unfallchirurgischen Zentrum (OUZ)
der Medizinischen Fakultät Mannheim
(Direktor Univ.-Prof. Dr. med. Sascha Gravius, MHBA)

Klinischer und radiologischer Einfluss einer konventionellen
Kniegelenksendoprothese mit 6° femoralem Valgus auf die frontale
mechanische Beinachse und die angrenzenden Gelenke im kurz- und
mittelfristigen Verlauf – Vergleich der Outcomes von drei präoperativ
unterschiedlichen Beinachsen: Valgus, Varus, Neutral

Inauguraldissertation
zur Erlangung des medizinischen Doktorgrades
der
Medizinischen Fakultät Mannheim
der Ruprecht-Karls-Universität
zu
Heidelberg

vorgelegt von
Elio Assaf

aus
Yahchouch
2023

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Sergij Goerd

Referent: Univ.-Prof. Dr. med. Sascha Gravius, MHBA

Gewidmet meiner libanesischen Familie ...

Und meiner deutschen Familie ...

Dir, Katharina ...

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	7
1 EINLEITUNG.....	9
1.1 Allgemeines.....	9
1.2 Anatomische Grundlagen.....	10
1.3 Biomechanik des Kniegelenkes.....	14
1.4 Achsen- und Winkelverhältnisse der unteren Extremität.....	19
1.4.1 Diagnostik.....	21
1.4.2 Variationen der Beinachse.....	23
1.4.3 Gelenkwinkel.....	25
1.5 Gonarthrose.....	26
1.5.1 Definition, Epidemiologie, Pathogenese und Ätiologie.....	26
1.5.2 Klinik, Diagnostik, Klassifikation und Therapie.....	28
1.6 Kniegelenksendoprothese.....	32
1.6.1 Operationstechnik.....	33
1.6.2 Nachbehandlung, Zufriedenheit und Komplikationen.....	37
1.7 Fragestellung und Zielsetzung.....	39
2 MATERIAL UND METHODEN.....	41
2.1 Studiengenehmigung.....	41
2.2 Datenerfassung (Material).....	41
2.2.1 Patientenkollektiv.....	41

2.2.2	Erfasste patientenbezogene Parameter	43
2.3	Datenauswertung (Methoden)	44
2.3.1	Deskriptive Analyse	46
2.3.2	Prä- vs. Post-OP Analyse	46
2.3.3	Korrelationsanalyse	47
2.3.4	Regressionsanalyse	47
3	ERGEBNISSE	49
3.1	Deskriptive Analyse der patientenbezogenen Parameter	49
3.1.1	Alter	49
3.1.2	Geschlecht	49
3.1.3	BMI	50
3.2	Radiologische Parameter - Gelenkwinkel (mLPFA, mL DFA, mMP TA, mLDTA)	51
3.2.1	Deskriptive Analyse	51
3.2.2	Vergleichsanalyse	52
3.3	Klinische Parameter	54
3.3.1	KSS (Knee Society Score)	54
3.3.2	EFAS-Score	59
3.3.3	Korrelationsanalyse zwischen den klinischen Scores und den Gelenkwinkeln in allen drei Untergruppen.	61
3.3.4	Korrelationsanalysen der PROMs und der objektiven KSS-Parameter	64
3.3.5	Korrelationsanalysen zwischen KSS und EFASS	67
3.4	Regressionsanalyse der klinischen Scores	68
4	DISKUSSION	70

4.1	Patientenbezogene Parameter.....	70
4.2	Radiologische Parameter.....	71
4.3	Klinische Parameter.....	75
4.4	Zusammenhangsanalysen.....	77
4.5	Regressionsanalyse.....	79
4.6	Limitationen.....	80
5	ZUSAMMENFASSUNG.....	82
6	LITERATURVERZEICHNIS.....	84
7	TABELLARISCHER ANHANG.....	91
8	LEBENS LAUF.....	95
9	DANKSAGUNG.....	96
10	EIDESSTÄTTLICHE VERSICHERUNG.....	97

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

3-J-post	3-Jahres-postoperativ
a.-p.	Anteroposterior
AJRR	American joint replacement registry
AK	Aktivität
AP	Anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung
BA	Beinachse
BMI	Body Mass Index
BS	Bewegungsausmaß
EFAS	European Foot and Ankle Society
EFASS	European Foot and Ankle Society – Score
EHIS	European Health Interview Survey
EPRD	Endoprothesenregister Deutschland
ER	Erwartungen
GBA	Ganzbeinstandaufnahme
GEDA	Gesundheit in Deutschland aktuell
GT	Gesamt
HKA	Hip-knee-ankle
HKB	Hinteres Kreuzband
H-TEP	Hüftgelenktotalendoprothese
KA	Kinematisches Alignment
KG	Krankengymnastik
KSS	Knee Society Score
K-TEP	Kniegelenktotalendoprothese
MAD	Main Axis Deviation
ML	Mediolaterale Instabilität in Streckung
mLDFA	Mechanical lateral distal femoral angle
mLDTA	Mechanical lateral distal tibial angle
mLPFA	Mechanical lateral proximal femoral angle
mMPTA	Mechanical medial proximal tibial angle
NJR	National joint registry
NL	Normale Beinachse
o.n.A.	Ohne nähere Angaben
p.-a.	Posteroanterior
PJI	Periprosthetic joint infection
PMMA	Polymethylmethacrylat
PROMs	Patient-reported outcome measures
PZ	Patientenzufriedenheit
ROM	Range of motion

SKAR	Swedish knee arthroplasty register
SP	Symptome
SSSI	Superficial surgical site infection
VKB	Vorderes Kreuzband
VL	Valgische Beinachse
VR	Varische Beinachse

1 EINLEITUNG

1.1 Allgemeines

Die Arthrose oder der Gelenkverschleiß ist weltweit die häufigste Gelenkerkrankung im Erwachsenenalter. In Deutschland steht die Kniegelenksarthrose an Nummer eins, gefolgt von der Hüftgelenksarthrose [1-3]. Das Alter ist ein starker Risikofaktor für die Entwicklung einer Arthrose. Ab dem 60. Lebensjahr sind gut die Hälfte der Frauen und ein Drittel der Männer betroffen – Tendenz steigend. Dennoch sind die Patienten mit einer Knieprothese durchschnittlich jünger als die Patienten, denen ein künstliches Hüftgelenk implantiert wird. Auffallend ist bei diesen Patienten ein höherer Body Mass Index (BMI), mit einem Median von über 30 kg / m², was nach der WHO-Definition einer Adipositas entspricht. Im Jahr 2020 wurden 60,9 % der Patienten mit einem Alter von bis zu 64 Jahren zum Zeitpunkt der Erstimplantation einer Knieprothese als krankhaft übergewichtig eingestuft (BMI > 30 kg / m²), 32,2 % der Patienten waren älter als 75 Jahre [1, 4, 2, 5, 6].

Im Jahr 2015 zählte das statistische Bundesamt 435.874 vollstationäre Patienten und Patientinnen in Krankenhäusern mit Arthrose [7]. Von den Arthrose-bedingten Krankenhausfällen entfielen im Jahr 2018 133.283 auf die Kniegelenksarthrose, entsprechend einem Erlösvolumen von 1.029.022.000 €. Damit machten die primären Endoprotheseneingriffe am Kniegelenk mit 1,4 % der gesamten Behandlungserlöse neben den Hüftgelenkseingriffen (1,5 %) sowie der Diagnose Herzinsuffizienz und Schock (1,4 %) den größten Anteil des Erlösvolumens der Krankenhäuser aus [7, 5].

Die Knie totalendoprothese (K-TEP) ist eine fest im Knochen verankerte Prothese aus Metall (femorale und tibiale Komponente) und einer dazwischen befindlichen Kunststoffkomponente (Polyethylen-Inlay) [8]. Knieprothesen gibt es – je nach Lokalisation der Kniearthrose (mediales, laterales, patellofemorales Kompartiment) – in unterschiedlichen Modellen: Knie totalendoprothese oder K-TEP (das gesamte Kniegelenk wird ersetzt), patellofemorale Teilprothese (das patellofemorale Gleitlager wird ersetzt), unikondyläre Teilprothese bzw. Schlittenprothese oder Hemiprothese (das mediale oder laterale Kompartiment wird ersetzt) und die bikompartimentelle Knieprothese (die Kombination von patellofemoraler Teilprothese und medialer Hemiprothese). Eine Knieprothese muss ähnlich komplex aufgebaut sein, wie das

natürliche Kniegelenk, um die Aufgaben des Kniegelenks übernehmen zu können [9, 4, 10].

Wie bei jedem anderen operativen Eingriff bestehen auch bei der Implantation einer Knieendoprothese gewisse Risiken: Zu den Häufigsten zählen Infektionen der Wunde, Thrombosen, Nachblutungen sowie Vernarbungen (Arthrofibrose), welche zu Bewegungseinschränkungen führen können [8, 1, 11, 7].

Die operative Methode zum Einsatz einer Knieendoprothese ist hoch standardisiert und über Jahre / Jahrzehnte etabliert. Dabei erfolgt die Ausrichtung der Gelenkkomponenten nach bestimmten anatomischen und mechanischen Grundlagen: die femorale Komponente wird in 5-7° Valgus bezogen auf die anatomische Femurachse eingebracht. Die tibiale Komponente wird parallel zur anatomischen Tibiaachse implantiert mit einer Inklination der Gelenkfläche in der Sagittalebene von 0-10° nach dorsokaudal, der sogenannte Slope. Die Zusammenführung beider Komponenten erfolgt in einer neutralen mechanischen Beinachse in der Frontalebene. Dieses Vorgehen spiegelt die idealisierte Ausrichtung einer Knieprothese unter biomechanischen Gesichtspunkten wider. Nicht berücksichtigt werden allerdings die individuellen präoperativen Achsverhältnisse der Patienten, warum es sinnvoll erscheint, abweichende Winkel entsprechend zu erkennen und nachzuvollziehen [12, 9, 13].

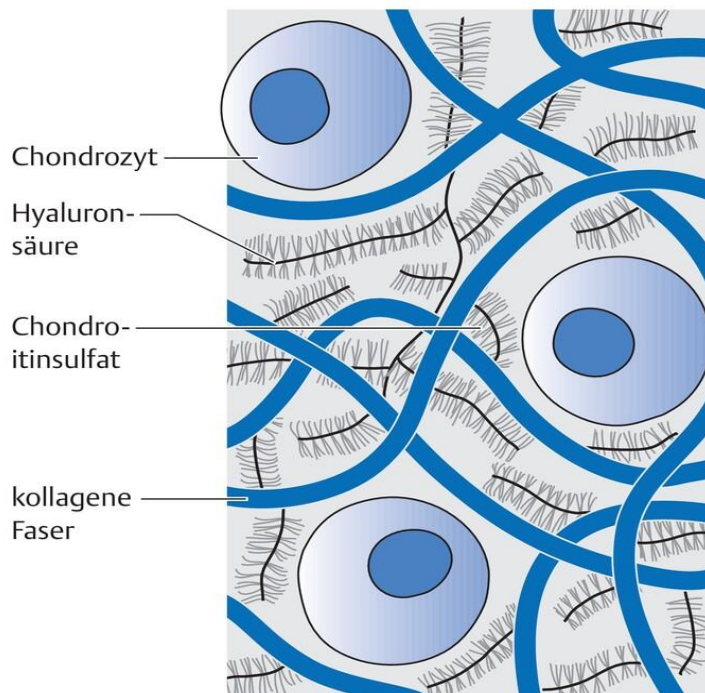
Unklar bleiben auch die Auswirkungen dieser „idealisierten“ Achskorrektur auf das Kniegelenk selbst (Beweglichkeit, Stabilität, Patellaufschlag, etc.), wie auch der Einfluss der Korrektur der Beinachse in der Frontalebene auf die Stellung und Funktion (Mehr- oder Fehlbelastung mit korrespondierenden Schmerzen und einer Einschränkung der Lebensqualität) der angrenzenden Gelenke (Hüftgelenk und oberes Sprunggelenk).

Vor dem Hintergrund, dass auch nach optimaler Positionierung der Prothese nach o. g. Gesichtspunkten weiterhin rund 20 % der Patienten unzufrieden bleiben, wurde eine neue Diskussion über das optimale „Alignment“ (die Ausrichtung) in der Knieendoprothetik entfacht [14, 15].

1.2 Anatomische Grundlagen

Das Kniegelenk, das größte und am kompliziertesten aufgebaute Gelenk des menschlichen Körpers, definiert die Verbindung zwischen Femur und Tibia und dient

als elementares Bauteil dem Erhalt der Statik und Tragfähigkeit des Bewegungsapparates [16, 17]. Um die anspruchsvollen Dreh-, Beuge- und Streckbewegungen ausführen zu können, benötigt das Kniegelenk einen komplexen anatomischen Aufbau, dessen Reproduktion mittels eines Gelenkersatzes nur bei ausreichenden Kenntnissen von Anatomie und Biomechanik möglich ist [16, 18]. Das Kniegelenk wird gebildet durch die knöchernen Anteile des Femurs, der Tibia und der Patella und gilt aufgrund der femorotibialen Gelenkverbindung und des femoropatellaren Gleitlagers als zusammengesetztes Gelenk. Die Gelenkflächen dieser Gelenkpartner sind von hyalinem Knorpelgewebe überzogen, welches initial aus Chondroblasten und deren extrazellulärer Matrix besteht. Chondroblasten sind nur während des Wachstumsalters teilungsfähig, wodurch sie eine Rolle im Knorpelaufbau und der Heilung von Knorpelwunden spielen. Im Erwachsenenalter verlieren Chondroblasten ihre Synthesefunktion und verwandeln sich in Chondrozyten (Knorpelzellen), die keinen Anschluss mehr an die Blutversorgung besitzen. Die Matrix jener Zellen besteht aus den geformten Komponenten - Kollagen und den elastischen Fasern - sowie den ungeformten Komponenten - Proteoglykanen, Hyaluronsäure und Wasser. 70 % der Matrix besteht aus Wasser, die Wasserbindung wird durch die Proteoglykane und deren Natriumkationen sowie den umgebenen spitzbogenförmig verlaufenden kollagenen Fasern erzeugt (Abb. 1)



[19, 18].

Abbildung 1: Aufbau der Matrix des hyalinen Knorpelgewebes [19].

Die oberflächlichsten Knorpellagen (Lamina splendens) verlaufen parallel zur Gelenkfläche. Unterhalb der Lamina splendens befindet sich die Matrix, welche durch die Kombination des Quellungsdrucks der ungeformten Komponente und der Zugfestigkeit der geformten Komponente ein gespanntes kompaktes Gewebe produziert und somit einen hydrostatischen Kraftfluss erlaubt. Das Matrixwasser ist in einem dauerhaften Austausch mit der Gelenkflüssigkeit (Synovia), welche durch Diffusion den Stoffwechsel des gefäß- und nervenfreien Knorpels sichert. Der avaskuläre hyaline Knorpel besitzt kaum Regenerationspotential und kann bei Knorpeldefekten des Erwachsenen nur durch Ersatzgewebe regeneriert werden [19, 18].

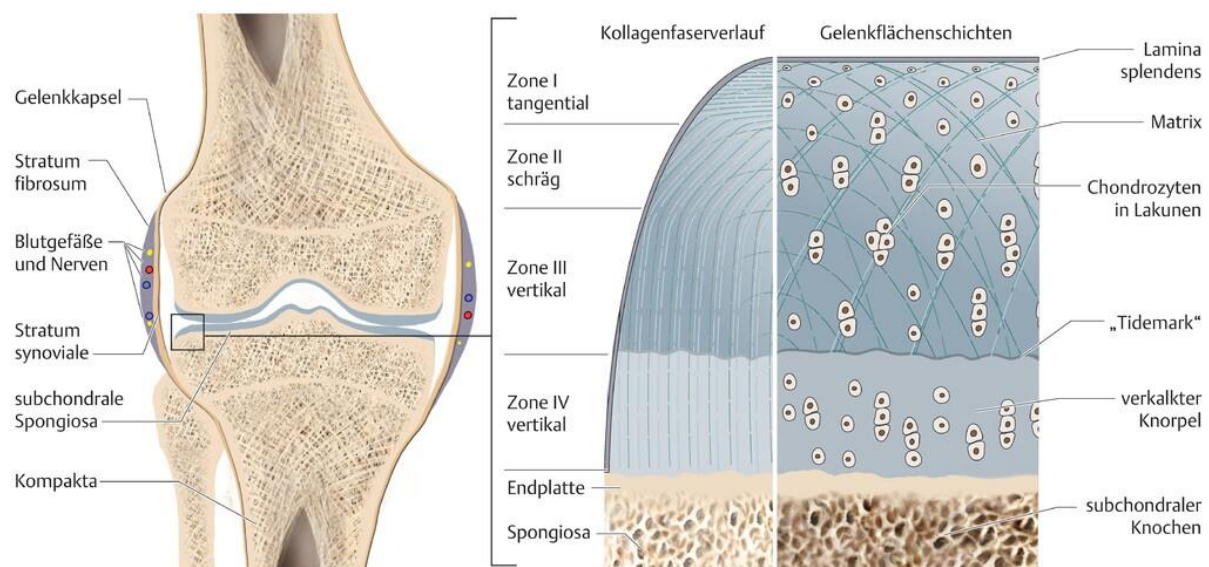


Abbildung 2: Anatomie des Kniegelenks und Zusammensetzung des Gelenkknorpels [18].

Im femorotibialen Gelenk artikulieren zwei unterschiedlich geformte Gelenkflächen: die stark gebogenen Femurkondylen mit den wenig gekrümmten Tibiakondylen des Tibiaplateaus. Die beiden Gelenkkissen, Meniscus medialis und lateralis, welche ca. 70 % der Tibiaplateaufläche bedecken, gleichen durch ihre anatomische Struktur die oben beschriebene Inkongruenz der femorotibialen Gelenkfläche aus. Im Querschnitt sind beide Gelenkkissen keilförmig angeordnet, wobei der Rücken des Keiles nach außen orientiert und mit der Gelenkkapsel bzw. Capsula fibrosa verwachsen ist. Die untere Seite ist dem Tibiaplateau aufliegend und gerade, die obere den Femurkondylen anliegend und konkav. Eine restliche Inkongruenz bleibt dennoch bestehen und ist für die Funktion des Gelenks wichtig [17, 20, 21, 3].

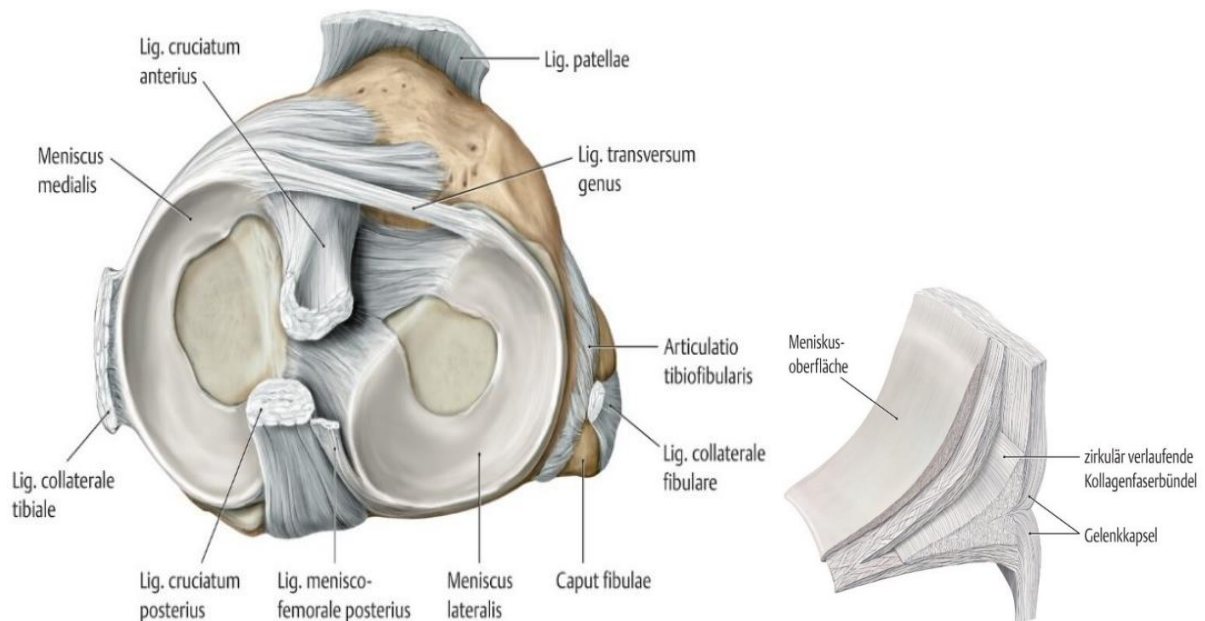


Abbildung 3: Tibiaplateau mit aufliegenden Menisken sowie Anheftungsstellen von Menisken und Kreuzbändern. Rechtes Tibiaplateau (links). Schematisierter Aufbau des Meniskus (rechts) [20].

Die Gelenkkapsel mit ihren fibrösen und synovialen Anteilen wird durch Bänder (Abb. 4) verstärkt und sorgt mit ihren intraartikulären Ausläufern für zusätzliche Stabilität des Kniegelenkes. Die intrakapsulär und extraartikulär gelegenen Kreuzbänder sorgen durch ihre funktionelle Struktur für eine zusätzliche Stabilität des Kniegelenkes. Durch ihren anatomischen Aufbau kommt es primär zu einer Limitation der anterioren (durch das vordere Kreuzband) und posterioren (durch das hintere Kreuzband) Translation der Tibia bzw. der vorderen und hinteren Schublade. Darüber hinaus sichern die Kreuzbänder als sekundärer Stabilisator die Begrenzung der Innenrotation. Die Beschränkung der Rotation erfolgt durch die beiden Seitenbänder: Das Innenband ist der Hauptstabilisator bei Abduktion, Valgus-Rotation und Innenrotation der Tibia, das Außenband bei Außenrotation und Varus-Rotation des Kniegelenkes [16, 17, 20, 22, 18].

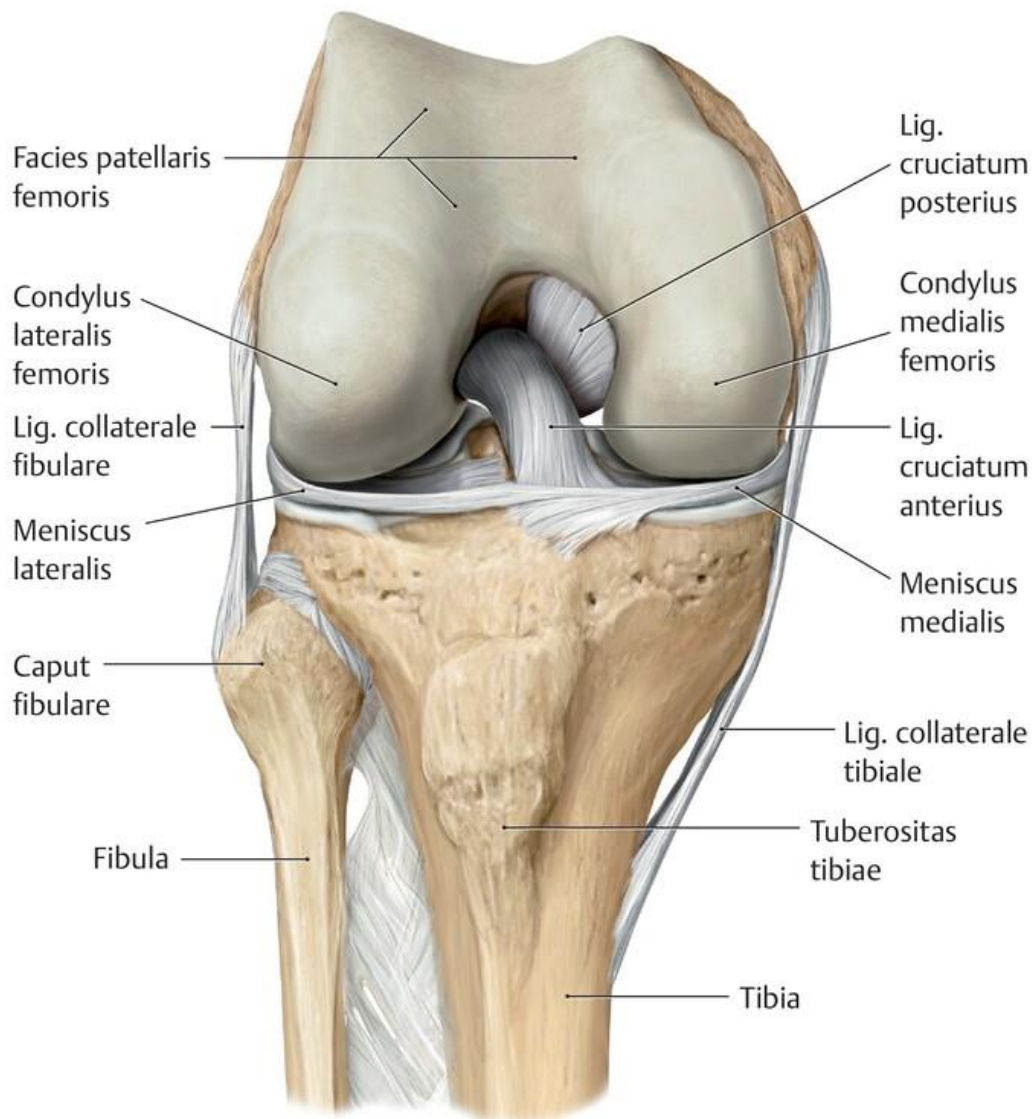


Abbildung 4: Rechtes Kniegelenk in Beugstellung. Ansicht von vorne nach Entfernung der Gelenkkapsel und der Patella. Am Kniegelenk werden 2 Seitenbänder [Lig. collaterale tibiale (Innenband) und Lig. collaterale fibulare (Außenband)] und 2 Kreuzbänder [Lig. cruciatum anterius (vorderes Kreuzband - VKB) und Lig. cruciatum posterius (hinteres Kreuzband - HKB)] unterschieden [20].

1.3 Biomechanik des Kniegelenkes

Die vollständige Funktion des Kniegelenkes beansprucht ein hoch komplexes Gleichgewicht von Mobilität und Stabilität, dabei dient die Funktionseinheit Muskel – Gelenk für eine Beschaffenheit der Integrität der Strukturen bei Streck-, Beuge- und Drehbewegungen. Die Hauptfunktion des Kniegelenkes ist in der Höhenkontrolle des Körperschwerpunktes und der Anpassung auf unterschiedlichem Gelände mit Haltung und Manövrierfähigkeit definiert. Das Gelenk bewegt sich auf diese Weise in 3 Richtungen und lässt 6 Freiheitsgrade zu (Abb. 5) [17, 22, 21].

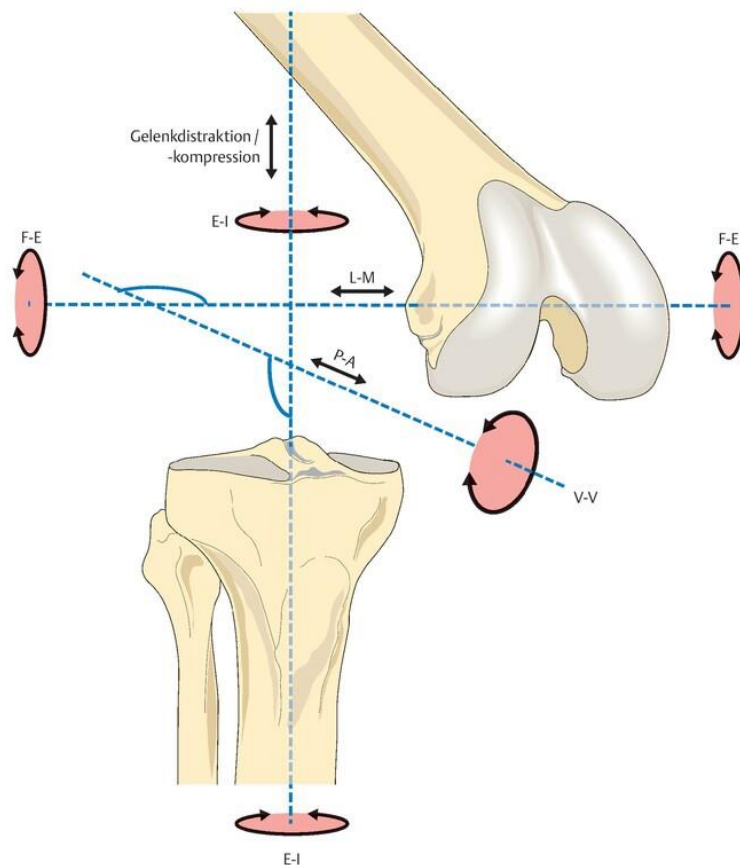


Abbildung 5: Die 6 Freiheitsgrade der Beweglichkeit des tibiofemorales Gelenkes: Mediolaterale Translationsbewegungen (L-M), Flexions- und Extensionsbewegungen (F-E) entlang der und über die transepikondyläre Femurachse, Gelenkkompression sowie -distraktion und Innen- sowie Außenrotationsbewegungen (E-I) entlang der und über die Tibiaachse, Translationsbewegungen in anteroposteriorer Richtung (P-A) sowie Varus-Valgus-Rotation (Adduktion/Abduktion; V-V) entlang einer und über eine variable Achse, welche senkrecht sowohl zur transepikondylären Femurachse als auch zur Tibiaachse steht [23, 24, 22].

Das Knie, der zentrale Drehpunkt der längsten Röhrenknochen des menschlichen Körpers, ist massiven Kräften bei jeder Bewegung der unteren Extremität ausgesetzt; Je größer der Bewegungsumfang, desto höher die ausgeübten Kräfte auf die vergleichsweise kleine, gering kongruente Gelenkfläche. Entsprechend groß ist die Abhängigkeit des Gelenks auf die zugehörigen Ligamente, welche als passive Stabilisatoren für die korrekte Geometrie und Funktionalität fungieren. In der Standphase wird die Streckstellung des Kniegelenkes durch den umgebenden Bandapparat gesichert, um somit das Körpergewicht wie eine Stütze tragen zu können und eine Schonung der Muskulatur, insbesondere der Quadrizepsgruppe zu ermöglichen. Beim Übergang zur Beugung wird die Hauptbewegung des Kniegelenkes auch durch die Quadrizepsgruppe für die Streckung und zusätzlich durch die ischiocruralen Muskeln für die Beugung initiiert. Daneben dient die Rotation

(Innen- und Außenrotation) für eine Optimierung des Bewegungsumfangs und dadurch der täglichen Aktivität. Der sagittale Bewegungsumfang beträgt üblicherweise eine Streckung von 0-10°; damit stehen Femur und Tibia in der sagittalen Achse quasi parallel. Die Schlussrotation findet gegen Ende der Streckung statt, welche durch eine automatische, nicht beeinflussbare Außenrotation von 13-15° definiert ist. Diese Außenrotation bringt die Kollateralbänder anschließend in deren Straffposition und ermöglicht mit der simultanen Anspannung der Kreuzbänder eine annähernde Verriegelung des Gelenkes in gestreckter Position (Abb. 6) [20, 25, 18].

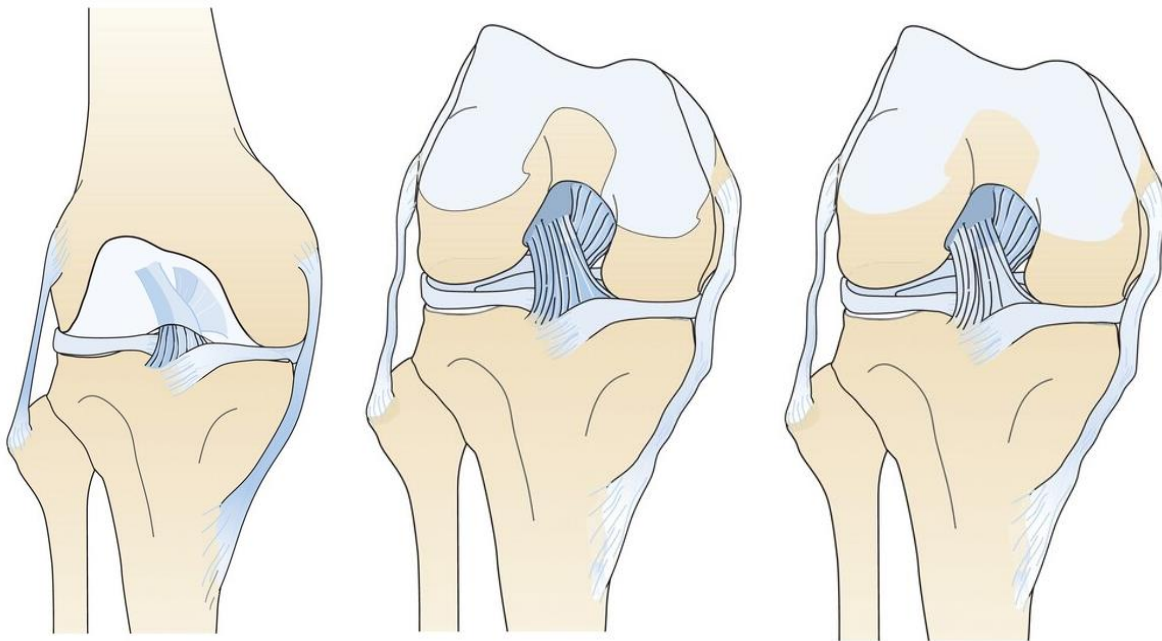


Abbildung 6: Verhalten der Kreuz- und Kollateralbänder in Beuge- und Streckstellung. In Streckstellung (links) zeigen sich die Kollateralbänder angespannt, diese werden in Beugung (mittig und rechts) locker. Die Hauptstabilisatoren des Kniegelenkes, beide Kreuzbänder, zeigen sich oder zumindest Teile davon in jeder Gelenkstellung angespannt [20].

Die Beugung, welche durch die Kontraktion der ischiocruralen Muskeln ermöglicht wird, kann aktiv maximal 130°-Beugung und passiv maximal 160°-Beugung erreichen. Die Weichteilhemmung und unzureichende Verkürzbarkeit der ischiocruralen Muskulatur präsentieren sich als limitierende Faktoren der Flexion. In den ersten 15-20° der initiierten Flexion aus der Streckung heraus kommt es zu einer rollenden Bewegung zwischen Femur und Tibia; zeitgleich befindet sich das Gelenk in einer automatischen Innenrotation. Bei weiterer Beugung dominiert die Gleitbewegung, welche durch die Krümmungsradien zwischen den Bewegungsachsen und der Gelenkoberfläche der Femurkondyle entsteht. Sobald die

Flexion erreicht ist, lockern sich die Seitenbänder und Kreuzbänder und ermöglichen somit die beliebige Rotation (Abb. 7) [20, 22].

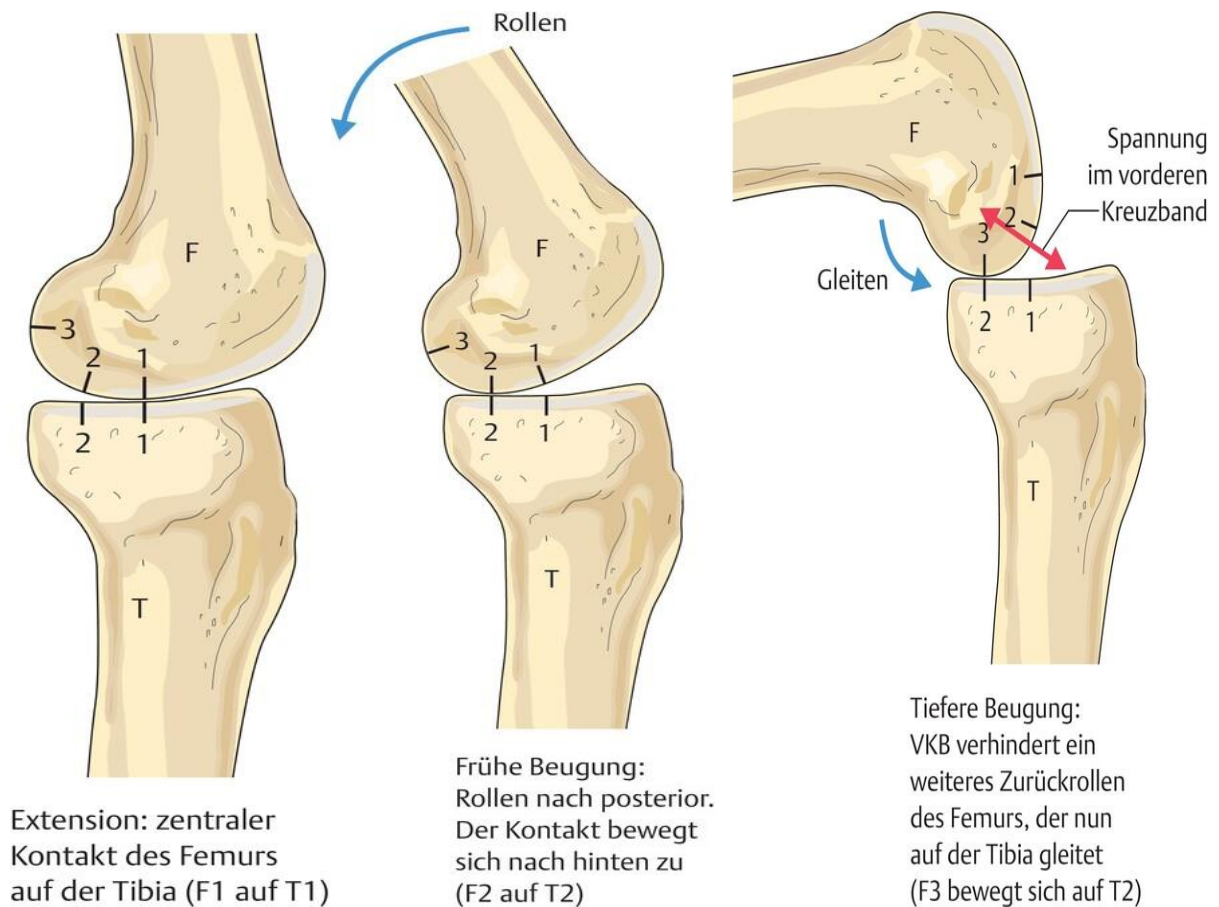


Abbildung 7: Kinematik des Kniegelenks in der Sagittalebene während des Gehens [22].

Der Range of Motion oder das Bewegungsausmaß wird international nach der Neutral-Null-Methode gemessen, wobei nur die Bewegung des Gelenkes in der Sagittalebene festgehalten wird; diese beträgt bei Erwachsenen für das Kniegelenk in Streckung/Beugung 5 bis 10°-0-120° bis 150° (Abb. 8). Die Rotationsbewegung findet im klinischen Alltag hingegen wenig Berücksichtigung [25, 26].

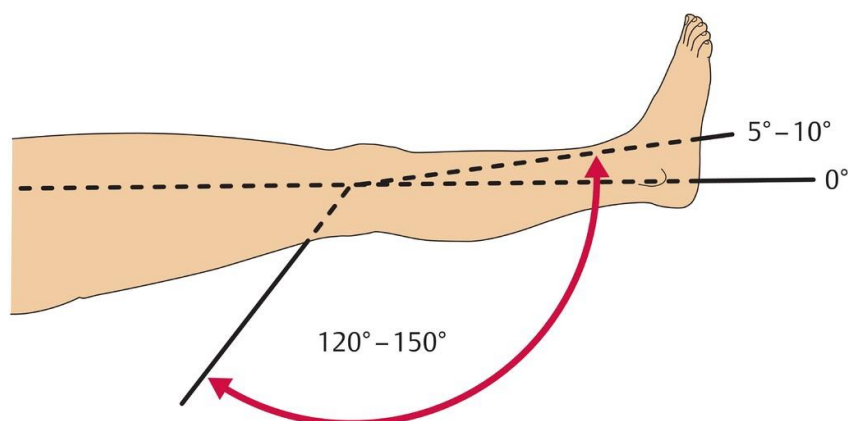


Abbildung 8: Messung der Kniegelenkbeweglichkeit in der Sagittalebene nach der Neutral-Null-Methode [26].

Aufgrund der Inkongruenz der Gelenkkompartimente rotiert das Femur über den medialen tibialen Drehpunkt. Die Subluxation der lateralen Kondyle mobilisiert auf transversaler Ebene das laterale tibiale Kompartiment, dadurch kann in 90° Flexion eine Innenrotation von ca. 10° und eine Außenrotation von ca. 40° erreicht werden. Die Bewegung der rollenden Komponente und der gleitenden Komponente wird durch die Spannung der passiven Stabilisatoren, Kreuzbänder und Kollateralbänder, kontrolliert (Abb. 9) [20, 22].

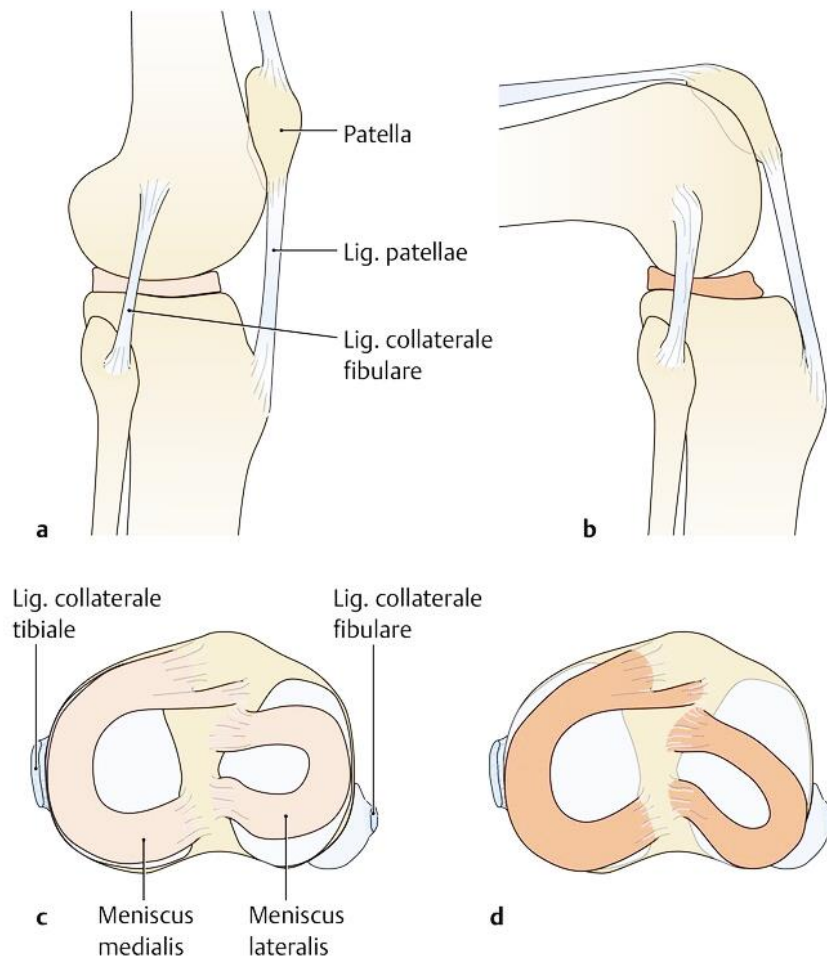


Abbildung 9: Lageveränderungen der Menisken bei Knieflexion. Sagittale Achse eines Kniegelenks in Streckung (a) und Beugung (b) mit der entsprechenden Darstellung des Tibiaplateaus und der Menisken in Streck- (c) und Beugstellung (d) [20].

Bewegungen in der Frontalebene im Sinne einer Abduktion / Adduktion kommen beim Gesunden nicht vor und sind daher immer als Ausdruck entweder einer Bandläsion oder einer relativen Bandinsuffizienz bei Destruktion des Knorpels bzw. Knochens zu werten [20, 22].

1.4 Achsen- und Winkelverhältnisse der unteren Extremität

Die Entwicklung der Beinachse und deren Varianz im menschlichen Individuum spiegelt seine Evolution zum Zweibeiner wider. Im Kindesalter passen sich die Beinachsen in jedem Lebensabschnitt den Bedürfnissen an und beeinflussen durch ihren Aufbau wiederum die Entwicklung des Kindes. Jede Verletzung der stark ausgebildeten Wachstumsregionen kann schädlich für die Achsstellungen oder Beinlängendifferenzen sein. In der Transversalebene sorgen zwei Detorsionsbewegungen im Hüftgelenk für eine Reduktion der Antetorsion des Schenkelhalses von ca. 30-31° vor dem 6. Lebensjahr zu 12-15° nach dem 14. Lebensjahr. Diese beeinflusst sowohl die Vertikalisierung des Menschen als auch die Entwicklung der Körperachse und die Rotationsfähigkeit des Hüftgelenkes. Je dominanter die Antetorsion ist, umso mehr ist die Innenrotation der Hüfte gesteigert. Auf Höhe des Unterschenkels weist die Außenrotation der Tibia mit einem Winkel von ca. 15° im Laufe des Wachstums eine Außenrotation des Fußes im Vergleich zum Oberschenkel von 10-20° auf [27, 28, 22, 10, 29].

In der Frontalebene werden die Deformitäten am Kniegelenk als Genu varum und Genu valgum definiert, wobei Varus die O-Bein-Stellung und Valgus für die X-Bein-Stellung definiert. Jene Deformitäten sind im Kindesalter omnipräsent und erläutern die physiologische Beinachsenentwicklung. Während des Wachstums wandelt sich die Beinachse im Kniegelenksbereich durch Torsions- bzw. Detorsions- und Rotationsbewegungen der Gelenke von einer Varusstellung (ca. 15°) im Säuglingsalter in eine Valgusstellung (ca. 10°) in den ersten 2 - 4 Lebensjahren (Abb. 10), um sich danach in die physiologische Valgusstellung zu normalisieren (Abb. 11); letztere wird im Erwachsenenalter als normale Beinachse bezeichnet. Ausreißer aus der physiologischen Streubreite kennzeichnen die pathologische Stellung und führen häufig zu einer Schädigung der Wachstumszonen und somit der Beinachse oder weiterführend der Extremitätenlänge. Die häufigsten Ursachen für Valgus- bzw. Varusstellungen sind Traumen, Tumorgeschehen, Infektionen und metabolische Erkrankungen [27, 28, 30, 10, 31].

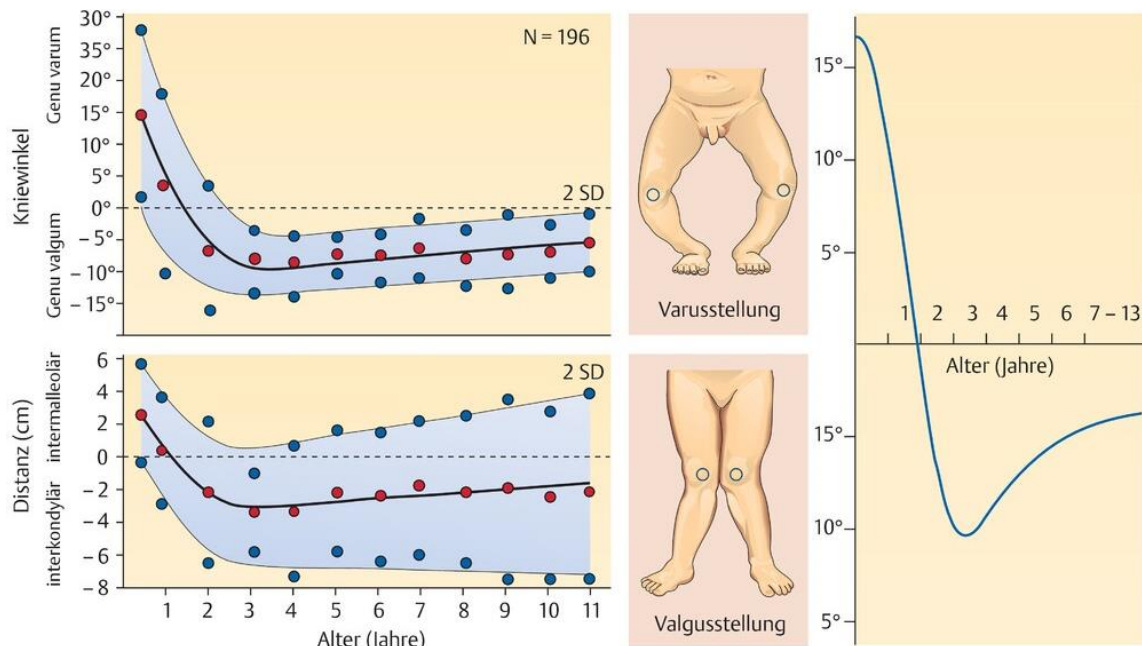


Abbildung 10: Beinachsenentwicklung anhand des Kniewinkels und der interkondylären bzw. intermalleolären Distanz. [27]

Die Wachstumsplatte auf der Innenseite des Kniegelenks verursacht durch das Längenwachstum die Umwandlung der Beinachse in die physiologische Valgusstellung. Somit wird die endgültige Form des Beines im Laufe der Pubertät allmählich definiert [27, 30].

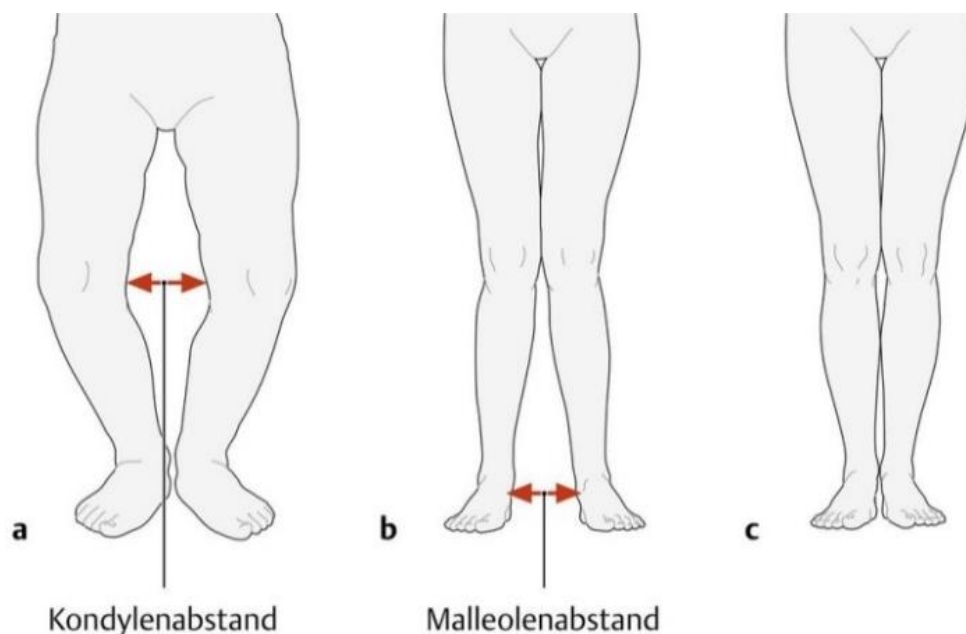


Abbildung 11: Spontane Entwicklung eines physiologischen O-Beines zur Normalform im Alter von 1 Jahr (a), 3,5 Jahren (b), und 8 Jahren [31].

Abweichungen der Beinachse von der physiologischen Norm existieren in allen drei Ebenen: Frontalebene, Sagittalebene, und Transversalebene. Die Abweichungen in der Frontalebene sind die häufigsten und haben die stärkste klinische Relevanz. Zur Identifikation einer vorliegenden Deformität ist die Vermessung der Beinachse unerlässlich, wofür zwei Methoden zur Verfügung stehen: anatomisch und mechanisch [30, 31].

1.4.1 Diagnostik



Abbildung 12: Prä- und postoperative Ganzbeinstandaufnahmen nach Implantation einer K-TEP bei einer 63-jährigen Patientin mit Variation der Tragachse (gelbe Linie); (freundliche Genehmigung der Klinik für Orthopädie; Maria-Hilf-Krankenhaus Daun).

Die Evaluierung der Beinachse in der Frontalebene findet exklusiv anhand einer Ganzbeinstandaufnahme bzw. Ganzbeinaufnahme (GBA) im anterior-posterioren (a.-p.) Strahlengang statt (Abb. 12). Die approximierete Bestimmung der Beinachse anhand einer langen Knieaufnahme oder einer a.-p.-Zielaufnahme des Kniegelenkes weist ein signifikantes Fehlerpotential und eine hohe Untersuchervariabilität auf. Die

GBA wird bei auffälligen Achsendeformitäten oder zur Operationsplanung für z.B. K-TEP oder kniegelenknahe Osteotomien, um Achsenabweichungen und Gelenkwinkel exakt zu messen, verwendet [32, 33, 10]. Die Durchführung einer korrekten Aufnahme erfolgt im Stand mit dem Rücken des Patienten an einem Rasterwandstativ und beiden Kniegelenken in voller Extension. Die Patella ist nach vorne zentralisiert, sodass sie sich mittelständig zwischen beiden Kondylen lokalisiert. Bei Patellafehlstellungen, wie z.B. bei einer bestehenden Sub- oder –Luxation, wird die Tuberositas tibiae als Referenz zur Ausrichtung verwendet. Darüber hinaus erfolgen eine planparallele Einstellung des Tibiaplateaus und ein Ausgleich einer eventuellen Beinlängendifferenz mittels einer Unterlage, z.B. einem Brettchen. Die Position des Vorfußes wird bei dieser Aufnahme, aufgrund möglicher Fehlstellungen des Beines oder des Fußes, ignoriert. Sollten diese Kriterien nicht erfüllbar sein, wie bei komplexen Fehlstellungen, wird der Strahlengang senkrecht auf die a.-p. bzw. Beugungs-Streckungs-Achse des Knies ggf. mithilfe oder unter Aufsicht des behandelnden Arztes gerichtet. Für die Durchführung der Aufnahme wird eine Röntgenkassette der Größe 124,6 x 38,5 cm benötigt mit einem fokussierten Röntgenstrahl mit einem Abstand von 3 m auf das Kniegelenk. Die Skalierung erfolgt durch eine Referenzkugel mit in der Regel einem Durchmesser von 25 mm auf Höhe der Patella (Abb. 13) [32, 33, 10].

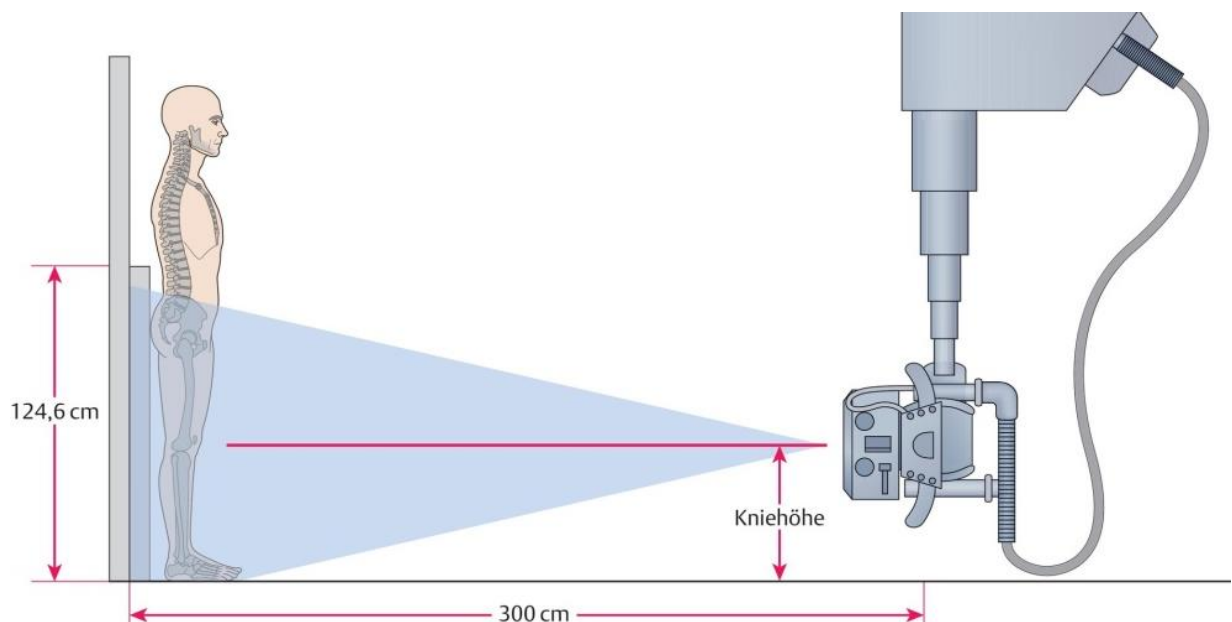


Abbildung 13: Einstelltechnik der Ganzbeinaufnahme [33].

1.4.2 Variationen der Beinachse

Die Linie vom Drehzentrum des Hüftkopfes durch die Mitte der Malleolengabel des oberen Sprunggelenkes in der Frontalebene wird als mechanische Beinachse bezeichnet. Sie ist mit der sogenannten Mikulicz-Linie, welche die Verbindung von der Mitte des Leistenbands zur Mitte des oberen Sprunggelenkes -und somit die mechanische Tragachse- bildet, identisch. Diese Linie kreuzt bei normaler Beinachse die Mitte des Kniegelenkes bzw. die Eminentia intercondylaris des Tibiaplateaus. Die mechanische Beinachse bildet mit der Vertikalachse des Körpers einen Winkel von 3° (Verlauf schräg von kraniallateral nach mediokaudal). Bei einer bestehenden Valgus-Deformität (X-Bein) liegt diese lateral, bei einer Varus-Deformität (O-Bein) medial der Kniegelenksmitte [34, 35, 10, 31, 36].

Die anatomische Beinachse wird durch die Mittelpunkte zweier möglichst weit voneinander entfernter Senkrechten zum Schaft festgelegt. Während diese mit der mechanischen Achse der Tibia übereinstimmt, bildet sie mit der Tragachse des Femurs einen Winkel von 6° . Somit schwanken die Angaben der normalen anatomischen Beinachse in der Literatur um einen Mittelwert von 174° , der sogenannte frontale Knieaußenwinkel oder auch Femorotibialwinkel. In der internationalen Literatur wird dieser Winkel als HKA Winkel (*hip-knee-ankle angle*) bezeichnet (Abb. 14). Darüber hinaus weist die physiologische Beinachse geschlechtsspezifische Unterschiede auf, wobei ein breiteres Becken bei Frauen eine physiologische X-Beinstellung verursacht, daher die Variation der Mittelwerte der verschiedenen Gelenkwinkel [34, 35, 10, 31, 36]. Eine Studie von Ollivier et al. präsentierte in 2013 einen signifikanten Einfluss der H-TEP auf die Ausrichtung der unteren Gliedmaßen und zeigte dabei bedeutsame, obwohl gering, resultierende Veränderungen des HKA-Winkels auf [37]. Im gleichen Jahr beschrieben Fujimaki et al. einen variierenden Effekt der H-TEP auf die Beinachse der unteren Extremität mit postoperativer Besserung der Diskrepanz der Beinlänge im Seitenvergleich [38].

Der Gelenkflächenwinkel definiert den Verlauf der Kniebasislinie und der Tibiaplateaulinie. In physiologischen Bedingungen verlaufen diese Linien parallel oder nahezu parallel mit einer $0^\circ - 3^\circ$ medialen Konvergenz. Eine Abweichung dieses Winkels ist eine Folge einer Bandinstabilität, eines Knorpelverlusts oder einer

ossären Deformität. Meistens ist bei einer Gonarthrose die Kombination mehrerer dieser Faktoren die grundlegende Ursache dieser Abweichung [39, 34].

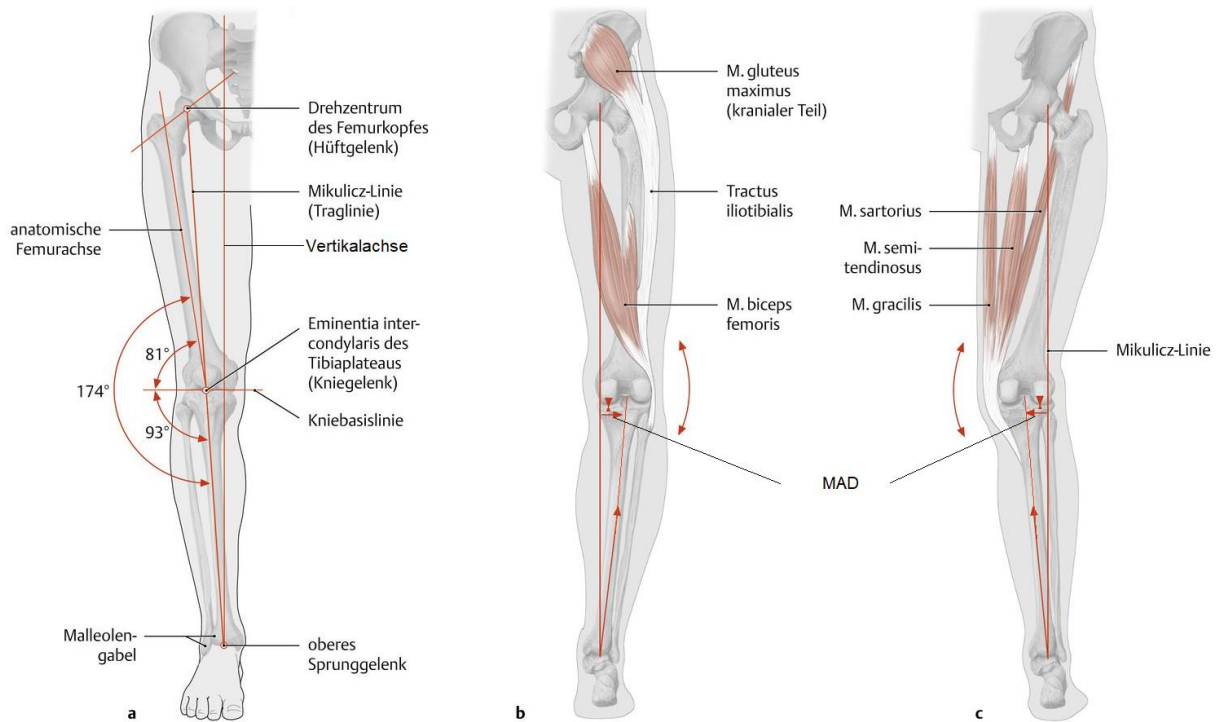


Abbildung 14: a- Die mechanische Beinachse bzw. Mikulicz-Linie oder Traglinie des Beines bildet mit der Vertikalachse des Körpers einen Winkel von 3° mit einem mediokaudalen Verlauf. Diese Achse stimmt mit der anatomischen Tibiaachse überein und bildet mit der anatomischen Femurachse einen Winkel von 6° . Die Mikulicz-Linie des Beines verläuft durch den Kniemittelpunkt bei normaler Beinachse (a- ventrale Ansicht). Sollte diese medial der Kniemitte verlaufen, definiert dies eine varische Achsabweichung bzw. Genu varum (b- dorsale Ansicht). Bei lateralem Verlauf der Traglinie, handelt es sich um eine valgische Achsabweichung oder Genu valgum (c- dorsale Ansicht). Die MAD (Main Axis Deviation) definiert anhand des Verlaufs der Mikulicz-Linie in Bezug auf das Kniegelenkzentrum die Hauptachsenabweichung des Kniegelenks [34, 31].

Anhand einer korrekt durchgeführten Ganzbeinaufnahme wird die Achsenfehlstellung mithilfe des Malalignment-Tests analysiert. Dieser definiert die Hauptachsenabweichung bzw. die MAD (Main Axis Deviation) anhand des Verlaufs der Mikulicz-Linie in Bezug auf das Kniegelenkzentrum. Sollte diese Linie > 15 mm medial des Zentrums liegen, definiert man die Stellung als Varusfehlstellung. Wenn die Tragachse > 10 mm lateral des Kniegelenkzentrums verläuft, wird eine Valgusdeviation definiert. Ein Malalignment kann tibial oder femoral verursacht werden, hierzu ist die Bestimmung der mechanischen femoralen und tibialen Winkel auf Höhe des Kniegelenks essenziell. Aufgrund der Notwendigkeit zur Skalierung, um in mm messen zu können, bedingt die Methode bei den digitalen Röntgenaufnahmen Schwächen und dient nur als Orientierung. [39, 34].

1.4.3 Gelenkwinkel

Bei einer normalen Beinachse formiert die Verbindungslinie vom Hüftkopfbereich zum Trochanter major einen Winkel von 90° (mLPFA) mit der mechanischen Achse des Beines. Die Verbindungslinie der Femurkondylen bildet mit der mechanischen Achse lateralseitig einen Winkel von 87° (mLDFA), das Tibiaplateau medialseitig einen Winkel von 87° (mMPTA) zur mechanischen Beinachse. Die distale Gelenkfläche der Tibia steht im 90° Winkel (mLDTA) zur mechanischen Achse (Abb. 15) [27, 22, 10, 31].

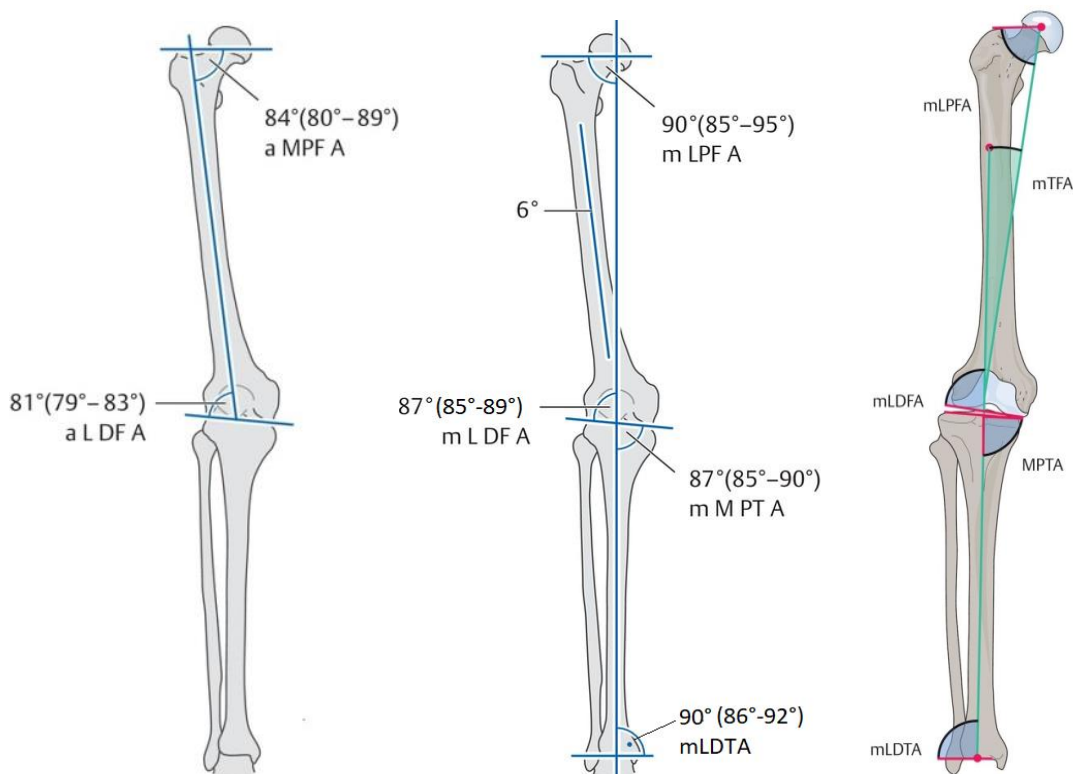


Abbildung 15: Gelenkwinkel bei gesundem Bein des Erwachsenen für die mechanische Beinachse (m) und anatomische Beinachse (a) [34, 28].

International werden diese Gelenkwinkel, wie im oberen Bild abgebildet, einheitlich bezeichnet: a oder m für anatomische oder mechanische Beinachse, L oder M für lateral oder medial, P oder D für proximal oder distal, F oder T für Femur oder Tibia und A für angle. Dieser wird auch in deutschen Zeitschriften und Büchern als W für Winkel benannt. So bezeichnet beispielsweise der mLDFA (*mechanical lateral distal femoral angle*) den mechanischen Winkel am lateralen distalen Femur. Die MAD wird anhand der mLDFA und mMPTA als femoral oder tibial bedingt unterteilt: ein mLDFA $< 85^\circ$ oder ein mMPTA $> 90^\circ$ definieren eine valgische Achsenstellung, ein mLDFA $>$

89° oder ein mMPTA < 85° charakterisieren eine varische Achsenstellung (Abb. 16) [39, 32, 28, 10, 31].

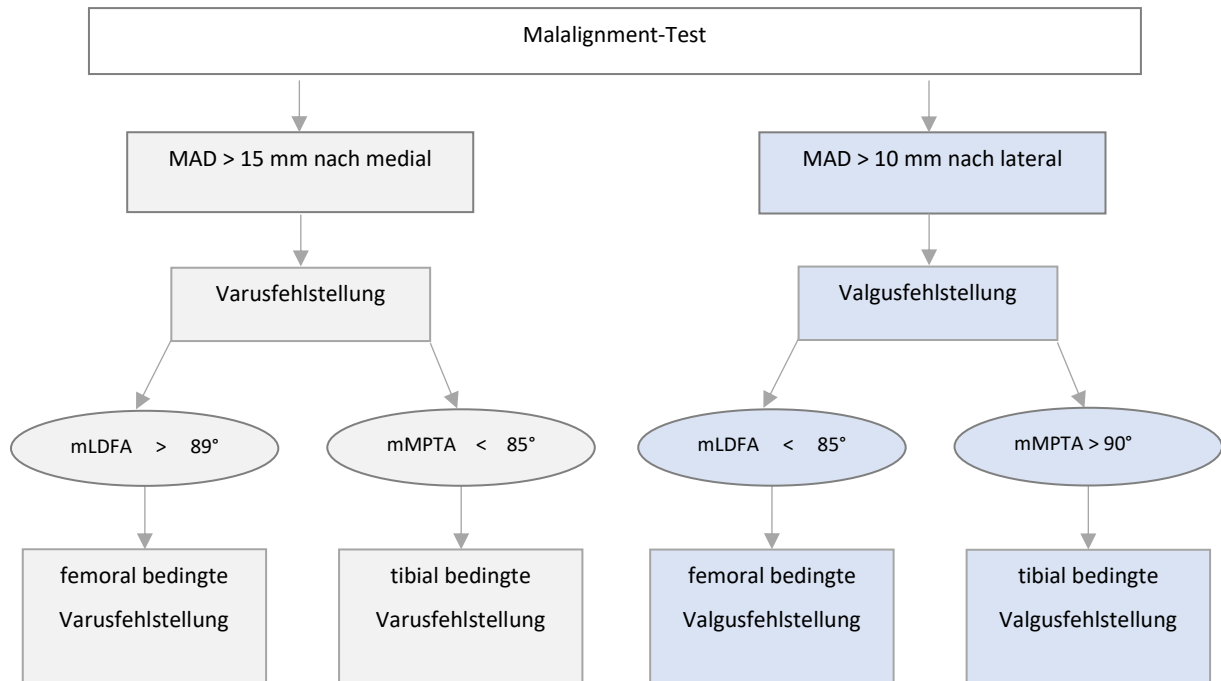


Abbildung 16: Analyse der Achsenfehlstellung mit dem Malalignment-Test [40, 41].

1.5 Gonarthrose

1.5.1 Definition, Epidemiologie, Pathogenese und Ätiologie

Die Gonarthrose, die häufigste Form der Arthrose, führt zum Verschleiß des Kniegelenkknorpels mit hin bis zur Exposition der Gelenkknochenoberfläche. Die Kniegelenksarthrose wird anhand ihrer Ätiologie als primär oder sekundär definiert und nimmt an Häufigkeit mit steigendem Alter zu. Angrenzende Knochen, Muskeln und Bänder können durch eine Arthrose geschädigt werden [7, 5, 3].

Im Allgemeinen resultiert die Erkrankung pathophysiologisch aus einer Diskrepanz zwischen kontinuierlicher Belastung im Alltag und regredienter Belastbarkeit des Knies durch den physiologischen idiopathischen Knorpelabbau. Die primäre Gonarthrose versteht sich als ein Defekt der Knorpelfläche durch ein vermutlich multifaktorielles Phänomen bei noch unklarer Genese (Abb. 17). Hier wird von einer intrinsischen Erkrankung des Knorpels ausgegangen, wobei der Knorpelzusammenbruch zu einer Mischung biomechanischer und metabolischer Veränderungen führt [42, 3, 18].

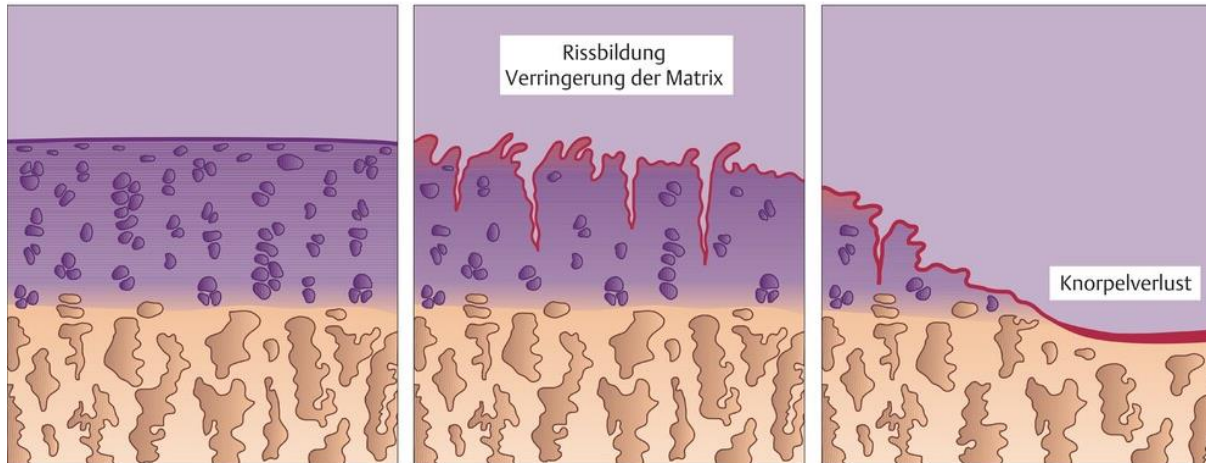
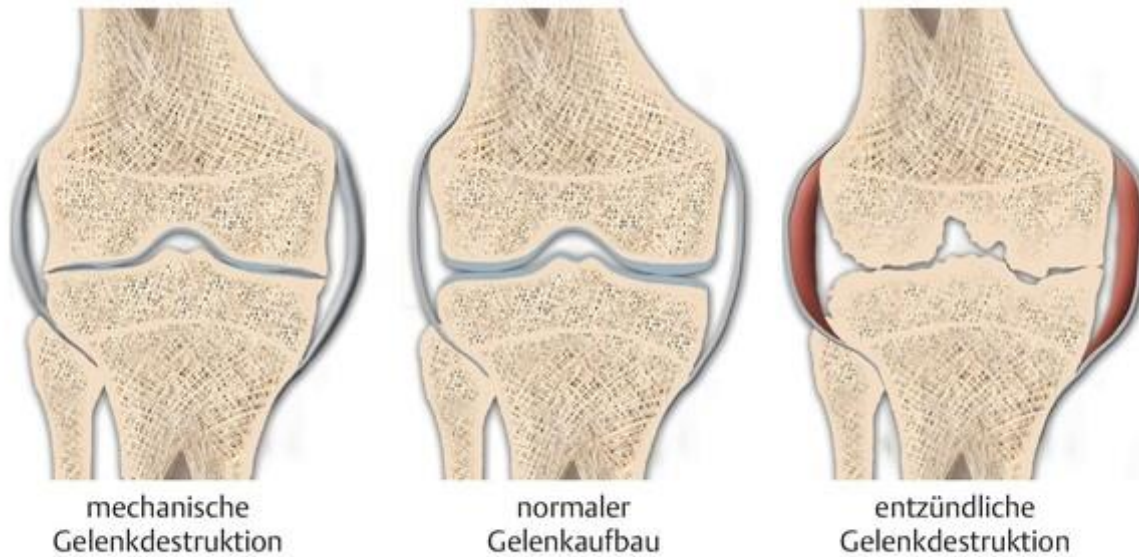


Abbildung 17: Prozess der Knorpeldestruktion [18].

Die sekundäre Arthrose entsteht aus verschiedenen unterschiedlichen Einflussfaktoren: neben den mechanisch extraartikulären Ursachen, resultierend aus Achsabweichungen (O-Bein- bzw. varische Stellung oder X-Bein- bzw. valgische Stellung), repräsentieren auch Bandinstabilitäten, muskuläre Dysbalancen, Mikrotraumata, knöcherner Dysplasien und Überlastungen eine mögliche Genese. Darüber hinaus stellen mechanische intraartikuläre Ursachen wie beispielsweise Meniskusläsionen, komplette Menispektomien, eine Osteochondrosis dissecans und posttraumatische Veränderungen Gründe für eine spätere Arthrose dar. Auch vorangegangene Erkrankungen wie rheumatoid oder bakteriell bedingte Entzündungen, Gerinnungsstörungen, wie beispielsweise eine Hämophilie, metabolische Faktoren wie Chondrokalzinosen, Kollagenosen oder neurologische Erkrankungen können neben einer medikamenteninduzierten Arthrose für deren Genese verantwortlich gemacht werden. Zusammengefasst steht eine Knorpeldestruktion im Mittelpunkt aller Gelenkerkrankungen, wobei die ablaufenden Vorgänge je nach Grunderkrankung typische morphologische Veränderungen des Gewebes aufweisen. Dies ermöglicht in Zusammenschau mit dem Röntgenbild das Erkennen der Pathogenese und ggf. die Differentialdiagnose des Gelenkschadens (Abb. 18) [42, 10, 43, 3, 18].



Röntgen: lokalisierter Schaden, mäßige Gelenkspaltverschmälerung, Anpassungsreaktionen (subchondrale Sklerose 1, Osteophyten 2)

Klinik: langsam progredient, durch ständige Anpassungsreaktionen lange Zeit subklinisch



Röntgen: generalisierter Schaden, deutliche Gelenkspaltverschmälerung, eher Knochendestruktion

Klinik: mäßig progredient (aktivierte Arthrose) bis rasch destruierend (rheumatoide Arthritis, Infektarthritis), Schmerzen!

Abbildung 18: Schematische und radiologische Abbildung einer Gelenkdestruktion als Folge eines mechanischen Prozesses und eines entzündlichen Prozesses [42].

1.5.2 Klinik, Diagnostik, Klassifikation und Therapie

Der Gelenkschmerz ist das führende Symptom, welcher sich anfänglich als Anlauf- und Belastungsschmerz und in späteren Phasen als Ruhe-, Nacht- und

Dauerschmerz präsentiert. Im Gegensatz zur Koxarthrose, gehen die Patienten bei Gonarthrose aufwärts besser als abwärts. Darüber hinaus klagen Patienten über ein Steifigkeitsgefühl, Schwellungsneigung und Wetterfühligkeit, einhergehend mit einer Zunahme der Schmerzen bei kaltem Wetter. Bei aktivierter Gonarthrose, welche in der akuten Form eine dringliche Behandlung benötigt, nimmt der Bewegungs- und Ruheschmerz an Intensität zu, das Kniegelenk zeigt sich dann klinisch mit den typischen Entzündungszeichen einer Schwellung, Überwärmung und möglichen Ergussbildung. Die Beugefunktion wird anhand der metabolischen und anatomischen Veränderungen vor der Streckfunktion gehemmt, was die Bewegung insgesamt im Verlauf eingeschränkt. In späteren Phasen kommt es häufig zu Gelenkfehlstellungen (X-, O-Fehlstellungen) und Luxationen sowie Lockerungen des Kapsel-Band-Apparates mit Instabilitäten im Gelenk und Einsteifungen [25, 42, 44, 43, 3].

In der klinischen Untersuchung zeigt sich neben dem typischen reproduzierbaren Gelenkspalldruckschmerz, ein Patellareiben mit Krepitation und eventuell eine tastbare Baker-Zyste bzw. Poplitealzyste in der Kniekehle. Auch lassen sich neben einem Gelenkerguss und einer Schwellung die osteophytären Anbauten häufig palpieren. Im direkten Seitenvergleich zeigt sich die betroffene Extremität oft wärmer und geht mit einer eingeschränkten Beweglichkeit einher, insbesondere bei aktivierter Gonarthrose. Abschließend werden die Kollateralbandstabilität und die Beinachse geprüft, bei festgestellter Achsfehlstellung kann dies ein Indiz einer unilateralen Arthrose sein [25, 26, 42, 45, 43].

Weisen das Beschwerdebild des Patienten und die klinische Untersuchung auf eine vorliegende Arthrose hin, so erfolgt die Diagnosesicherung zunächst mittels Röntgenuntersuchung. Eine Reihe von röntgenologischen Aufnahmen ermöglicht die Diagnosesicherung der Gonarthrose sowie deren Therapieplanung. Die standardisierten Zielaufnahmen des Kniegelenkes in 3 Ebenen (a.-p., seitlich, Patella tangential in 30° Beugung) demonstrieren den Schweregrad der Abnutzung in den einzelnen Gelenkkompartimenten (Abb. 19). Die Bestimmung der Beinachse ist ausschließlich an einer Ganzbeinstandaufnahme valide durchführbar (Abb. 12). Die approximierete Bestimmung der Achse anhand einer langen Knieaufnahme oder einer Zielaufnahme weist ein signifikantes Fehlerpotential und eine hohe Untersuchervariabilität auf. Neben der Definition der Beinachse, dient die Ganzbeinstandaufnahme dazu, den operativen Eingriff und das endoprothetische Implantat zu planen (Abb. 22). Die Rosenberg-Aufnahme, p.-a. Aufnahme des

Kniegelenkes in 45°-Flexion, ermöglicht eine bessere Beurteilung des Knorpels in der Hauptbelastungszone. Die radiologische Klassifikation der Arthrose erfolgt international nach Kellgren und Lawrence (Tabelle 1) [32, 42, 44, 45, 43, 3].

Grad	Kriterium
0	Keine Arthrosezeichen
1	Subchondrale Sklerosierung ohne Gelenkspaltverschmälerung oder Osteophyten
2	Osteophytenbildung und geringe Gelenkspaltverschmälerung, beginnende Unregelmäßigkeiten der Gelenkfläche
3	Ausgeprägte Osteophytenbildung, deutliche Unregelmäßigkeiten der Gelenkfläche, Gelenkspaltverschmälerung
4	Aufgehobener Gelenkspalt, bis zur vollständigen Destruktion, Deformierung der Gelenkpartner

Tabelle 1: Röntgenologische Klassifikation der Arthrose nach Kellgren und Lawrence [45].

Alle weiteren Untersuchungen, wie Ultraschall und MRT, dienen bei differenzierten Fragen der Feststellung des Ausmaßes der Gelenkzerstörung und möglichen Weichteilverletzungen an Menisken und Bändern. Zudem kann eine vorbereitende Blutuntersuchung zugrundeliegende rheumatische und / oder infektiologische Erkrankungen identifizieren.



Abbildung 19: Präoperative radiologische Zielaufnahmen eines rechten Kniegelenkes. Hier zeigt sich eine Gonarthrose Grad III-IV nach Kellgren und Lawrence: ausgeprägte Osteophytenbildung, deutliche Unregelmäßigkeiten der Gelenkfläche, Gelenkspaltverschmälerung mit lateral aufgehobenem Gelenkspalt und Dezentrierung der Patella nach lateral in der a.-p. Aufnahme (freundliche Genehmigung der Klinik für Orthopädie; Maria-Hilf-Krankenhaus Daun).

Die, im Gegenteil zur Hüfte, günstige hautnahe Lage des Kniegelenkes ermöglicht die einfache Verwendung konservativer Therapiemaßnahmen. Physikalische Behandlungen mittels Physiotherapie und Krankengymnastik, Radfahren, Schwimmen, Kryotherapie, Wärmetherapie, Balneotherapie und Elektrotherapie zielen auf eine Besserung der Beweglichkeit im Kniegelenk durch Aufbau und Verstärkung der Muskulatur ab und verfügen über einen entzündungshemmenden Effekt bei aktivierter Arthrose [46, 43, 3]. Um eine mechanische Entlastung des Kniegelenks zu schaffen, können Hilfsmittel aus der Orthopädietechnik eingesetzt werden und somit durch die Verwendung eines Gehstocks auf der Gegenseite oder mit Pufferabsätzen bzw. dämpfenden Einlagen auf der betroffenen Seite eine Linderung der Beschwerden zu erzeugen. Medikamentöse und operative Therapieoptionen finden bei steigenden Symptomen und progressiven Beschwerden ihre Anwendung. So kann die Arthrose pharmazeutisch mit entzündungshemmenden Tabletten, wie nichtsteroidalen Antirheumatika, Myotonolytika und lokalen intraartikulären Injektionen behandelt werden. Operativ entscheidet die zugrundeliegende Pathologie bzw. Ursache der Arthrose und deren Auswirkung über das chirurgisch eingesetzte Verfahren. Bei einer Achsfehlstellung und unilateraler Arthrose, wo nur ein Gelenkkompartiment erkrankt ist, kann eine varisierende oder valgisierende Osteotomie das betroffene Kompartiment entlasten, wobei eine femorale Fehlstellung femoral adressiert wird und eine intraartikuläre oder tibiale Fehlstellung tibial mittels Tibiakopfosteotomie versorgt wird. Die aktuelle Studienlage bevorzugt bei jüngeren aktiven Patienten das gelenkerhaltende Vorgehen anstatt des künstlichen Gelenkersatzes, da der Therapieerfolg hier länger anhaltend ist. Die Schlittenprothese bzw. ein unilateraler Gelenkersatz hingegen wird bei älteren Patienten mit unikompartimentellen Beschwerden empfohlen. Der künstliche Gelenkersatz bleibt bei fortgeschrittener Arthrose mit Gelenkflächendestruktion und eindeutiger Symptomatik eine sehr gute Wahl. Hier kann je nach Ausprägung der Arthrose über das optimale Implantat entschieden werden, welches von der Schlittenprothese bis zur achsgeführten vollgekoppelten Knieprothese variiert. Abschließend spielt auch die Gewichtsreduktion eine sehr wichtige Rolle für alle genannten Therapieoptionen, welche aufgrund der statistisch bewiesenen hohen Inzidenz der Patienten mit Adipositas (bis 60,9 % der Patienten unter 65 Jahren, Tendenz steigend) ein vorherrschender Risikofaktor bleibt (Tabelle 2) [1, 44, 45, 5, 43, 3].

	Anteil (%)	Alter	m/w (%)	BMI (kg/m ²)
Alle	100,0	69	41/59	29,8
Knieerstimplantationen				
< 45-Jährige	0,7		38/62	32,0
45-54-Jährige	7,7		42/58	32,5
55-64-Jährige	27,8		46/54	31,4
65-74-Jährige	33,4		40/60	30,1
75-84-Jährige	27,9		37/63	27,9
85-Jährige und älter	2,6		35/65	26,3
Männlich	40,8	68	100/0	29,4
Weiblich	59,2	69	0/100	30,1

Tabelle 2: BMI in kg/m² nach Alters- und Geschlechterverteilung der Patienten bei Knieerstimplantationen im Jahr 2020 [5].

1.6 Kniegelenksendoprothese

Die Knieendoprothese (K-TEP) ist eine - in 90% der Fälle mithilfe von Knochenzement - fest im Knochen verankerte Prothese, bestehend aus Metall- und Kunststoffkomponenten (Polyethylen), welche bei schwerer Arthrose oder nach einem Unfall das natürliche Kniegelenk ganz oder teilweise ersetzen kann. Dank des Gelenkersatzes ist der Patient wieder leistungsfähig und bis zu einem bestimmten Ausmaß auch sportfähig. Die K-TEP gibt es – je nach Ausmaß und Schwere der Kniearthrose – in unterschiedlichen Modellen. Es wird zwischen unikondylär und bikondylär unterschieden, sowie zwischen Oberflächenersatzprothese bei stabilem Bandapparat und achsgeführten Modellen bei insuffizienten Bändern. Die Anforderungen an das künstliche Gelenk sind ähnlich komplex wie die an das natürliche Kniegelenk, um dessen Aufgaben entsprechend übernehmen zu können [47, 46, 48-50].

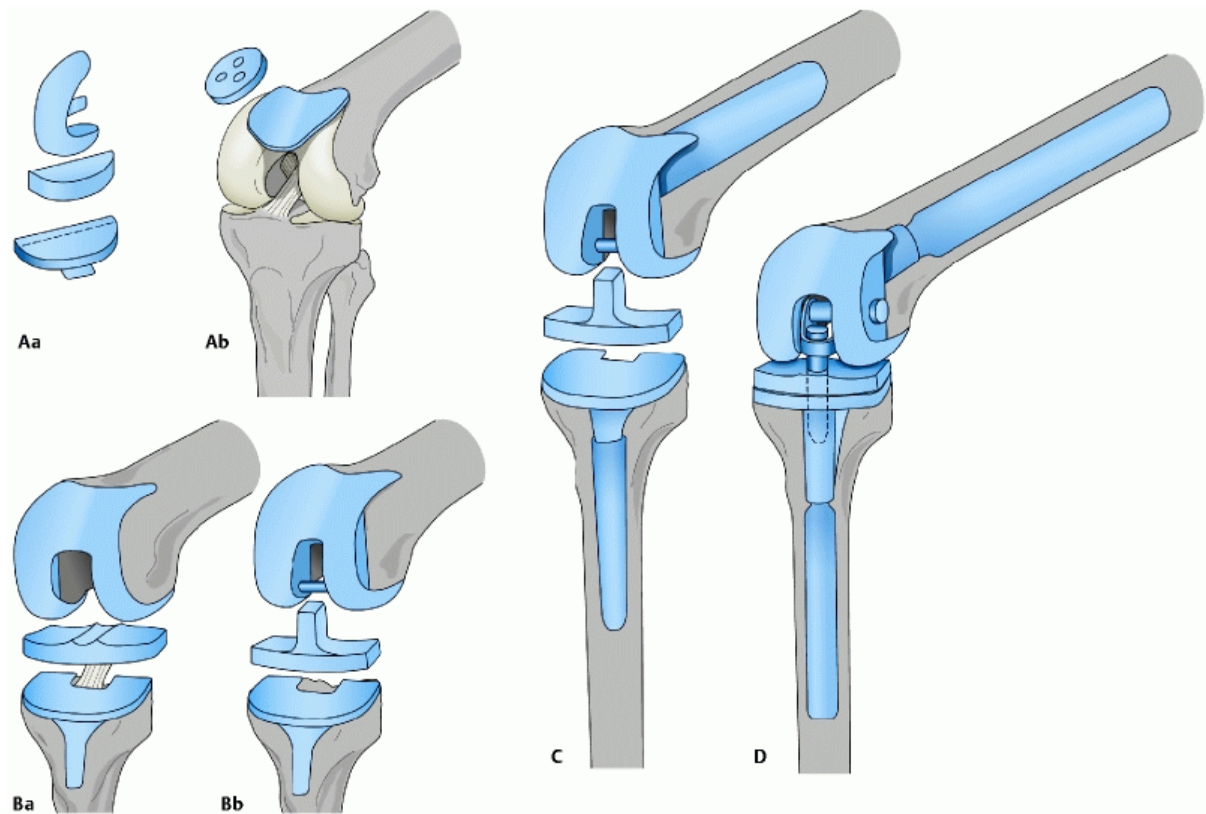


Abbildung 20: Verschiedene Implantatformen einer Knieendoprothese: A Unikompartimenteller Oberflächenersatz, (a) femorotibial (auch: unikondylär), (b) femoropatellar; B Bi-(tri-)kompartimenteller Oberflächenersatz (ohne bzw. mit Patellarrückflächenersatz), (a) mit Erhalt des hinteren Kreuzbandes, (b) mit Ersatz des hinteren Kreuzbandes; C Teilgekoppelte Totalendoprothese; D Achsgeführte (vollgekoppelte) Totalendoprothese [51].

Wie bei jedem anderen operativen Eingriff bestehen auch bei der Implantation einer Knieendoprothese gewisse Risiken, welche bereits zuvor genannt wurden [51, 47, 49, 50]. Kniegelenksinfektionen jeglicher Art stellen eine absolute Kontraindikation für jeden Kniegelenkersatz dar [51].

1.6.1 Operationstechnik

Die operative Methode zum Einsatz einer Knieendoprothese ist hoch standardisiert und über Jahre / Jahrzehnte etabliert. Dabei erfolgt die Ausrichtung der beiden Gelenkkomponenten (Femur- und Tibiakomponente) in einem Winkel von 5-7° Valgus in der Frontalebene bezogen auf die anatomische Tragachse des Femurs. Diese Vorgehensweise spiegelt die idealisierte Ausrichtung einer Knieprothese unter biomechanischen Gesichtspunkten wider. Die individuellen präoperativen abweichenden Achsverhältnisse der Patienten finden allerdings in diesem Fall keine Berücksichtigung [51, 47, 46, 50].

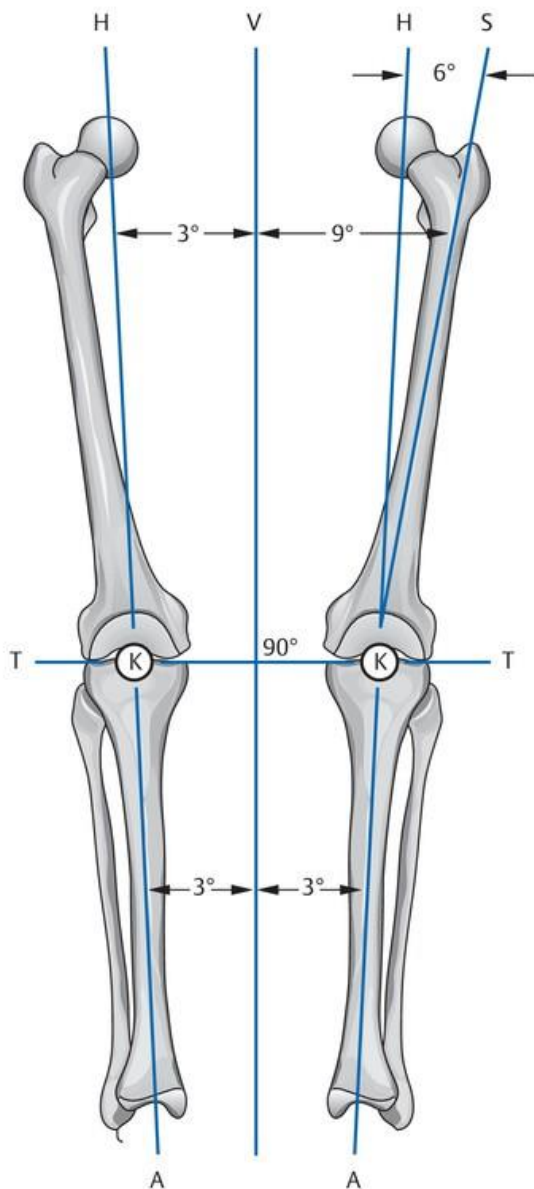


Abbildung 21: Anatomische Achsen der unteren Extremitäten. V: vertikale Achse, S: Femurschaftachse, H: Mittelpunkt des Hüftgelenks, K: Mittelpunkt des Kniegelenks, T: Transversalachse, A: Mittelpunkt des Sprunggelenks [46].

Im Rahmen der präoperativen Planung erfolgt eine Serie an Röntgenbildern, darunter eine Ganzbeinstandaufnahme sowie entsprechende Zielaufnahmen des Kniegelenkes. Die passende Knieprothesengröße wird anhand von Schablonen bzw. digital nach Beachten des Vergrößerungsfaktors gemessen und mit entsprechenden Sägeschnitten versehen. Für die vorliegende Arbeit erfolgte die digitale Planung mittels der Planungssoftware *medCAD*® (Hectec GmbH, 84169 Altfraunhofen, Deutschland). Diese ermöglicht die präoperative Prothesenplanung und die adäquate

Achsenvermessung, um die physiologische Achse postoperativ präzise wiederherzustellen.

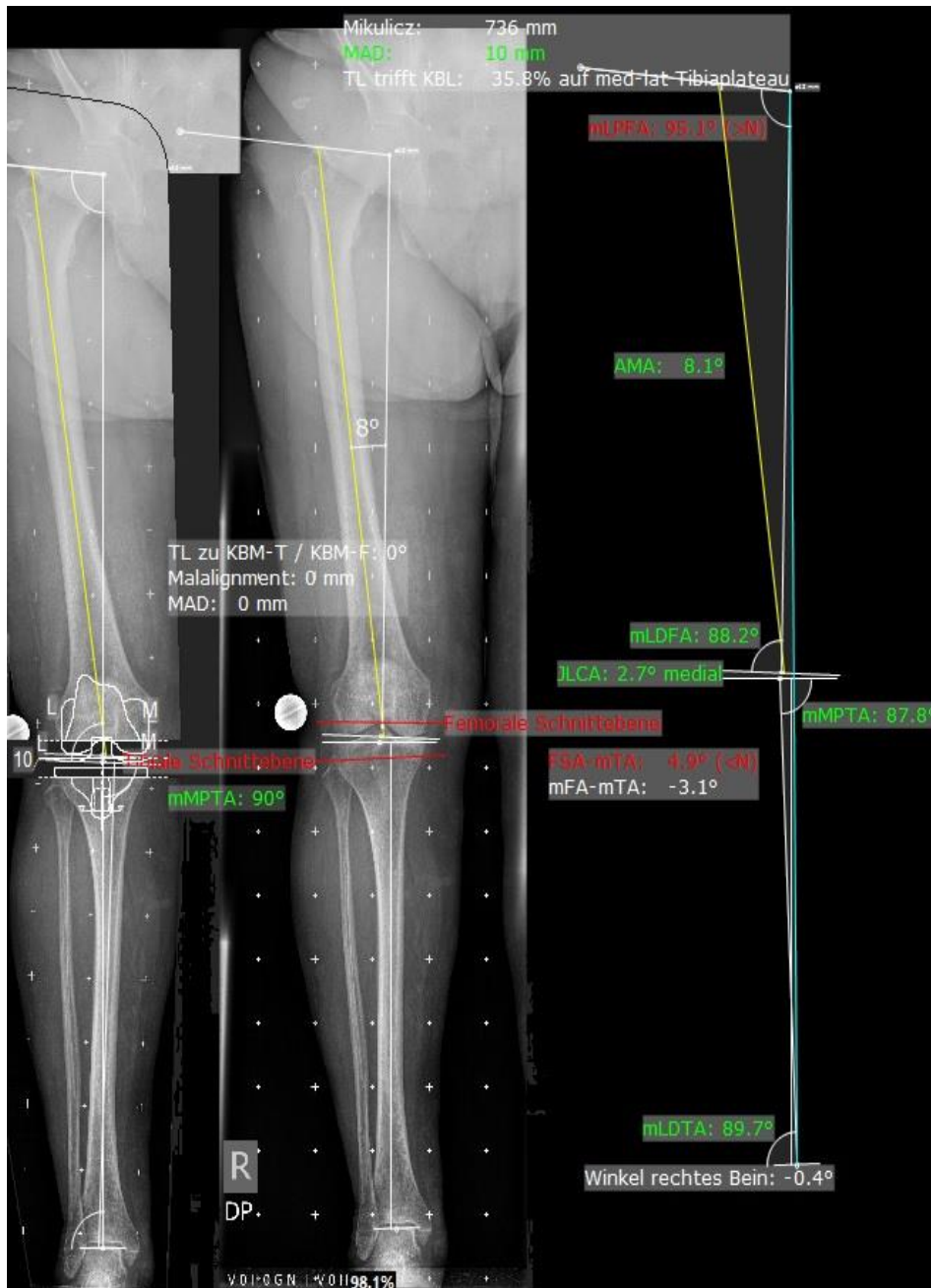


Abbildung 22: Planung eines Oberflächenersatz mittels HECTEC anhand einer GBA (freundliche Genehmigung der Klinik für Orthopädie; Maria-Hilf-Krankenhaus Daun).

Intraoperativ erfolgt am gebeugten Femur nach dem initialen Hautschnitt und der Präparation des Gelenkes die Eröffnung des Markraums in axialer Richtung mittels Pfriemen und Bohrern. Anschließend wird die intramedulläre Ausrichtungsstange eingebracht. Diese stellt den femoralen Valguswinkel von 5-7° für den distalen femoralen Schnitt dar. In einem schrittweise orientierten Vorgehen erfolgt das Sägen der femoralen Knochenschnitte mithilfe eines Sägeblocks, wobei die Schnittebenen

der mechanischen Funktion des Kniegelenks und der Konfiguration der eingebrachten Prothese entsprechen. Die femorale Außenrotation beträgt i.d.R. 3° (Abb. 23). Tibial erfolgt mithilfe einer intra- oder extramedullären Ausrichtung die Resektion des Plateaus im 90° Winkel zur anatomischen Achse mit einer 0-7° Inklination nach dorsokaudal, dem sogenannten Slope (Abb. 23). Schließlich wird mit Komponentenproben der Prothesensitz überprüft und die tibiale sowie femorale Komponente nach Unterflächenzementierung am knöchernen Interface befestigt. Da die Registerdaten eine erhöhte Lockerungsrate bei nicht zementierten Prothesen zeigten, werden Knieprothesen zunehmend zementiert implantiert (Abb. 24). Der hierfür verwendete Knochenzement aus Polymethylmethacrylat (PMMA) wird unter Vakuum angerührt und nach Hochdruckspülung des Knochens zur Eröffnung der Spongiosa auf sowohl die Prothesenunterfläche als auch die Knochenoberfläche appliziert. Bei einem Patellarückflächenersatz wird die Patella zugerichtet und die Gelenkfläche mit einem zementierten Polyethylen- oder Titanimplantat ersetzt. Im Verlauf der letzten Jahre zeigte sich der Anteil des Patellarückflächenersatzes deutlich rückläufig; von 20 % im Jahr 1995 auf 2 % in 2014 laut Daten des *Swedish Knee Arthroplasty Register*. Nach Blutstillung und Kontrolle auf Trockenheit, ist der schichtweise Wundverschluss nach Spülung der Komponente möglich [47, 46, 48-50].

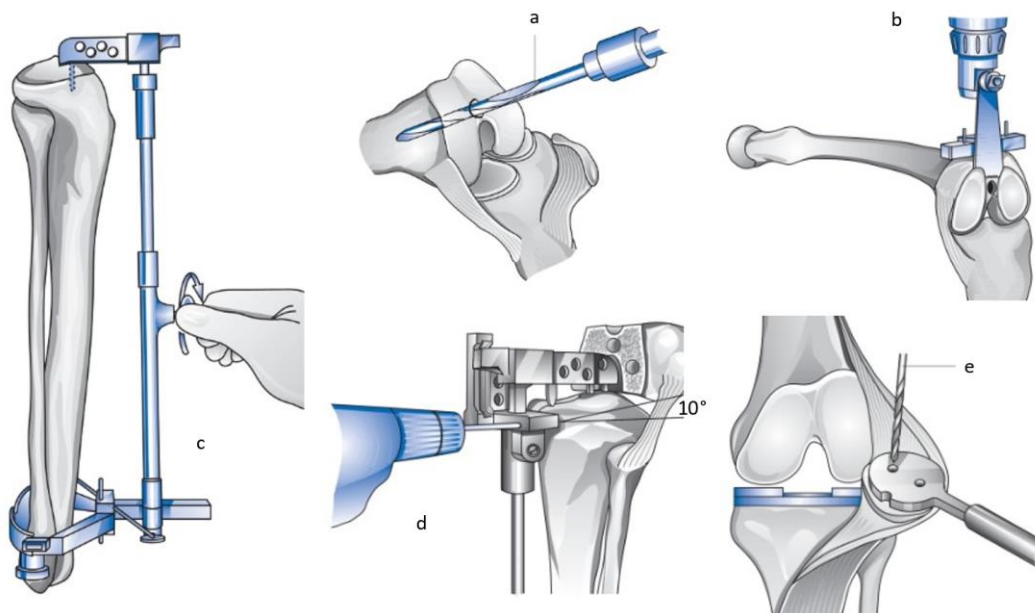


Abbildung 23: Die grundlegenden Bohrungen und Schnitte der Implantation einer bikondylären Knieendoprothese ggf. mit Patellarückflächenersatz. a- femorale Markraumeröffnung, b- Resektion der Femurkondylen, c- extramedulläre tibiale Ausrichtung, d- Einrichtung der tibialen Schnittebene: Tiefe und Slope, e- Präparation des Patellarückflächenersatzes [52].

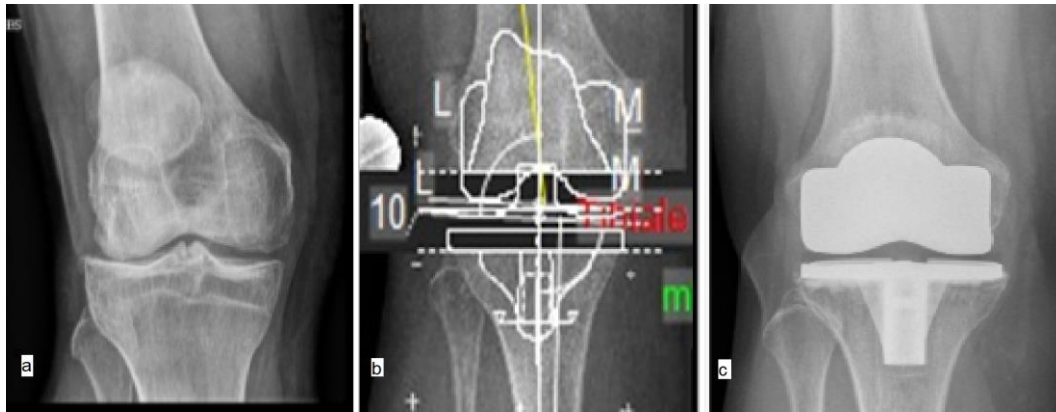


Abbildung 24: Pangenarthrose eines linken Kniegelenkes: a- Präoperative a.-p. Röntgenaufnahme; b- Digitale Implantatplanung; c- Postoperative a.-p. Aufnahme nach Implantation eines Kniegelenksersatzes (freundliche Genehmigung der Klinik für Orthopädie; Maria-Hilf-Krankenhaus Daun).

1.6.2 Nachbehandlung, Zufriedenheit und Komplikationen

Bei ausbleibendem Erfolg einer vorangegangenen konservativen Therapie bietet die Kniegelenksendoprothese, Dank der Wiederherstellung der Beweglichkeit des Kniegelenkes, eine vielversprechende und erfolgreiche Behandlungsoption. Die zunehmend durchgeführte Zementierung der Prothesenunterfläche ermöglicht postoperativ eine sofortige Vollbelastung der Patienten, wobei jedoch die täglichen beruflichen oder sportlichen Aktivitäten angepasst werden sollten. Dazu benötigen die Patienten zu den entsprechenden Verhaltensweisen und dem Umgang sowie zum gesamten Therapiekonzept prä- und perioperativ eine ausführliche Aufklärung. Regelmäßige klinische und radiologische Kontrolluntersuchungen lassen zudem etwaige Komplikationen der Prothesenversorgung frühzeitig erkennen [51, 47, 4, 49]. Zahlreiche Studien haben sich mit der Zufriedenheit der Patienten nach Implantation einer Kniegelenksendoprothese befasst. Die postoperative Zeitspanne in der Literatur liegt zwischen 6 Monaten und 15 Jahren und zeigt eine durchschnittliche Unzufriedenheitsrate von 5 bis 10 %, welche vereinzelt mit bis zu 20 % beziffert wurde [51, 46, 53]. Die Metaanalyse von Duivenvoorden et al. prüfte 6802 Studien, und zeigte, dass die Zufriedenheit der Patienten nach dem endoprothetischen Eingriff stark von deren präoperativer Erwartung beeinflusst war, deren durchschnittlich ermittelte Patientenunzufriedenheit lag bei 5 bis 10 % [54]. Auf internationaler Ebene sind sehr gute Langzeitergebnisse mit einer Überlebensrate der Knieprothese zwischen 90 % und nahezu 100 % nach 10 Jahren beschrieben, auch die 15-Jahres-Überlebensrate tangiert die 95%-Marke in aktuellen

Studien. Daten der größten Endoprothesenstudie der Welt, welche 34000 Fälle zählte, zeigten im Swedish Knee Register 7 Jahre postoperativ Überlebensraten von 97,5 % bei nicht gekoppelten bikondylären primären Knieprothesen. Die 10-Jahres-Überlebensraten laut Daten des gleichen Registers betrug 96 % [51, 46, 49, 50]. In Deutschland zeigte der Jahresbericht des EPRD eine 6-Jahres-Überlebensrate von 96 % für das gleiche Prothesenmodell, wobei unikondyläre Prothesen und größere Prothesenmodelle (achsgeführte Prothesen und Varus-Valgus stabilisierte Prothesen) höhere Ausfallwahrscheinlichkeiten zeigten [5].

Trotz der beeindruckenden Erfolge der K-TEP bleiben prä-, peri- und postoperative Komplikationen nicht aus, welche als Früh- oder Spätkomplikationen nach dem operativen Eingriff auftreten und zu zahlreichen Revisionseingriffen führen. Im Jahr 2020 wurden 13767 Folgeeingriffe am Kniegelenk im EPRD registriert, wovon jeder zweite Eingriff einen Komplettwechsel der Knieprothese darstellte. 23,4 % der Wechseloperationen erfolgten als Folge einer Prothesenlockerung (septisch und aseptisch) und 14,9 % aufgrund von Infektionen. Die Komplikationen nach K-TEP sowie die häufigsten Ursachen der Revisionsendoprothetik sind in der Tabelle 3 mit deren entsprechender Häufigkeit aufgeführt [46, 48, 7, 5, 43].

Komplikation	Häufigkeit (%) der Eingriffe
Intra- und postoperative periprothetische Fraktur femoral	0,3 – 2,5 % der Eingriffe
Intra- und postoperative periprothetische Fraktur tibial	0,4 – 1,7 % der Eingriffe
Nervenverletzung	0,3 – 1,3 % der Eingriffe
Gefäßverletzung bzw. Verletzung der A. poplitea	0,03 – 0,05 %
Aseptische Lockerung nach 12 Jahren	2 %
Periprothetische Infektion (früh < 4 Wochen postoperativ; spät > 4 Wochen postoperativ)	0,9 % ohne Risikofaktoren
	2 % bei rheumatoider Arthritis
	3 % bei mehr als 2 Voroperationen
	5 % bei immunsupprimierten Patienten
Komplikation	Häufigkeit (%) der Revisionsindikation
Fehlausrichtung/Fehlrotation der Prothese	12 %
Instabilität (femoral oder tibial)	21 %
Bewegungseinschränkungen bzw. Arthrofibrose	15 %

Tabelle 3: Komplikationen der K-TEP sowie die häufigsten Ursachen einer Revisionsendoprothetik [48].

Trotz der niedrigen Komplikationsrate des operativen Eingriffs, kann eine Beeinträchtigung der Lebensqualität, insbesondere bei jüngeren Patienten, als schwere Folge resultieren, welche immer bedacht werden muss. Jene kann mittels ausführlicher Aufklärung im Rahmen der präoperativen Vorbereitung sowie der rechtfertigenden Indikation teilweise beseitigt werden [51, 46, 54].

1.7 Fragestellung und Zielsetzung

Die Auswirkungen der „idealisierten“ Achskorrektur auf das Kniegelenk selbst in seiner Beweglichkeit und Stabilität sowie auf die Patientenzufriedenheit sind derzeit unklar. Rund 20 % der Patienten bleiben nach optimaler Positionierung der Prothese nach o. g. Gesichtspunkten weiterhin unzufrieden [55].

Ebenfalls existieren nach Korrektur der Beinachse keine ausreichenden Daten bezüglich einer radiologischen oder klinischen Veränderung mit Mehr- oder Fehlbelastung der angrenzenden Gelenke (Hüftgelenk, oberes Sprunggelenk) und daraus resultierenden Schmerzen und Einschränkung der Beweglichkeit im postoperativen Zeitverlauf [56, 57].

Daher zielte die vorliegende Arbeit darauf ab, folgende Fragen zu beantworten:

Eine nach Standard eingebaute konventionelle K-TEP mit 6° femoralem Valgus führt zu:

1. einer Reproduktion der physiologischen mechanischen Beinachse?
2. einer radiologisch nachweisbaren Auswirkung auf die angrenzenden Gelenke?
3. einer Verbesserung des klinischen Outcomes im Drei-Jahres-Verlauf?

Um die genannten Hypothesen zu untersuchen, wurden die K-TEP standardmäßig mit einem Valguswinkel von 6° implantiert, um somit die Auswirkungen dieses optimalen „Alignments“ auf das postoperative Outcome aufzuzeigen.

Zur Konkretisierung des Zusammenhangs dienen Alter, Geschlecht, BMI, klinische Scores (KSS, EFAS) sowie radiologisch definierte Gelenkwinkel (mLPFA, mL DFA, mMPTA, mLDTA) als unabhängige Parameter.

Anzumerken ist, dass trotz der präoperativ individuell unterschiedlichen Ausgangssituationen bzw. Beinachsen unsererseits bei standardisiertem operativem Verfahren gleiche postoperative Ergebnisse erwartet werden.

Die Abläufe der Arbeit und die Arbeitshypothesen sind in folgender Abbildung dargestellt:

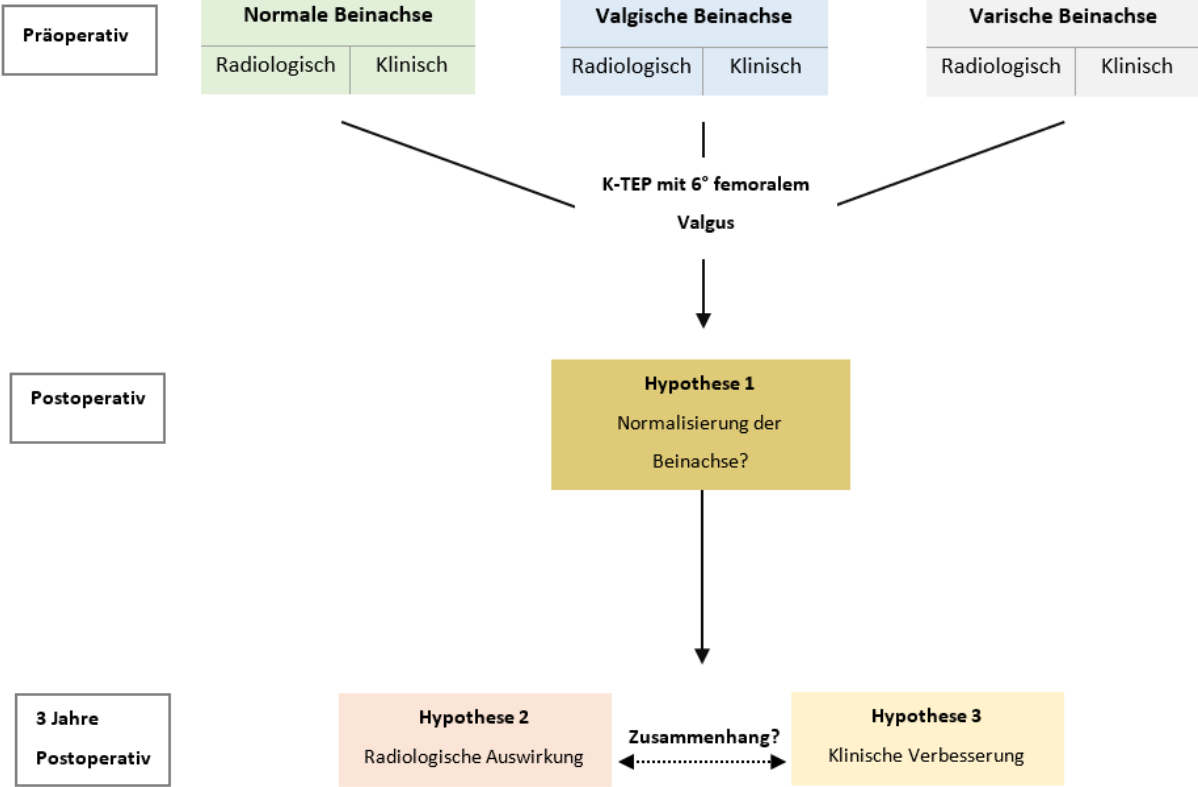


Abbildung 25: Graphische Abbildung der Arbeitsabläufe und -hypothesen.

2 MATERIAL UND METHODEN

Wir führten unsere Studie in der Abteilung für Orthopädie des Maria-Hilf-Krankenhauses in Daun (RLP) durch, welches jährlich rund 10.000 stationäre Patienten versorgt und über 60 Planbetten für die orthopädische Abteilung verfügt. Unsere Patientenkohorte enthielt initial 228 Patienten. Diese wurden nach Durchführung eines Malalignment-Tests anhand der mL DFA in drei Gruppen eingeteilt: Varus- ($> 89^\circ$), Valgus- ($< 85^\circ$) und normale ($85-89^\circ$) Beinachse. Radiologische Kontrollen erfolgten zu drei verschiedenen Zeitpunkten: präoperativ, direkt postoperativ und 3 Jahre nach Prothesenimplantation. Die klinischen Parameter wurden präoperativ sowie 3 Jahre postoperativ erhoben.

2.1 Studiengenehmigung

Diese Studie wurde gemäß den Grundsätzen der Deklaration von Helsinki durchgeführt und hat das positive Votum der zuständigen Ethikkommission erhalten (Ethikkommission II der Universität Heidelberg, Medizinische Fakultät Mannheim, 2020-825-AF 11). Die Daten dieser Studie stammen ausschließlich aus der Klinik für Orthopädie des Maria-Hilf-Krankenhauses Daun (RLP).

2.2 Datenerfassung (Material)

2.2.1 Patientenkollektiv

Es wurden die Daten aller Patienten, die zwischen Januar 2016 und März 2017 in der o.g. Abteilung eine konventionelle bikondyläre Kniegelenksoberflächenersatzprothese mit 6° femoralem Valgus bei bestehender primärer Arthrose (Stadium Kellgren und Lawrence Grad III / IV) erhielten, retrospektiv erfasst ($n=228$).

Patienten mit den folgenden ICD-Kodierungen (International statistical Classification of Diseases and related health problems) wurden eingeschlossen:

- M17.0 Primäre Gonarthrose, beidseitig.
- M17.1 Sonstige primäre Gonarthrose, inkl. primäre Gonarthrose einseitig und o.n.A. (ohne nähere Angaben).
- M17.9 Gonarthrose, nicht näher bezeichnet.

Posttraumatische (M17.2, M17.3) und sekundäre (M17.4, M17.5) Gonarthrosen wurden ausgeschlossen.

Von den 228 initial erfassten Patienten, wurden 194 Patienten in die Datenauswertung eingeschlossen. Ausgeschlossen wurden 5 Patienten mit sekundärer Gonarthrose, 12 Patienten, welche nicht zur Nachuntersuchung erschienen, sowie 17 Patienten mit vorhandener ipsilateraler Hüftgelenksendoprothese. Die verbliebene Patientenkohorte (n=194) wurde anhand ihrer präoperativen Beinachse in drei Gruppen unterteilt: 30 mit valgischer Beinachse (VL), 72 mit varischer Beinachse (VR) und 92 mit normaler Beinachse (NL).

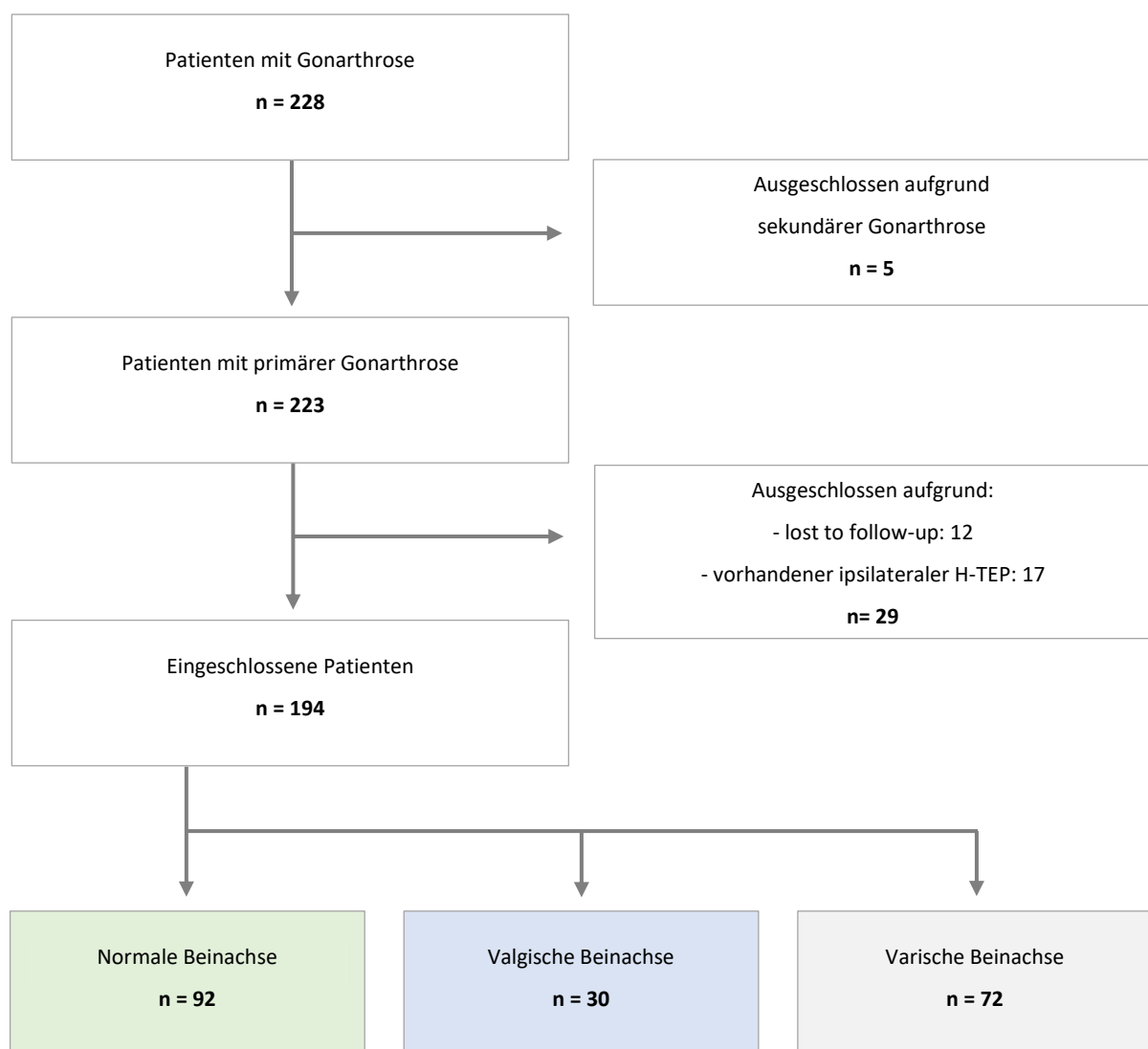


Abbildung 26: Patientenkollektiv

2.2.2 Erfasste patientenbezogene Parameter

Neben den demographischen Parametern wie Alter, Geschlecht, und BMI wurden die klinischen Scores KSS (Knee Society Score) und EFAS-Score (European Foot and Ankle Society Score) miterfasst. Diese werden in nachfolgenden Abschnitten eruiert.

2.2.2.1 Knee Society Score (KSS)

Der Knee Society Score-Fragebogen wird sowohl vom Arzt als auch vom Patienten prä- und postoperativ ausgefüllt. Er enthält eine anfängliche Bewertung der demographischen Details sowie eine visuelle Analogskala (VAS) für Schmerzen beim Gehen auf ebenem Boden, Treppensteigen oder bei Steigungen. Zusätzlich wird die Beinausrichtung, die Bandstabilität und das Bewegungsausmaß bzw. ROM (Range of Motion) bewertet. Abzüge erfolgen bei bestehenden Flexions- oder Extensionsdefiziten. Die Patienten dokumentieren anschließend ihre prä- und postoperative Zufriedenheit, die Schwere ihrer Symptome, ihre Erwartungen und ihre funktionellen Aktivitäten [58]. Dieser Teil des Scores gilt als *patient-reported outcome measures* (PROMs), jedoch ohne den gesamten Score als PROM zu definieren [59]. Die deutsche Übersetzung wurde in Zusammenarbeit mit der PETER BREHM GmbH erstellt und im Jahr 2011 veröffentlicht [60, 61]. Culliton et al. validierten in 2018 die von den Patienten ausgefüllten Teilskalen des KSS und deren Ergebnisbewertung nach K-TEP. Hierbei füllten Patienten neben dem KSS, den Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), den SF-12, zwei unabhängige Fragen zu den Erwartungen an die Operation und den Patient Acceptable Symptom State (PASS) aus. Die Gültigkeit des KSS wurde anschließend statistisch bewiesen. Somit waren die von den Patienten berichteten Teilskalen (PROMs) des KSS eine valide und konsistente Ergebnisbewertung für die K-TEP [62]. Die verschiedenen objektiven und subjektiven Teilskalen des KSS wurden in der vorliegenden Arbeit in 8 Subgruppen unterteilt und in Tabelle 4 abgebildet.

Objektive Parameter	Subjektive Parameter (PROMs)
BA- Beinachse	SP- Symptome
ML- Mediolaterale Instabilität in Streckung	PZ- Patientenzufriedenheit
AP- Anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung	ER- Erwartungen
BS- Bewegungsausmaß	AK- Aktivität

Tabelle 4: Objektive und subjektive Parameter des KSS.

2.2.2.2 EFAS (European Foot and Ankle Society)-Score

Der EFAS-Score dient zur Beurteilung der Aktivitätseinschränkung, Schmerzsymptomatik und Gangveränderung im Alltag und bei sportlicher Betätigung aufgrund von Fuß- und Sprunggelenksbeschwerden. Der EFAS-Score wurde international anerkannt und von der EFAS in 76 Sprachen, darunter Deutsch, unter https://www.efas.net/portals/0/downloads/efas_score/efas-score-german.pdf lizenzfrei im Jahre 2018 veröffentlicht [63]. Krüger et al. resümierten in 2022, dass der EFAS-Score in Bezug auf Zuverlässigkeit und Validität gute bis ausgezeichnete psychomotorische Werte zeigte. Eine Veränderung des EFAS-Scores von 7 Punkten oder mehr in Längsschnittuntersuchungen ist klinisch hoch relevant. Der Score korrelierte somit gut mit dem Manchester-Oxford Foot Questionnaire (MOxFAQ) und dem Foot and Ankle Outcome Score (FAOS) [64]. Der verwendete präoperative EFAS-Score wurde bei der Nachuntersuchung und mithilfe der Patientenakten sowie Einwilligung und Bestätigung der Patienten nachträglich berechnet.

2.2.2.3 Radiologische Parameter

Die Bestimmung der Beinachse ist nach K-TEP-Implantation ausschließlich an einer Ganzbeinaufnahme valide durchführbar. Im Rahmen der Routineuntersuchung und Standardnachbehandlung wurden Röntgenaufnahmen zu verschiedenen Zeitpunkten durchgeführt: präoperativ, direkt postoperativ, und 3 Jahre postoperativ. Diese Vorgehensweise entspricht der standardisierten klinisch-radiologischen Routineuntersuchung der Klinik, sodass keine studienbedingten gesonderten Röntgenuntersuchungen erfolgen mussten. Die Ausmessung der analysierten Gelenkwinkel mLPFA, mL DFA, mMPTA und mLDTA erfolgte durch den gleichen Untersucher mit Hilfe einer Knie-2D-Planungssoftware der *medCAD*® [65, 66]. Die Reproduzierbarkeit und Genauigkeit dieser Untersuchung wurde in Arbeiten der Universität Hannover in 2005 und der Universität Ulm in 2013 bereits nachgewiesen [67, 68].

2.3 Datenauswertung (Methoden)

Zur Beantwortung der Studienfrage, ob eine konventionell nach Standard eingebaute K-TEP mit 6° femoralem Valgus die physiologische mechanische Beinachse erhält und somit die angrenzenden Gelenke und das klinische Outcome beeinflusst,

wurden die ermittelten Daten zusammengeführt und mittels *SAS-Software Release 9.4* (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) ausgewertet. Die Auswahl einer nicht-interventionellen Studie zeigte sich als sinnvoll, da eine unbeeinflusste Datenerhebung mit Beschreibung eines möglichen statistischen Zusammenhangs zwischen dem operativen Vorgehen und der klinischen Situation der Patienten stattfand. Zu Beginn der Arbeit wurde ein Malalignment-Test durchgeführt. Bei ausschließlich femoral bedingten Veränderungen wurden anhand des mL DFA die drei Patientenkategorien erstellt: Varus- ($>89^\circ$), Valgus- ($<85^\circ$) und normal ($85-89^\circ$). Zunächst erfolgte eine deskriptive Analyse der demographischen Parameter, um eine Normalverteilung zu prüfen. Anschließend wurde eine deskriptive Beschreibung an unterschiedlichen Zeitpunkten (präoperativ, direkt postoperativ und 3 Jahre postoperativ) sowie ein Vergleich der radiologischen und klinischen Parameter durchgeführt. Mittels einer Korrelationsanalyse sollte gezeigt werden, ob Zusammenhänge zwischen den ausgewählten quantitativen Einflussvariablen (radiologische Parameter) und den klinischen Parametern bestehen. Im Anschluss wurde eine multiple Regressionsanalyse durchgeführt, um mehrere Einflussvariablen simultan auszuwerten. Mit dieser Technik lässt sich nachweisen, welche Einflussparameter mit dem klinischen Outcome assoziiert sind, und wie die Einflussgrößen untereinander korrelieren.

Grundlage für die Datenerfassung waren Ambulanz-, Aufnahme- und Entlassungsbriefe sowie OP-Berichte. Ebenfalls wurden durchgeführte Röntgenbilder sowie von Patienten ausgefüllte Fragebögen ausgewertet. Alle Daten wurden in eine entsprechend vorbereitete Excel-Tabelle eingetragen. Die Tabelle diente als Grundlage für alle Auswertungen. Ein p-Wert $<0,05$ wurde bei allen statistischen Tests als statistisch signifikant angesehen. Die Übersicht und der Verlauf der Arbeit werden in Abb. 27 vorgezeigt.

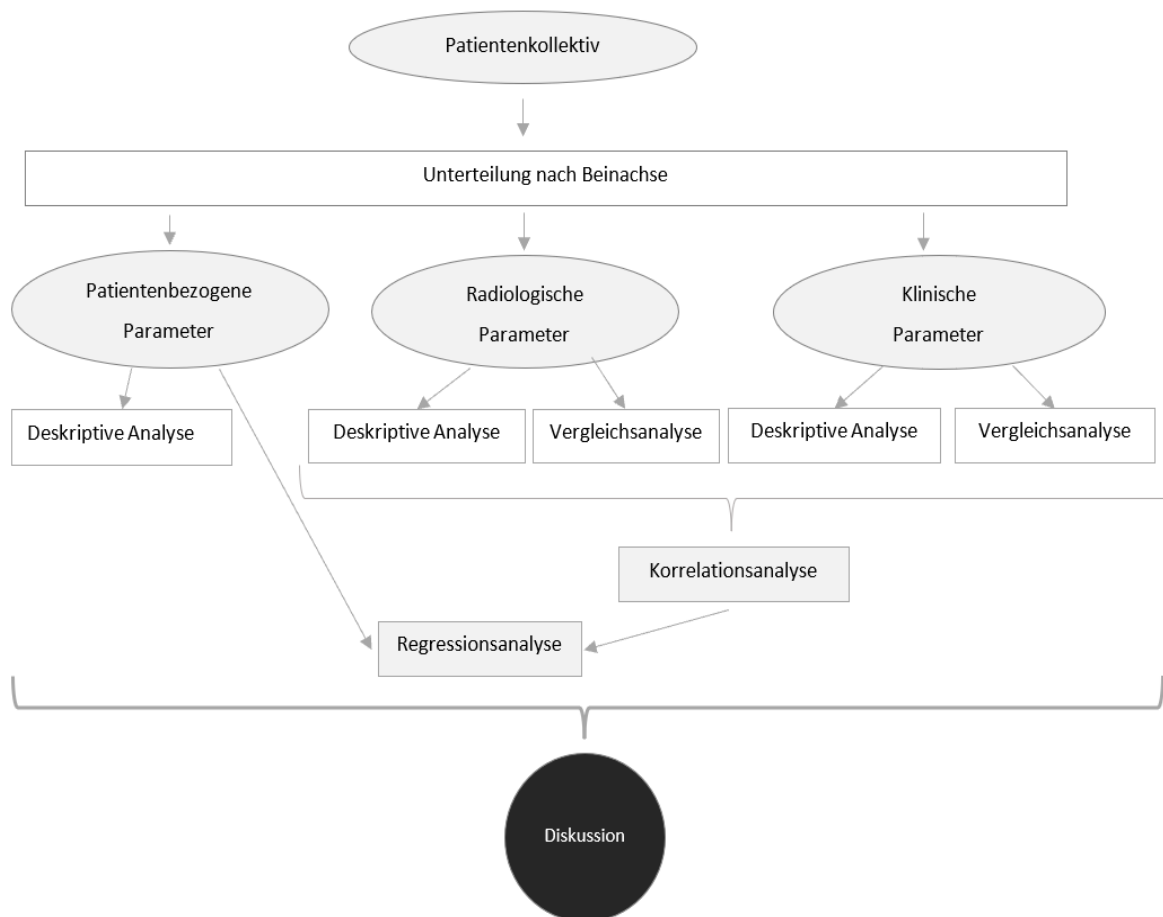


Abbildung 27: Verlauf der vorliegenden Arbeit

2.3.1 Deskriptive Analyse

Zur Beschreibung der Patientenkollektive wurden folgende Angaben berechnet:

- Qualitative Daten wurden durch ihre absoluten und relativen Häufigkeiten beschrieben.
- Quantitative annähernd normalverteilte Parameter wurden durch Mittelwerte und Standardabweichungen dargestellt. Für nicht-normalverteilte Daten wurden Median, Minimum und Maximum angegeben.

2.3.2 Prä- vs. Post-OP Analyse

Hier wurde die Differenz zwischen den prä- und postoperativen Ergebnissen gebildet und mittels Shapiro-Wilk Test auf Normalverteilung geprüft. Die Mittelwerte zweier gepaarter Untergruppen wurden durch gepaarte t-Tests bei normalverteilten Differenzen oder den Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bei nicht-normalverteilten Differenzen verglichen [69, 70].

2.3.3 Korrelationsanalyse

Mittels der durchgeführten Korrelationsanalyse lässt sich ein Zusammenhang zwischen zwei quantitativen Merkmalen identifizieren. Zunächst wurden die statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen den radiologischen und klinischen Differenzen aufgezeigt und anschließend in multiplen Regressionsanalysen weiter untersucht.

Als Voraussetzungen für eine Korrelationsanalyse gilt, dass die beiden zu untersuchenden Merkmale quantitativ sind und dass der Zusammenhang annähernd linear ist. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson gilt als Maß der linearen Abhängigkeit zweier untersuchter Merkmale und berechnet sich aus der Kovarianz sowie der Standardabweichung (SD) der Merkmale ($x = \text{Merkmal 1}$, $y = \text{Merkmal 2}$). Der Korrelationskoeffizient nach Pearson (Sp-K) kann Werte zwischen -1 und +1 annehmen, wobei ein positiver Wert für einen gleichsinnigen Zusammenhang und ein negativer Wert für einen gegensinnigen Zusammenhang der Merkmale spricht. Für einen Wert nahe bei 0 gilt, dass kein linearer Zusammenhang nachweisbar ist. Der t-Wert, der einer t-Verteilung folgt, wird auf die Signifikanz überprüft. Dabei muss der t-Wert größer als der kritische Wert einer t-Verteilung mit einem Signifikanzniveau $\alpha/2$ und $n-2$ Freiheitsgraden sein. Liegt ein signifikanter Unterschied vor, kann daraus geschlossen werden, dass ein Zusammenhang zwischen den beiden getesteten Variablen vorliegt – mit der gewählten Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($p < 0,05$). Eine Aussage über die Kausalität des Zusammenhangs ist mit einer Korrelationsanalyse nicht möglich [71, 72].

2.3.4 Regressionsanalyse

Die lineare Regressionsanalyse dient zur Beschreibung der Beziehung zwischen einer abhängigen Variable und einer oder mehreren unabhängigen Variablen. Dieses Verfahren wird bei der Beurteilung der Zusammenhänge zwischen einer oder mehreren unabhängigen Variablen und einer abhängigen binären Variablen verwendet. Je größer der lineare Zusammenhang zwischen der unabhängigen und der abhängigen Variablen ist, desto genauer ist die Vorhersage. Um eine Aussage über die Güte der ermittelten Gleichung treffen zu können, wird das Bestimmtheitsmaß R^2 bestimmt. R^2 kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen, wobei 1 für ein perfektes Modell und 0 für ein unbrauchbares Modell steht.

Die multiple Regressionsanalyse wird für mehrere unabhängige Variablen genutzt, welche nicht nur von einer, sondern von mehreren Faktoren beeinflusst wird, um die optimale Kombination von Prädiktoren zu finden, die die Zielvariable am besten beschreibt [73].

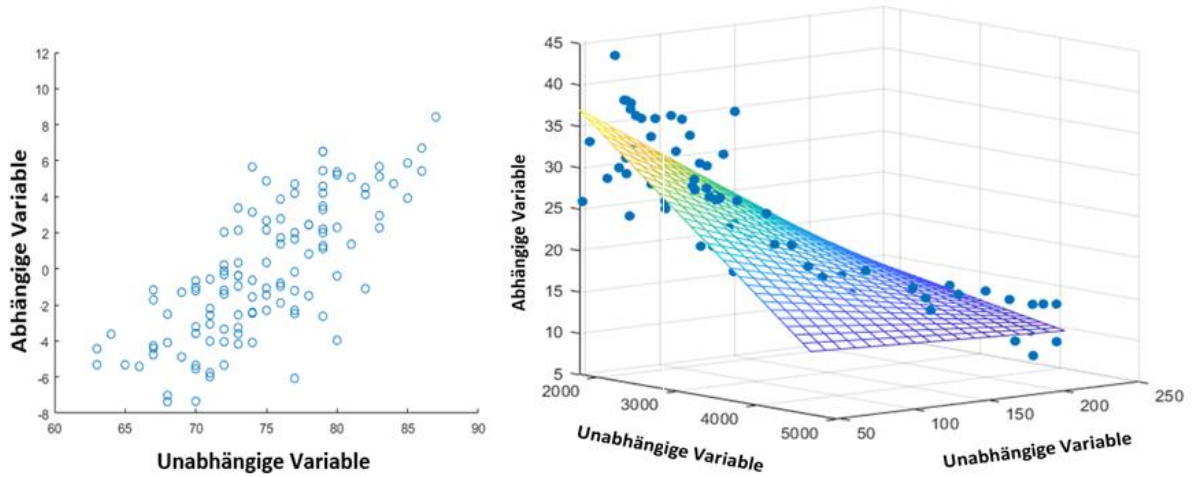


Abbildung 28: Regressionsanalyse zwischen einer abhängigen Variable und einer (links) oder mehreren (rechts) unabhängigen Variablen [63].

3 ERGEBNISSE

3.1 Deskriptive Analyse der patientenbezogenen Parameter

Entsprechend der erfassten Charakteristika werden im folgenden Abschnitt alle Variablen für das Patientenkollektiv beschrieben.

3.1.1 Alter

Der Alters-Mittelwert im Kollektiv der operierten Patienten lag bei $69,12 \pm 9,60$ Jahren. In Hinsicht auf die Beinachse ergab sich kein signifikanter Unterschied der Altersmittelwerte, diese lagen bei $68,95 \pm 9,48$ Jahren (NL- normale Beinachse), $67,53 \pm 8,99$ Jahren (VL- valgische Beinachse) und $70,01 \pm 10,03$ Jahren (VR- varische Beinachse).

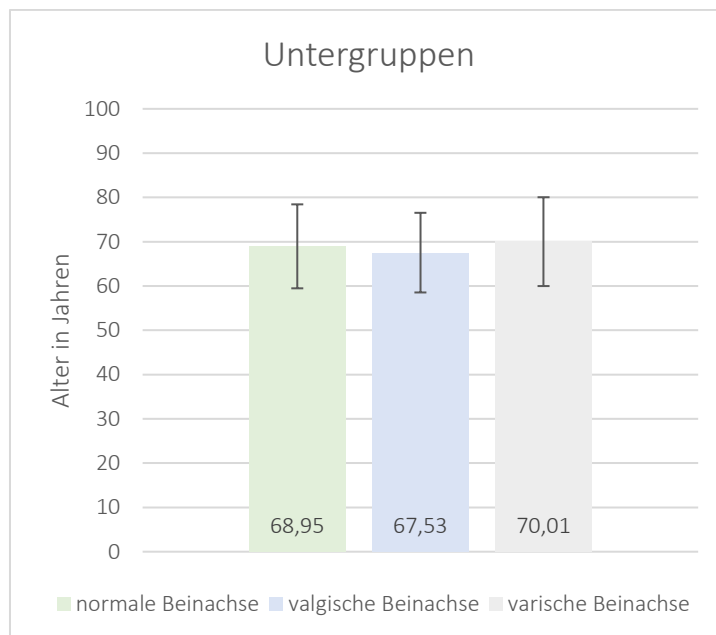


Abbildung 29: Altersverteilung des Patientenkollektivs in Jahren bezogen auf die 3 Untergruppen: normale Beinachse (NL), valgische Beinachse (VL), varische Beinachse (VR).

3.1.2 Geschlecht

Im gesamten Patientenkollektiv lag der Anteil der Frauen bei 64,95 % (126/194) und der Männer bei 35,05 % (68/194). Die Geschlechterverteilung spiegelte sich auch in den Untergruppen wider, wobei 65,22 % NL, 66,67 % VL und 63,89 % VR Frauen waren.

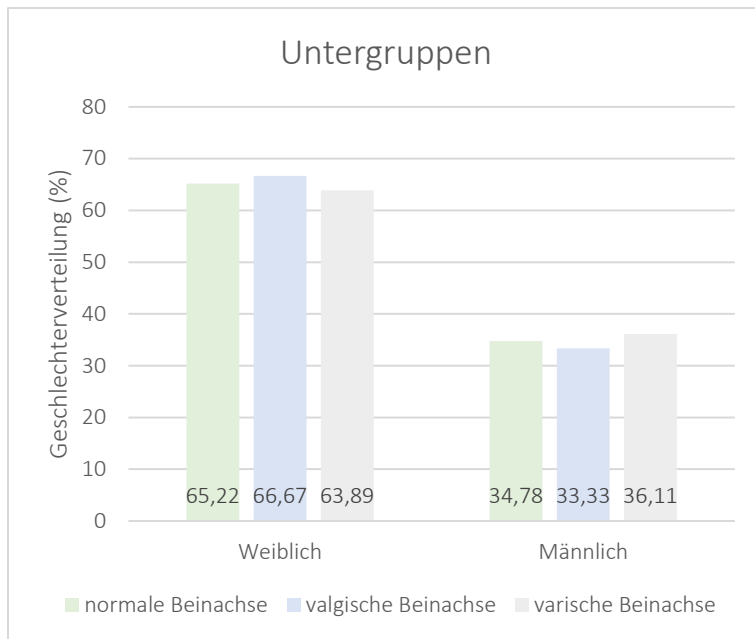


Abbildung 30: Geschlechterverteilung des Patientenkollektivs in Rücksicht auf die 3 Untergruppen: normale, valgische und varische Beinachse.

3.1.3 BMI

Der Mittelwert des BMI des untersuchten Patientenkollektivs lag bei $29,17 \pm 4,77 \text{ kg/m}^2$. Der Durchschnitt zeigte sich in den drei Untergruppen mit $29,10 \pm 4,51 \text{ kg/m}^2$ (NL), $28,46 \pm 4,98 \text{ kg/m}^2$ (VL) und $29,56 \pm 5,04 \text{ kg/m}^2$ (VR) vergleichbar.

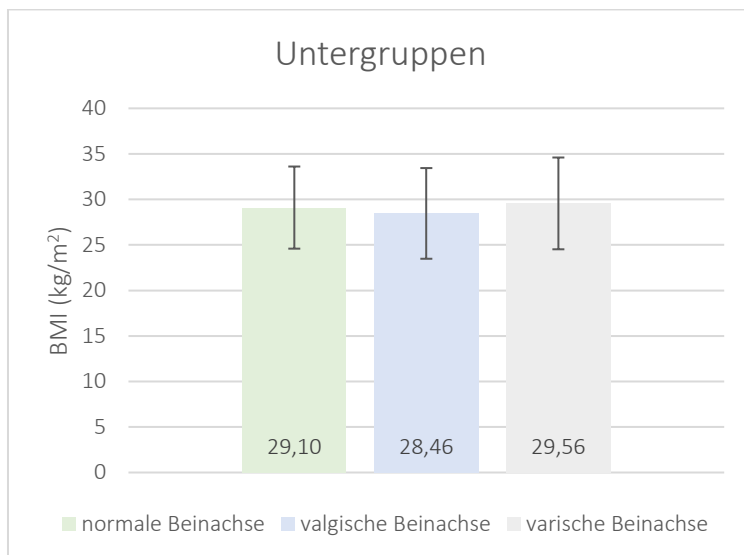


Abbildung 31: BMI-Verteilung des Patientenkollektivs in kg/m^2 in Rücksicht auf die 3 Untergruppen: normale, valgische und varische Beinachse.

Radiologische Parameter - Gelenkwinkel (mLPFA, mL DFA, mMPTA, mLDTA)

Entsprechend der erfassten Charakteristika werden im folgenden Abschnitt die radiologischen Parameter bzw. die gemessenen Gelenkwinkel mittels einer deskriptiven und einer Vergleichsanalyse analysiert.

3.1.4 Deskriptive Analyse

Die präoperativen, postoperativen und 3-Jahres-postoperativen Mittelwerte der Gelenkwinkel mLPFA (mechanical lateral proximal femoral angle), mL DFA (mechanical lateral distal femoral angle), mMPTA (mechanical medial proximal tibial angle) und mLDTA (mechanical lateral distal tibial angle) für die drei Untergruppen wurden in folgender Tabelle abgebildet (Tabelle 5).

Gelenkwinkel	Beinachse		
	Normal (n= 92)	Valgus (n= 30)	Varus (n= 72)
mLPFA präoperativ	87,05° ± 6,04°	84,92° ± 4,56°	86,22° ± 4,85°
mLPFA postoperativ	86,59° ± 6,21°	84,06° ± 4,29°	85,69° ± 5,38°
mLPFA 3 Jahre postoperativ	87,14° ± 6,38°	86,71° ± 5,73°	89,29° ± 5,68°
mL DFA präoperativ	87,43° ± 0,96°	83,12° ± 1,14°	90,81° ± 1,66°
mL DFA postoperativ	89,21° ± 1,87°	87,37° ± 2,49°	90,41° ± 2,39°
mL DFA 3 Jahre postoperativ	89,79° ± 2,81°	88,36° ± 3,37°	89,78° ± 2,60°
mMPTA präoperativ	86,80° ± 3,69°	87,84° ± 3,55°	86,81° ± 3,10°
mMPTA postoperativ	88,80° ± 1,83°	88,80° ± 2,02°	88,73° ± 1,97°
mMPTA 3 Jahre postoperativ	89,32° ± 2,22°	89,02° ± 2,34°	89,12° ± 2,30°
mLDTA präoperativ	86,14° ± 4,48°	84,09° ± 6,07°	86,89° ± 3,92°
mLDTA postoperativ	85,45° ± 4,96°	82,38° ± 5,65°	84,99° ± 4,88°
mLDTA 3 Jahre postoperativ	85,29° ± 6,18°	84,91° ± 6,86°	85,43° ± 6,71°

Tabelle 5: Mittelwerte mit Standardabweichung der Gelenkwinkel in den 3 Untergruppen an den 3 definierten Zeitpunkten. mLPFA (mechanical lateral proximal femoral angle), mL DFA (mechanical lateral distal femoral angle), mMPTA (mechanical medial proximal tibial angle) und mLDTA (mechanical lateral distal tibial angle).

Die Beurteilung der mechanischen Achsendeviation (mAD) zeigte primär eine femoral bedingte Achsenabweichung als Ursache der valgischen und varischen Deformität. In allen drei Patientengruppen waren die mMPTA Werte im Normbereich. Lediglich variierte der mL DFA zwischen < 85° und > 90°.

In der Zusammenfassung der kalkulierten Mittelwerte ergab sich eine postoperative Normalisierung der Beinachse in der VL-Gruppe mit einer Veränderung des mL DFA von $83,12^\circ \pm 1,14^\circ$ auf $87,37^\circ \pm 2,49^\circ$. In der NL-Gruppe bestand bei präoperativem Mittelwert von $87,43^\circ \pm 0,96^\circ$ ein Verbleib der Achse im Normbereich mit $89,21^\circ \pm 1,87^\circ$ postoperativ. Die VR-Gruppe mit einem präoperativen Mittelwert von $90,81^\circ \pm 1,66^\circ$ zeigte direkt postoperativ mit $90,41^\circ \pm 2,39^\circ$ eine weiterhin bestehende varische Beinachse. Diese glich sich 3 Jahre postoperativ mit $89,78^\circ \pm 2,60^\circ$ dem mL DFA der normalen Beinachse von $89,79^\circ \pm 2,81^\circ$ an. Die verschiedenen einzelnen Veränderungen werden im nachfolgenden Abschnitt auf statistische Signifikanz geprüft.

3.1.5 Vergleichsanalyse

Δ -Gelenkwinkel	Beinachse					
	Normal (n= 92)		Valgus (n= 30)		Varus (n= 72)	
	Mittelwert	p	Mittelwert	p	Mittelwert	p
Δ -mLPFA (Prä / Post)	$-0,46^\circ \pm 3,81^\circ$	0,1690	$-0,86^\circ \pm 3,24^\circ$	0,1572	$-0,52^\circ \pm 3,03^\circ$	0,1421
Δ -mLPFA (Post / 3-J-post)	$0,54^\circ \pm 7,24^\circ$	0,4751	$2,65^\circ \pm 6,92^\circ$	0,0453	$3,61^\circ \pm 6,50^\circ$	<0,0001
Δ -mLPFA (Prä / 3-J-post)	$0,08^\circ \pm 7,48^\circ$	0,9172	$1,79^\circ \pm 7,33^\circ$	0,1910	$3,08^\circ \pm 6,17^\circ$	<0,0001
Δ -mL DFA (Prä / Post)	$1,78^\circ \pm 1,96^\circ$	<0,0001	$4,25^\circ \pm 2,70^\circ$	<0,0001	$-0,40^\circ \pm 2,56^\circ$	0,5920
Δ -mL DFA (Post / 3-J-Post)	$0,58^\circ \pm 2,71^\circ$	0,0424	$0,99^\circ \pm 3,01^\circ$	0,1111	$-0,63^\circ \pm 3,43^\circ$	0,1232
Δ -mL DFA (Prä / 3-J-Post)	$2,36^\circ \pm 2,89^\circ$	<0,0001	$5,24^\circ \pm 3,19^\circ$	<0,0001	$-1,03^\circ \pm 2,84^\circ$	0,0029
Δ -mMPTA (Prä / Post)	$1,99^\circ \pm 3,72^\circ$	<0,0001	$0,96^\circ \pm 2,68^\circ$	0,0582	$1,92^\circ \pm 3,23^\circ$	<0,0001
Δ -mMPTA (Post / 3-J-Post)	$0,52^\circ \pm 2,87^\circ$	0,0850	$0,22^\circ \pm 2,74^\circ$	0,6634	$0,39^\circ \pm 2,70^\circ$	0,2264
Δ -mMPTA (Prä / 3-J-Post)	$2,51^\circ \pm 4,55^\circ$	<0,0001	$1,18^\circ \pm 3,96^\circ$	0,1123	$2,30^\circ \pm 4,16^\circ$	<0,0001
Δ -mLDTA (Prä / Post)	$-0,69^\circ \pm 3,45^\circ$	0,0593	$-1,71^\circ \pm 3,21^\circ$	0,0071	$-1,90^\circ \pm 3,10^\circ$	<0,0001
Δ -mLDTA (Post / 3-J-Post)	$-0,16^\circ \pm 6,81^\circ$	0,7274	$2,54^\circ \pm 8,22^\circ$	0,1022	$0,43^\circ \pm 6,68^\circ$	0,5842
Δ -mLDTA (Prä / 3-J-Post)	$-0,85^\circ \pm 7,52^\circ$	0,2822	$0,82^\circ \pm 8,72^\circ$	0,6091	$-1,46^\circ \pm 6,67^\circ$	0,0671

Tabelle 6: Vergleichsanalyse der Mittelwerte mit Standardabweichung der an drei Zeitpunkten- präoperativ (Prä), postoperativ (Post) und 3 Jahre postoperativ (3-J-Post), gemessenen Gelenkwinkel in den drei Untergruppen: Normal, Valgus und Varus. Der Vergleich (Δ) wurde zwischen den postoperativen und präoperativen, 3-Jahres-postoperativen und postoperativen sowie 3-Jahres-postoperativen und präoperativen Werten der folgenden Gelenkwinkel kalkuliert: mL PFA (mechanical lateral proximal femoral angle), mL DFA (mechanical lateral distal femoral angle), mMPTA (mechanical medial proximal tibial angle) und mLDTA (mechanical lateral distal tibial angle).

In der univariaten Analyse wurden die Parameter mL PFA, mL DFA, mMPTA und mLDTA der jeweiligen Beinachsen geprüft (Tabelle 6).

mLPFA

Die durchgeführte Vergleichsanalyse erbrachte keine signifikante postoperative Veränderung des mLPFA im Vergleich zu den präoperativ gemessenen Winkeln. Im Weiteren 3-Jahres-postoperativen Verlauf ergaben sich hinsichtlich des direkt postoperativ gemessenen mLPFA signifikante Winkeländerungen von $2,65^\circ \pm 6,92^\circ$ in der valgischen ($p = 0,0453$) sowie $3,61^\circ \pm 6,50^\circ$ in der varischen ($p < 0,0001$) Gruppe. Der Vergleich des 3-Jahres-postoperativen Winkels mit dem präoperativen Ausgangszustand zeigte lediglich in der varischen Gruppe eine statistisch signifikante Veränderung von $3,08^\circ \pm 6,17^\circ$ ($p < 0,0001$).

mLDFA

Im Vergleich des direkt postoperativen mit dem präoperativen mLDFA zeigten sich signifikante Winkeländerungen in der normalen ($1,78^\circ \pm 1,96^\circ$; $p < 0,0001$) sowie in der valgischen Untergruppe ($4,25^\circ \pm 2,70^\circ$; $p < 0,0001$). Im dreijährigen postoperativen Verlauf ergab sich lediglich in der NL-Gruppe eine weitere signifikante Veränderung von $0,58^\circ \pm 2,71^\circ$ ($p = 0,0424$). Der Vergleich der 3-Jahres-postoperativen Werte mit den präoperativen mLDFA-Werten erbrachte für alle Untergruppen signifikante Ergebnisse (NL: $2,36^\circ \pm 2,89^\circ$, $p < 0,0001$; VL: $5,24^\circ \pm 3,19^\circ$, $p < 0,0001$; VR: $-1,03^\circ \pm 2,84^\circ$, $p = 0,0029$).

mMPTA

Eine signifikante Veränderung des mMPTA konnte im Vergleich der direkt postoperativen zu den präoperativen Ausgangswerten für die normale ($1,99^\circ \pm 3,72^\circ$; $p < 0,0001$) sowie die varische ($1,92^\circ \pm 3,23^\circ$; $p < 0,0001$) Beinachse nachgewiesen werden. Für die valgische Untergruppe konnte mit einer Winkelveränderung von $0,96^\circ \pm 2,68^\circ$ ($p = 0,0582$) eine statistische Tendenz aufgezeigt werden. Der Vergleich zwischen den direkt postoperativ und 3 Jahre postoperativ gemessenen mMPTA-Werten erbrachte kein statistisch signifikantes Ergebnis: (NL: $0,52^\circ \pm 2,87^\circ$, $p = 0,0850$; VL: $0,22^\circ \pm 2,74^\circ$, $p = 0,6634$; VR: $0,39^\circ \pm 2,70^\circ$, $p = 0,2264$). In dem 3-Jahres-postoperativen Vergleich zeigte sich ebenso eine statistisch signifikante Veränderung der Winkel in der NL ($2,51^\circ \pm 4,55^\circ$; $p < 0,0001$) sowie VR-Gruppe ($2,30^\circ \pm 4,16^\circ$; $p < 0,0001$). Dies spiegelte sich in der VL-Gruppe nicht wider ($1,19^\circ \pm 3,96^\circ$; $p = 0,1123$).

mLDTA

Für die valgische ($-1,71^\circ \pm 3,21^\circ$; $p = 0,007$) und die varische Untergruppe ($-1,90^\circ \pm 3,10^\circ$; $p < 0,0001$) zeigte sich postoperativ eine signifikante Winkeländerung im Vergleich zu der präoperativen Ausgangssituation. Für die normale Beinachse ergab sich eine statistische Tendenz zur Signifikanz ($-0,69^\circ \pm 3,49^\circ$; $p = 0,059$).

Der Vergleich des 3-Jahres-postoperativen Wertes mit den direkt postoperativen (NL: $-0,85^\circ \pm 7,52^\circ$, $p = 0,2822$; VL: $0,82^\circ \pm 8,72^\circ$, $p = 0,6091$; VR: $-1,46^\circ \pm 6,67^\circ$, $p = 0,0671$) und präoperativen (NL: $-0,16^\circ \pm 6,81^\circ$, $p = 0,7274$; VL: $2,54^\circ \pm 8,22^\circ$, $p = 0,1022$; VR: $0,43^\circ \pm 6,68^\circ$, $p = 0,5842$) Winkeln erbrachte für keine der drei Gruppen ein statistisch signifikantes Ergebnis.

3.2 Klinische Parameter

3.2.1 KSS (Knee Society Score)

Die präoperativen und 3-Jahres-postoperativen Mittelwerte sowie Standardabweichungen des KSS für die drei Untergruppen wurden nachfolgend zusammengefasst. Diese wurden in Punkten gemessen. Zunächst erfolgte die deskriptive Analyse der KSS-Werte (Tabelle 7), um danach die Vergleichsanalyse (Tabelle 8) der Mittelwerte durchzuführen.

Deskriptive Analyse

KSS-Teilskala (Max. Score in Punkten)	Normale Beinachse (n = 92)		Valgische Beinachse (n = 30)		Varische Beinachse (n = 72)	
	Prä-OP (Punkte)	3-J-Post (Punkte)	Prä-OP (Punkte)	3-J-Post (Punkte)	Prä-OP (Punkte)	3-J-Post (Punkte)
BA (25)	18,37 ± 4,75	24,89 ± 1,04	17,67 ± 4,50	25,00 ± 0,00	18,19 ± 4,70	25,00 ± 0,00
ML (15)	10,76 ± 2,56	13,59 ± 2,26	10,00 ± 2,27	13,73 ± 2,16	10,63 ± 2,21	13,36 ± 2,35
AP (10)	8,70 ± 2,21	10,00 ± 0,00	9,33 ± 1,73	10,00 ± 0,00	9,10 ± 1,94	9,93 ± 0,59
BS (25)	11,01 ± 3,29	22,65 ± 2,90	11,47 ± 2,47	22,30 ± 2,96	10,69 ± 2,89	22,83 ± 2,94
SP (25)	17,15 ± 4,20	6,08 ± 3,01	17,83 ± 4,54	5,90 ± 2,01	18,82 ± 4,57	6,38 ± 2,91
PZ (40)	10,35 ± 8,01	34,23 ± 6,74	13,03 ± 8,79	33,33 ± 6,04	8,94 ± 7,91	32,67 ± 7,01
ER (15)	13,47 ± 3,43	9,23 ± 1,76	13,87 ± 2,90	9,23 ± 2,03	13,68 ± 3,21	9,22 ± 1,88
AK (100)	43,45 ± 13,84	77,27 ± 15,37	40,80 ± 16,12	79,83 ± 13,25	36,69 ± 12,01	72,89 ± 16,22
GT (255)	133,25 ± 16,65	197,93 ± 20,95	134 ± 17,82	199,33 ± 18,92	126,75 ± 15,24	192,28 ± 20,83

Tabelle 7: Deskriptive Analyse der KSS-Teilskala mit deren respektiven Standardabweichungen in Punkten in den drei Untergruppen an zwei Messzeiten: präoperativ (Prä) und 3 Jahre postoperativ (3-J-Post). Max. Score beschreibt den maximal erreichbaren Score in Punkten der Teilskalen: BA- Beinachse; ML- Mediolaterale Instabilität in Streckung; AP- Anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung; BS- Bewegungsausmaß; SP- Symptome; PZ- Patientenzufriedenheit; ER- Erwartungen; AK- Aktivität; GT- Gesamt.

BA (Beinachse)

Präoperativ zeigte sich die Beinachse klinisch in allen drei Untergruppen annähernd identisch (NL: 18,37 ± 4,75 Punkte, VL: 17,67 ± 4,50 Punkte und VR: 18,19 ± 4,70 Punkte). 3 Jahre postoperativ zeigte sich in allen drei Subgruppen eine nahezu wiederhergestellte neutrale Beinachse (NL: 24,89 ± 1,04 Punkte, VL: 25,00 ± 0,00 Punkte und VR: 25,00 ± 0,00 Punkte).

ML (Mediolaterale Instabilität in Streckung)

Die Kniegelenke zeigten präoperativ eine ähnliche Instabilität (NL: 10,76 ± 2,56 Punkte, VL: 10,00 ± 2,27 Punkte und VR: 10,63 ± 2,21 Punkte), die sich postoperativ

in gleichem Maße verbesserte (NL: $13,59 \pm 2,26$ Punkte, VL: $13,73 \pm 2,16$ Punkte und VR: $13,36 \pm 2,35$ Punkte). Ein ML-Wert von 15 definiert die maximale Stabilität des Kniegelenks.

AP (Anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung)

Ungeachtet der Beinachse zeigte sich eine Verbesserung der anteroposterioren Stabilität in 90° Beugung 3 Jahre nach Implantation der K-TEP (NL: von $8,70 \pm 2,21$ Punkten auf $10,00 \pm 0,00$ Punkte, VL: von $9,33 \pm 1,73$ Punkten auf $10,00 \pm 0,00$ Punkte und VR: von $9,10 \pm 1,94$ Punkten auf $9,93 \pm 0,59$ Punkte) Ein Wert von 10 beschreibt eine vollständige Stabilität.

BS (Bewegungsausmaß)

Der Score des Bewegungsausmaßes verdoppelte sich nach K-TEP-Einbau in allen drei Untergruppen (NL: von $11,01 \pm 3,29$ Punkten auf $22,65 \pm 2,90$ Punkte, VL: von $11,47 \pm 2,47$ Punkten auf $22,30 \pm 2,96$ Punkte und VR: von $10,69 \pm 2,89$ Punkten auf $22,83 \pm 2,94$ Punkte).

SP (Symptome)

Die präoperativ bestehenden Symptome konnten 3 Jahre postoperativ, unabhängig von der Ausgangsbeinachse, im gleichen Verhältnis gemindert werden (NL: von $17,15 \pm 4,20$ Punkten auf $6,08 \pm 3,01$ Punkte, VL: von $17,83 \pm 4,54$ Punkten auf $5,90 \pm 2,01$ Punkte und VR: von $18,82 \pm 4,57$ Punkten auf $6,38 \pm 2,91$ Punkte).

PZ (Patientenzufriedenheit)

Die Patienten zeigten 3 Jahre postoperativ eine deutlich höhere Zufriedenheit mit ihrem Kniegelenk (NL: von $10,35 \pm 8,01$ Punkten auf $34,23 \pm 6,74$ Punkte, VL: von $13,03 \pm 8,79$ Punkten auf $33,33 \pm 6,04$ Punkte und VR: von $8,94 \pm 7,91$ Punkten auf $32,67 \pm 7,01$ Punkte) bei einem maximal erreichbaren Wert von 40 Punkten.

ER (Erwartungen)

Die Patientenerwartung bezüglich der Schmerzlinderung und der Wiederherstellung der alltäglichen und sportlichen Aktivitäten konnte durch die Operation erfüllt, jedoch nicht übertroffen werden (NL: von $13,47 \pm 3,43$ Punkten auf $9,23 \pm 1,76$ Punkte, VL:

von $13,87 \pm 2,90$ Punkten auf $9,23 \pm 2,03$ Punkte und VR: von $13,68 \pm 3,21$ Punkten auf $9,22 \pm 1,88$ Punkte).

AK (Aktivität)

Die körperliche Aktivität konnte postoperativ sowohl in den Grund- als auch in den speziellen Aktivitäten für alle drei Gruppen verbessert werden. Insbesondere bei Patienten mit präoperativ valgischer oder varischer Achse konnte der Score verdoppelt werden (NL: von $43,45 \pm 13,84$ Punkten auf $77,27 \pm 15,37$ Punkte; VL: von $40,80 \pm 16,12$ Punkten auf $79,83 \pm 13,25$ Punkte; VR: von $36,69 \pm 12,01$ Punkten auf $72,89 \pm 16,22$ Punkte) bei einem Maximalwert von 100 Punkten.

GT (Gesamt)

Der gesamte KSS zeigte sich in allen drei Patientengruppen ähnlich (NL: $133,25 \pm 16,65$ Punkte; VL: $134 \pm 17,82$ Punkte; $126,75 \pm 15,24$ Punkte). Dieser besserte sich im ähnlichen Maße trotz einzelnen Ausnahmen in den Untergruppen 3 Jahre postoperativ (NL: $197,93 \pm 20,95$ Punkte; $199,33 \pm 18,92$ Punkte; $192,28 \pm 20,83$ Punkte).

Vergleichsanalyse

Die Vergleichsanalyse der KSS-Werte (Tabelle 8) zeigt den Unterschied zwischen den präoperativen und 3-Jahres-postoperativen Mittelwerten.

Δ-KSS-Teilskala (Prä / 3-J-Post)	Normale Beinachse (n = 92)		Valgische Beinachse (n = 30)		Varische Beinachse (n = 72)	
	Mittelwert (Punkte)	p-Wert	Mittelwert (Punkte)	p-Wert	Mittelwert (Punkte)	p-Wert
Δ-BA	6,52 ± 4,79	<0,0001	7,33 ± 4,50	<0,0001	6,81 ± 4,70	<0,0001
Δ-ML	2,83 ± 3,17	<0,0001	3,73 ± 3,30	<0,0001	2,74 ± 2,83	<0,0001
Δ-AP	1,30 ± 2,21	<0,0001	0,67 ± 1,73	0,1251	0,83 ± 1,88	0,0005
Δ-BS	11,64 ± 3,54	<0,0001	10,83 ± 3,68	<0,0001	12,14 ± 3,52	<0,0001
Δ-SP	-11,08 ± 5,93	<0,0001	-11,93 ± 5,1	<0,0001	-12,44 ± 6,05	<0,0001
Δ-PZ	23,88 ± 11,23	<0,0001	20,30 ± 11,59	<0,0001	23,72 ± 11,49	<0,0001
Δ-ER	-4,24 ± 4,33	<0,0001	-4,63 ± 3,61	<0,0001	-4,46 ± 4,30	<0,0001
Δ-AK	33,83 ± 18,56	<0,0001	39,03 ± 18,71	<0,0001	36,19 ± 18,35	<0,0001
Δ-GT	64,68 ± 23,03	<0,0001	65,33 ± 25,67	<0,0001	65,53 ± 22,45	<0,0001

Tabelle 8: Vergleichsanalyse der 3-Jahres-postoperativen und präoperativen Mittelwerte der KSS-Teilskala (Δ-KSS-Teilskala) mit deren Standardabweichungen (SD) in den 3 Untergruppen (NL- Normale Beinachse, VL- Valgische Beinachse, VR- Varische Beinachse): BA- Beinachse; ML- Mediolaterale Instabilität in Streckung; AP- Anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung; BS- Bewegungsausmaß; SP- Symptome; PZ- Patientenzufriedenheit; ER- Erwartungen; AK- Aktivität; GT- Gesamt.

In allen Untergruppen wurde eine statistische Signifikanz ($p < 0,0001$) für die klinische Beinachse mit einer Besserung des Mittelwerts von $6,52 \pm 4,79$ Punkten (NL), $7,33 \pm 4,50$ Punkten (VL) und $6,81 \pm 4,70$ Punkten (VR) kalkuliert. Die gleiche Signifikanz gilt für die mediolaterale Instabilität in Streckung (NL: $2,83 \pm 3,17$ Punkte, VL: $3,733 \pm 3,30$ Punkte und VR: $2,74 \pm 2,83$ Punkte), das Bewegungsausmaß (NL: $11,64 \pm 3,54$ Punkte, VL: $10,83 \pm 3,68$ Punkte und VR: $12,14$ Punkte), die Symptome (NL: $-11,07 \pm 5,93$ Punkte, VL: $-11,93 \pm 5,11$ Punkte und VR: $-12,44 \pm 6,05$ Punkte), die Patientenzufriedenheit (NL: $23,88 \pm 11,23$ Punkte, VL: $20,30 \pm 11,59$ Punkte und VR: $23,72 \pm 11,49$ Punkte), die Erwartungen (NL: $-4,24 \pm 4,33$ Punkte, VL: $-4,63 \pm$

3,61 Punkte und VR: $-4,46 \pm 4,30$ Punkte) sowie die Aktivität (NL: $33,83 \pm 18,56$ Punkte, VL: $31,03 \pm 18,71$ Punkte und VR: $36,19 \pm 18,35$ Punkte).

Die anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung zeigte statistisch signifikante Veränderungen in der NL- ($1,30 \pm 2,21$ Punkte; $p < 0,0001$) und der VR-Untergruppe ($0,83 \pm 1,88$ Punkte; $p = 0,0005$), jedoch kein statistisch signifikantes Ergebnis für die VL-Gruppe ($0,67 \pm 1,73$ Punkte, $p = 0,1251$).

3.2.2 EFAS-Score

Bei fehlender Normalverteilung wurde der Zentralwert (Median) errechnet. Die präoperativen und 3-Jahres-postoperativen Zentralwerte und Standardabweichungen des EFAS-Scores für die drei Untergruppen wurden zusammengefasst. Zunächst erfolgte die deskriptive Analyse der EFAS-Score Werte, um danach diese in die Vergleichsanalyse einzuschließen.

3.2.2.1 Deskriptive Analyse

Untergruppe		Normale Beinachse (n = 92)		Valgische Beinachse (n = 30)		Varische Beinachse (n = 72)	
		Prä	3-J-Post	Prä	3-J-Post	Prä	3-J-Post
EFAS-Score (max. 24 Punkte)	Median (Punkte)	10,5	24	10,5	24	11	24
	Minimum-Maximum (Punkte)	1	24	4	24	2	24
	Mittelwert (Punkte)	11,18	20,23	10,57	21,83	15,46	20,36

Tabelle 9: Deskriptive Analyse des EFAS-Scores in Punkten in allen 3 Untergruppen an zwei Zeitpunkten: präoperativ (Prä) und 3 Jahre postoperativ (3-J-Post).

Der Median des präoperativen EFAS-Scores zeigte sich bei allen drei Untergruppen nahezu identisch (NL: 10,5 Punkte, VL: 10,5 Punkte und VR: 11 Punkte). Dieser zeigte sich 3 Jahre postoperativ bei 24 Punkten in allen Untergruppen, wobei 24 Punkte den maximal erreichbaren Score darstellen.

3.2.2.2 Vergleichsanalyse

Untergruppe		Normale Beinachse (n = 92)	Valgische Beinachse (n = 30)	Varische Beinachse (n = 72)
Δ-EFAS-Score (Prä / 3-J-Post)	Δ-Median (Punkte)	8	10	9
	Spannweite (Punkte)	24	24	24
	p-Wert	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Tabelle 10: Vergleichsanalyse der 3-Jahres-postoperativen (3-J-Post) und präoperativen (Prä) Medianwerte mit der passenden Spannweite für den EFAS-Score in allen 3 Untergruppen.

In allen Untergruppen wurde eine statistische Signifikanz ($p < 0,0001$) für den Vergleich der prä- und postoperativen EFAS-Scores mit einer Besserung des Δ -Medians von 8 Punkten (NL), 10 Punkten (VL) und 9 Punkten (VR) auf 24 Punkte in allen Untergruppen kalkuliert. Die Spannweite lag identisch in allen Untergruppen bei 24 Punkten.

3.3 Korrelationsanalyse

Eine der zentralen Fragen der Arbeit bestand darin, mögliche Zusammenhänge zwischen den klinischen und radiologischen Parametern herauszufinden, um somit die Auswirkungen des „optimalen Alignements“ auf das postoperative Outcome zu zeigen.

Hierfür wurden die Differenzen der in der Vergleichsanalyse erfassten radiologischen und klinischen Parameter aufgrund der unterschiedlichen Beinachsen in 3 verschiedene Kategorien aufgeteilt und anschließend einer Korrelationsanalyse innerhalb der 3-Jahres-Zeitspanne unterzogen. Pro Tabelle wurde ein Gelenkwinkel analysiert. Es handelte sich hierbei um einen statistisch gesicherten Zusammenhang unter den analysierten Werten, womit die Stärke des Zusammenhangs der jeweiligen Werte mittels des Spearman-Korrelationsfaktors (Sp-K) gemessen wurde. Die Beinwinkel dienten als unabhängige Variable für die Korrelationsanalyse.

3.3.1 Korrelationsanalysen zwischen den klinischen Scores und den Gelenkwinkeln in allen drei Untergruppen.

Differenzen (Δ)			Normale Beinachse (n = 92)	Valgische Beinachse (n = 30)	Varische Beinachse (n = 72)
			Δ -mLPFA (Prä / 3-J-Post)	Δ -mLPFA (Prä / 3-J-Post)	Δ -mLPFA (Prä / 3-J-Post)
Δ -KSS (Prä / 3-J-Post)	Δ -BA	Sp-K	-0,0004	0,2787	0,0674
		p-Wert	0,9968	0,1359	0,5739
	Δ -ML	Sp-K	-0,0869	0,093	0,2110
		p-Wert	0,4100	0,6351	0,0752
	Δ -AP	Sp-K	-0,1259	-0,2153	-0,1300
		p-Wert	0,2319	0,2533	0,2763
	Δ -BS	Sp-K	0,1903	-0,1717	-0,0465
		p-Wert	0,0692	0,3643	0,6983
	Δ -SP	Sp-K	-0,0002	0,0943	0,1264
		p-Wert	0,9988	0,6201	0,2902
	Δ -PZ	Sp-K	-0,0815	-0,2790	-0,1677
		p-Wert	0,4400	0,1354	0,1591
	Δ -ER	Sp-K	-0,1007	-0,2866	-0,2597
		p-Wert	0,3395	0,1247	0,0276
	Δ -A	Sp-K	-0,0731	-0,3022	-0,0562
		p-Wert	0,4886	0,1045	0,6393
	Δ -GT	Sp-K	-0,0883	-0,3169	-0,1374
		p-Wert	0,4026	0,0880	0,2497
	Δ -EFASS	Sp-K	-0,159	0,1451	0,1454
		p-Wert	0,4014	0,2233	0,2233

Tabelle 11: Korrelationsanalysen der Differenzen zwischen den 3-Jahres-postoperativen (3-J-Post) und präoperativen (Prä) Werten für mLPFA (mechanical lateral proximal femoral angle) in Bezug auf die Differenzen der KSS-Teilskalen: BA- Beinachse; ML- Mediolaterale Instabilität in Streckung; AP- Anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung; BS- Bewegungsausmaß; SP- Symptome; PZ-Patientenzufriedenheit; ER- Erwartungen; AK- Aktivität; GT- Gesamt; und des EFASS- European Foot and Ankle Society Scores. Sp-K definiert den Spearman-Korrelationsfaktor.

In der Korrelationsanalyse der Differenzen des mLPFA-Winkels zeigten sich keine Signifikanzen in allen 3 Untergruppen.

Differenzen (Δ)			Normale Beinachse (n = 92)	Valgische Beinachse (n = 30)	Varische Beinachse (n = 72)
			Δ -mLDFA (Prä / 3-J-Post)	Δ -mLDFA (Prä / 3-J-Post)	Δ -mLDFA (Prä / 3-J-Post)
Δ -KSS (Prä / 3-J-Post)	Δ -BA	Sp-K	0,0619	0,2918	0,0236
		p-Wert	0,5578	0,1176	0,8436
	Δ -ML	Sp-K	0,0118	0,1732	0,0018
		p-Wert	0,9105	0,3601	0,9880
	Δ -AP	Sp-K	-0,0047	0,3570	0,0090
		p-Wert	0,9648	0,0528	0,9404
	Δ -BS	Sp-K	0,0981	0,1244	0,0742
		p-Wert	0,3524	0,5124	0,5356
	Δ -SP	Sp-K	-0,1651	-0,1074	0,3144
		p-Wert	0,1158	0,5723	0,0072
	Δ -PZ	Sp-K	0,0717	0,1517	-0,1351
		p-Wert	0,4968	0,4234	0,2577
	Δ -ER	Sp-K	0,0562	-0,0824	-0,1422
		p-Wert	0,5945	0,6652	0,2334
	Δ -A	Sp-K	-0,0495	-0,0548	-0,0813
		p-Wert	0,6397	0,7736	0,4973
	Δ -GT	Sp-K	-0,0022	0,1777	-0,0977
		p-Wert	0,9837	0,3475	0,4142
	Δ -EFASS	Sp-K	-0,0444	-0,1700	-0,1411
		p-Wert	0,6762	0,3701	0,2363

Tabelle 12: Korrelationsanalysen der Differenzen zwischen den 3-Jahres-postoperativen (3-J-Post) und präoperativen (Prä) Werten für mLDFA (mechanical lateral distal femoral angle) in Bezug auf die Differenzen der KSS-Teilskalen: BA- Beinachse; ML- Mediolaterale Instabilität in Streckung; AP- Anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung; BS- Bewegungsausmaß; SP- Symptome; PZ-Patientenzufriedenheit; ER- Erwartungen; AK- Aktivität; GT- Gesamt; und des EFASS- European Foot and Ankle Society Scores. Sp-K definiert den Spearman-Korrelationsfaktor.

Signifikante Ergebnisse zeigten sich in der varischen Gruppe für den Zusammenhang zwischen den Symptomen und der mLDFA-Winkelveränderung ($p = 0,0072$).

Differenzen (Δ)			Normale Beinachse (n = 92)	Valgische Beinachse (n = 30)	Varische Beinachse (n = 72)
			Δ -mMPTA (Prä / 3-J-Post)	Δ -mMPTA (Prä / 3-J-Post)	Δ -mMPTA (Prä / 3-J-Post)
Δ -KSS (Prä / 3-J-Post)	Δ -BA	Sp-K	0,1921	-0,2483	0,1830
		p-Wert	0,0666	0,1859	0,1243
	Δ -ML	Sp-K	0,0937	0,2657	-0,0047
		p-Wert	0,3743	0,1558	0,9690
	Δ -AP	Sp-K	-0,0568	-0,2323	0,0637
		p-Wert	0,5903	0,2167	0,5952
	Δ -BS	Sp-K	0,0787	-0,3435	0,0736
		p-Wert	0,4557	0,0631	0,5385
	Δ -SP	Sp-K	-0,1962	0,0953	0,0305
		p-Wert	0,0609	0,6166	0,7991
	Δ -PZ	Sp-K	-0,0713	-0,1183	-0,0676
		p-Wert	0,4994	0,5336	0,5725
	Δ -ER	Sp-K	-0,0785	-0,0077	-0,2833
		p-Wert	0,4573	0,9678	0,0159
	Δ -A	Sp-K	0,1164	-0,0188	-0,1382
		p-Wert	0,2692	0,9216	0,2470
	Δ -GT	Sp-K	0,0643	-0,1787	-0,1413
		p-Wert	0,5425	0,3448	0,2346
	Δ -EFASS	Sp-K	0,2121	-0,2544	0,0393
		p-Wert	0,0430	0,1762	0,7474

Tabelle 13: Korrelationsanalysen der Differenzen zwischen den 3-Jahres-postoperativen (3-J-Post) und präoperativen (Prä) Werten für mMPTA (mechanical medial proximal tibial angle) in Bezug auf die Differenzen der KSS-Teilskalen: BA- Beinachse; ML- Mediolaterale Instabilität in Streckung; AP- Anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung; BS- Bewegungsausmaß; SP- Symptome; PZ-Patientenzufriedenheit; ER- Erwartungen; AK- Aktivität; GT- Gesamt; und des EFASS- European Foot and Ankle Society Scores. Sp-K definiert den Spearman-Korrelationsfaktor.

Signifikante Zusammenhänge wurden zwischen dem mMPTA und dem EFASS in der Gruppe der normalen Beinachse ($p = 0,0430$) kalkuliert sowie für die Erwartung der Patienten in der VR-Gruppe ($p = 0,0159$).

Differenzen (Δ)			Normale Beinachse (n = 92)	Valgische Beinachse (n = 30)	Varische Beinachse (n = 72)
			Δ -mLDTA (Prä / 3-J-Post)	Δ -mLDTA (Prä / 3-J-Post)	Δ -mLDTA (Prä / 3-J-Post)
Δ -KSS (Prä / 3-J-Post)	Δ -BA	Sp-K	-0,0017	0,2961	0,0616
		p-Wert	0,9870	0,1121	0,6070
	Δ -ML	Sp-K	0,0602	0,0628	0,0888
		p-Wert	0,5687	0,7417	0,4581
	Δ -AP	Sp-K	-0,0139	0,1246	-0,0377
		p-Wert	0,8948	0,5117	0,7534
	Δ -BS	Sp-K	0,0291	-0,2283	0,0767
		p-Wert	0,7833	0,2249	0,5217
	Δ -SP	Sp-K	-0,1248	-0,1407	-0,1690
		p-Wert	0,2359	0,4584	0,1559
	Δ -PZ	Sp-K	0,0563	0,2412	0,0852
		p-Wert	0,5940	0,1991	0,4767
	Δ -ER	Sp-K	0,0345	-0,1397	-0,0612
		p-Wert	0,7437	0,4615	0,6096
	Δ -A	Sp-K	0,1976	-0,1882	0,0292
		p-Wert	0,0590	0,3194	0,8077
	Δ -GT	Sp-K	0,1909	0,0607	0,0091
		p-Wert	0,0683	0,7490	0,9397
Δ -EFASS	Sp-K	-0,0022	-0,4100	-0,0464	
	p-Wert	0,9873	0,0240	0,6982	

Tabelle 14 Korrelationsanalysen der Differenzen zwischen den 3-Jahres-postoperativen (3-J-Post) und präoperativen (Prä) Werten für mLDTA (mechanical lateral distal tibial angle) in Bezug auf die Differenzen der KSS-Teilskalen: BA- Beinachse; ML- Mediolaterale Instabilität in Streckung; AP- Anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung; BS- Bewegungsausmaß; SP- Symptome; PZ-Patientenzufriedenheit; ER- Erwartungen; AK- Aktivität; GT- Gesamt; und des EFASS- European Foot and Ankle Society Scores. Sp-K definiert den Spearman-Korrelationsfaktor.

In der valgischen Beinachse wurde ein Zusammenhang zwischen dem mLDTA und dem EFASS berechnet ($p = 0,0240$). In den normalen und varischen Gruppen konnte keine Signifikanz kalkuliert werden.

3.3.2 Korrelationsanalysen der PROMs und der objektiven KSS-Parameter

Nachfolgend wurden Korrelationsanalysen zwischen den Unterschieden der klinisch objektiven (BA- Beinachse, ML- Mediolaterale Instabilität in Streckung, AP- Anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung, BS- Bewegungsausmaß) und

subjektiven KSS-Parameter bzw. PROMs (SP- Symptome, PZ- Patientenzufriedenheit; ER- Erwartung, AK- Aktivität) durchgeführt.

Differenzen		Normale Beinachse (n = 92)	Valgische Beinachse (n = 30)	Varische Beinachse (n = 72)
		Δ -BA	Δ -BA	Δ -BA
Δ -SP	Sp-K	-0,2238	-0,1028	-0,2973
	p-Wert	0,0320	0,5888	0,0112
Δ -PZ	Sp-K	-0,0246	-0,1619	-0,1070
	p-Wert	0,8159	0,3927	0,3710
Δ -ER	Sp-K	-0,1246	-0,1397	-0,2786
	p-Wert	0,2367	0,4616	0,0178
Δ -AK	Sp-K	-0,1723	0,0437	-0,1385
	p-Wert	0,1006	0,8187	0,2461

Tabelle 15: Korrelationsanalyse der Differenzen zwischen dem KSS-Teilskalen für die Beinachse (BA) und den PROMs in den drei Untergruppen: SP- Symptome, PZ- Patientenzufriedenheit, ER- Erwartungen und AK- Aktivität. Sp-K definiert den Spearman-Korrelationsfaktor.

Signifikante Zusammenhänge zwischen dem Bewegungsausmaß und den Symptomen zeigten sich in den Gruppen mit normaler ($p = 0,0320$) und varischer Beinachse ($p = 0,0112$). Die Erwartung war in der VR-Gruppe ebenso mit dem Bewegungsausmaß ($p = 0,0178$) signifikant verbunden.

Differenzen		Normale Beinachse (n = 92)	Valgische Beinachse (n = 30)	Varische Beinachse (n = 72)
		Δ -ML	Δ -ML	Δ -ML
Δ -SP	Sp-K	-0,2014	-0,0750	-0,1173
	p-Wert	0,0542	0,6937	0,3266
Δ -PZ	Sp-K	-0,0233	0,0204	-0,0234
	p-Wert	0,8252	0,9149	0,8456
Δ -ER	Sp-K	0,0628	-0,2638	-0,1744
	p-Wert	0,5523	0,1593	0,1428
Δ -AK	Sp-K	-0,1944	-0,2648	-0,2464
	p-Wert	0,0633	0,1573	0,0370

Tabelle 16: Korrelationsanalyse der Differenzen zwischen dem KSS-Teilskalen für die mediolaterale Instabilität in Streckung (ML) und den subjektiven KSS-Parametern in den drei Untergruppen: SP- Symptome, PZ- Patientenzufriedenheit, ER- Erwartungen und AK- Aktivität. Sp-K definiert den Spearman-Korrelationsfaktor.

Die Korrelationsanalyse für die mediolaterale Instabilität in Streckung zeigte isoliert ein signifikantes Ergebnis für die Aktivität in der VR-Gruppe ($p = 0,0370$).

Differenzen		Normale Beinachse (n = 92)	Valgische Beinachse (n = 30)	Varische Beinachse (n = 72)
		Δ -AP	Δ -AP	Δ -AP
Δ -SP	Sp-K	-0,1266	-0,1047	0,2085
	p-Wert	0,2293	0,5820	0,0788
Δ -PZ	Sp-K	0,4419	0,4465	0,0386
	p-Wert	<0,0001	0,0018	0,7473
Δ -ER	Sp-K	-0,1234	-0,1398	-0,3506
	p-Wert	0,2413	0,4613	0,0025
Δ -AK	Sp-K	0,0733	-0,1137	-0,1194
	p-Wert	0,4872	0,5498	0,3179

Tabelle 17: Korrelationsanalyse der Differenzen zwischen dem KSS-Teilskalen für die anteroposteriore Instabilität in 90° (AP) Beugung und den subjektiven KSS-Parametern in den drei Untergruppen: SP- Symptome, PZ- Patientenzufriedenheit, ER- Erwartungen und AK- Aktivität. Sp-K definiert den Spearman-Korrelationsfaktor.

Signifikante Ergebnisse zwischen der anteroposterioren Instabilität und der Patientenerwartung in der VR-Gruppe ($p = 0,0025$) sowie der Patientenzufriedenheit in den normalen ($p < 0,0001$) und valgischen ($p = 0,0018$) Gruppen wurden kalkuliert.

Differenzen		Normale Beinachse (n = 92)	Valgische Beinachse (n = 30)	Varische Beinachse (n = 72)
		Δ -BS	Δ -BS	Δ -BS
Δ -SP	Sp-K	0,0645	0,0978	0,0660
	p-Wert	0,5410	0,6066	0,5821
Δ -PZ	Sp-K	0,0062	-0,0487	0,0564
	p-Wert	0,9536	0,7976	0,6388
Δ -ER	Sp-K	-0,0014	0,1390	0,2210
	p-Wert	0,9892	0,4644	0,0627
Δ -AK	Sp-K	0,0864	0,1289	0,0088
	p-Wert	0,6780	0,5943	0,4848

Tabelle 18: Korrelationsanalyse der Differenzen zwischen dem KSS-Teilskalen für den Bewegungsausmaß (BS) und den subjektiven KSS-Parametern in den drei Untergruppen: SP- Symptome, PZ- Patientenzufriedenheit, ER- Erwartungen und AK- Aktivität. Sp-K definiert den Spearman-Korrelationsfaktor.

Eine statistisch signifikante Korrelation konnte für das Bewegungsausmaß mit den subjektiven KSS-Parametern nicht festgestellt werden.

3.3.3 Korrelationsanalysen zwischen KSS und EFASS

Differenzen		Normale Beinachse (n = 92)	Valgische Beinachse (n = 30)	Varische Beinachse (n = 72)
		Δ -EFASS	Δ -EFASS	Δ -EFASS
Δ -BA	Sp-K	0,1209	0,0800	0,1174
	p-Wert	0,2565	0,6765	0,3291
Δ -ML	Sp-K	-0,0344	-0,0344	-0,2200
	p-Wert	0,7464	0,8603	0,0633
Δ -AP	Sp-K	0,1501	0,1797	-0,1334
	p-Wert	0,1522	0,3454	0,2656
Δ -BS	Sp-K	-0,1269	0,3666	-0,0282
	p-Wert	0,2322	0,0478	0,8165
Δ -SP	Sp-K	0,1111	-0,3500	-0,3152
	p-Wert	0,2946	0,0500	0,0073
Δ -PZ	Sp-K	-0,1911	0,1443	-0,1015
	p-Wert	0,0690	0,4465	0,4004
Δ -ER	Sp-K	-0,2188	0,0971	-0,0352
	p-Wert	0,0370	0,6111	0,7721
Δ -AK	Sp-K	0,3850	0,5080	0,2545
	p-Wert	0,0002	0,0040	0,0324
Δ -GT	Sp-K	-0,1300	0,4022	-0,0272
	p-Wert	0,2165	0,0282	0,8211

Tabelle 19: Korrelationsanalyse der Differenzen zwischen dem EFASS (European Foot and Ankle Society Score) und den KSS (Knee Society Score)-Werten: BA- Beinachse; ML- Mediolaterale Instabilität in Streckung; AP- Anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung; BS- Bewegungsmaß; SP- Symptome; PZ- Patientenzufriedenheit; ER- Erwartungen; AK- Aktivität; GT- Gesamt; EFASS- European Foot and Ankle Society Score. Sp-K definiert den Spearman-Korrelationsfaktor.

Diese Korrelationsanalyse zeigte einen Zusammenhang zwischen der Zunahme der Aktivität der Patienten und dem EFAS-Score in allen drei Untergruppen: NL ($p = 0,0002$), VL ($p = 0,0004$) und VR ($p = 0,0324$). Die Symptome wiesen eine Signifikanz in der valgischen ($p = 0,0500$) und varischen ($p = 0,0073$) Untergruppe auf. Darüber hinaus zeigten in der VL-Untergruppe das Bewegungsmaß ($p = 0,047$) und der gesamte KSS-Score ($p = 0,0282$) eine statistische Signifikanz, während die Erwartung der Patienten mit dem EFASS in der normalen ($p = 0,0370$) Untergruppe korrelierte.

3.4 Regressionsanalyse der klinischen Scores

		Normale Beinachse (n = 92)	Valgische Beinachse (n = 30)	Varische Beinachse (n = 72)
		Δ -AP	Δ -PZ	Δ -SP
	p-Wert des F-Tests (Pr > F)	0,0009	0,0129	0,0864
	R-Quadrat	0,1811	0,3873	0,1133
p-Wert	Δ mLPFA (prä/3-J-Post)	0,0984	0,2211	0,1700
	BMI	0,0001	0,0148	0,0181
	Alter	0,5762	0,9100	0,1744
	Geschlecht	0,5341	0,1491	0,3800
	p-Wert des F-Tests (Pr > F)	0,0049	0,0148	0,0622
	R-Quadrat	0,1570	0,3792	0,1244
p-Wert	Δ mLDFA (prä/3-J-Post)	0,6554	0,2733	0,1001
	BMI	0,0001	0,0070	0,0713
	Alter	0,8888	0,8464	0,2326
	Geschlecht	0,4911	0,1100	0,4486
	p-Wert des F-Tests (Pr > F)	0,0040	0,0249	0,1822
	R-Quadrat	0,1597	0,3484	0,0886
p-Wert	Δ mMPTA (prä/3-J-Post)	0,5244	0,9000	0,8754
	BMI	0,0002	0,0149	0,0309
	Alter	0,9011	0,7733	0,2321
	Geschlecht	0,5841	0,1242	0,6155
	p-Wert des F-Tests (Pr > F)	0,0051	0,0028	0,0415
	R-Quadrat	0,1574	0,4644	0,1364
p-Wert	Δ mLDTA (prä/3-J-Post)	0,6753	0,0279	0,0565
	BMI	0,0001	0,0088	0,0457
	Alter	0,8046	0,3544	0,3753
	Geschlecht	0,4827	0,2980	0,9398

Tabelle 20: Regressionsanalyse mit den signifikanten Ergebnissen: Signifikante Einflüsse für den BMI-Wert auf die anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung (AP) in der normalen Untergruppe ($p = 0,0009$; $0,0049$; $0,0040$; $0,0051$). Der BMI zeigte sich als einwirkende Variable auf die Patientenzufriedenheit (PZ) in der valgischen Gruppe ($p = 0,0129$; $0,0148$; $0,0249$; $0,0028$) und auf die Patientensymptome (PS) in der varischen Gruppe ($p = 0,0415$). $Pr > F$ definiert den p -Wert des durchgeführten F-Tests; ein signifikanter p -Wert ($< 0,05$) zeigt, dass die Stichprobendaten genügend Anhaltspunkte für die Schlussfolgerung haben, dass das Regressionsmodell besser zu den Daten passt als das Modell ohne unabhängige Variablen.

In den Regressionsanalysen wurden für die Differenzen des KSS-Scores und des EFAS-Scores die Einflussfaktoren BMI, Alter, Geschlecht und Beinwinkel in allen 3 Untergruppen analysiert. Die multiple Regression zeigte signifikante Einflüsse für den

BMI auf die anteroposteriore Instabilität in der normalen Untergruppe ($p = 0,0009$; $0,0049$; $0,0040$; $0,0051$), jedoch mit Streuung der Ergebnisse bei $R^2 < 0,5$. Dieses Ergebnis konnte für die zwei anderen Gruppen nicht repliziert werden. Ebenso zeigte sich der BMI als einwirkende Variable auf die Patientenzufriedenheit in der valgischen Gruppe ($p = 0,0129$; $0,0148$; $0,0249$; $0,0028$) mit $R^2 < 0,5$. Darüber hinaus hatte der BMI-Wert einen signifikanten Einfluss in der varischen Gruppe auf die Patientensymptome ($p = 0,0415$). Die restlichen Variablen konnten keine Signifikanz in der Regressionsanalyse zeigen.

4 DISKUSSION

In dieser klinisch-retrospektiven Studie wurden die Krankenakten und Röntgenbilder von 194 Patienten ausgewertet und die Patienten mittels international genormter Fragebögen befragt. Es wurde nach statistisch signifikanten Ergebnissen bei patientenbezogenen und patientenunabhängigen Faktoren gesucht, die einen Einfluss auf die Beinachse und Beinwinkel sowie die Zufriedenheit nach K-TEP im prä- vs. postoperativen Vergleich haben.

4.1 Patientenbezogene Parameter

Der Alters-Mittelwert im Kollektiv der operierten Patienten lag bei $69,12 \pm 9.60$ Jahren. Dies ist mit Daten aus Jahresberichten verschiedener Endoprothesenregister vergleichbar. In Deutschland zeigte der Jahresbericht des EPRD-Registers im Jahr 2020 einen Alters-Mittelwert von 70 Jahren bei Patienten mit Erstimplantation einer K-TEP [5]. Ähnliche Zahlen präsentierte das größte Knieendoprothesenregister der Welt, „*The Swedish knee arthroplasty register*“ (SKAR), mit einem Mittelwert von 69,4 Jahren in 2019 [74]. Das nationale britische Register, „*National joint registry*“ (NJR), kalkulierte in 2017 einen Alters-Mittelwert bei primären Knieendoprothesen von 70,05 Jahren [75]. In den USA lag laut Daten des Jahresberichts 2021 des „*American joint replacement registry*“ (AJRR) das Patientendurchschnittsalter zum Zeitpunkt der Operation bei 67 Jahren [76].

Die Geschlechterverteilung im gesamten Patientenkollektiv der vorliegenden Arbeit war vergleichbar zu den internationalen Registerdaten. Der Frauenanteil dieser Arbeit lag bei 64,95 % (126/194) und der Männeranteil bei 35,05 % (68/194) mit einer Relation der Geschlechter von 1,85: 1 (Frauen: Männer). In Deutschland waren im Jahr 2021 laut EPRD 60 % der Patienten mit Erstimplantation einer Kniegelenksendoprothese Frauen mit einer Relation von 1,5: 1 [5]. Das SKAR meldete eine analoge Relation zum EPRD mit einem Frauenanteil von 57,5 % im Jahre 2019, fallend von 70 % in 1975 [74]. Ähnliche Ergebnisse listete das NJR auf, wobei 57 % der Patienten mit primärer K-TEP weiblich waren [75]. Schließlich konnten diese Ergebnisse durch das AJRR reproduziert werden, mit einem Frauenanteil von 61,5 % und einer Geschlechterrelation von 1,6: 1 der 1.168.826 Patienten mit primärer Knieendoprothese zwischen 2012 und 2020 [76].

Der BMI-Mittelwert unseres Patientenkollektivs lag bei $29,17 \pm 4,77 \text{ kg/m}^2$. Somit zeigte er sich mit den Daten des EPRDs im Jahr 2020, indem ein BMI von $29,8 \text{ kg/m}^2$ kalkuliert wurde, vereinbar [5]. Während 86,6 % der Patienten der vorliegenden Studie mit $\text{BMI} > 25 \text{ kg/m}^2$ übergewichtig waren, konkludierten Schienkiewitz et al. anhand Daten der Studie „Gesundheit in Deutschland aktuell in 2019 und 2020“ (GEDA 2019/2020) nach Analyse von 23.000 Fragebögen des europäischen Gesundheitssurveys oder des European Health Interview Survey (EHIS) unter deutschsprachiger Wohnbevölkerung in Österreich, Deutschland und der Schweiz ab 15 Jahren im Auftrag des Robert Koch-Instituts (GEDA 2019/2020-EHIS), dass 53,5 % der deutschen Erwachsenen übergewichtig sind. Der Anteil der Männer lag dabei mit 60,5 % über dem der Frauen mit 46,6 %. Darüber hinaus leiden 19 % der deutschen Erwachsenen laut der gleichen Studie an Adipositas mit einem $\text{BMI} > 30 \text{ kg/m}^2$ ohne wesentliche Unterschiede zwischen beiden Geschlechtern. Mit zunehmendem Alter stieg sowohl bei Frauen als auch bei Männern die Prävalenz von Übergewicht und/oder Adipositas an, mit Zunahme der Adipositasprävalenz im Vergleich zu GEDA 2012 [77]. Eine andere Studie von Haftenberger et al. beobachtete in der deutschen Bevölkerung mittleren Alters eine moderate Gewichtszunahme von $0,25 \text{ kg/Jahr}$, wobei jüngere Erwachsene am Auffälligsten waren [78]. Internationale Datenregister veröffentlichten ähnliche Daten bei K-TEP-Patienten; das NJR meldete einen BMI-Mittelwert von $30,65 \text{ kg/m}^2$ in Großbritannien für Patienten mit Erstimplantation einer K-TEP, während in Schweden 9,3 % der Patienten ein $\text{BMI} > 35 \text{ kg/m}^2$ zum Zeitpunkt der Operation laut SKAR-Daten hatten [74, 75]. Eriksson und Lazarinis beschrieben in deren Studie in 2022 ein höheres Risiko für ältere Patienten und Patienten mit Adipositas sowie einer hohen ASA-Klassifikation für die Entwicklung einer Infektion der Oberfläche der Operationsstelle (Superficial Surgical Site infection, SSSI), wobei Patienten mit hohem ASA-Score ein erhöhtes Risiko hatten, aus einer SSSI heraus einem Protheseninfekt (PJI) zu entwickeln [79].

4.2 Radiologische Parameter

Die Literatur zeigte weitgehende Gemeinsamkeiten in Bezug auf die frontale Beinachse nach einer K-TEP, indessen sowohl funktionelle als auch mechanische

Änderungen erreicht wurden. Ranawat et al. beschrieben bereits in 1976 exzellente klinische Ergebnisse bei 80 % der operierten Patienten mit einem mittleren Valguswinkel von 4° postoperativ [80]. Im Jahr 1991 verfolgten Jeffery et al. 115 Fälle über einen Zeitraum von 12 Jahren und präsentierten, dass korrekte Röntgenganzbeinaufnahmen für die Beobachtung der koronalen Ausrichtung entscheidend sind und somit eine wichtige Rolle bei der Prävention von Lockerungen in den operierten Patienten spielen [81]. Die Wichtigkeit der korrekten Stellung der K-TEP wurde in 2009 von Fang et al. betont, wobei eine Studie von 6.070 untersuchten Kniegelenken beste Überlebenschancen bei einer Achsenstellung zwischen $2,4^\circ$ und $7,2^\circ$ Valgus präsentierte. Varus-Kniefehlstellungen versagten in erster Linie durch einen Kollaps der medialen Tibia und Valgus-Kniefehlstellungen durch Bandinstabilitäten [82]. Ähnliche Ergebnisse zeigten Van Hammersveld et al. in 2019 in einer Beobachtung über 11 Jahre anhand von 85 Patienten mit Knieprothesen, wobei Lockerungen ausschließlich in Knieprothesen mit koronalen Achsabweichungen, insbesondere bei varischen Achsfehlstellungen, aufgetreten sind [83]. Diese Ergebnisse wurden im gleichen Jahr von Oh et al. in einer über 8 Jahre retrospektiv vergleichenden Kohortenstudie reproduziert [84]. Liu et al. fassten in 2016 in einer Metaanalyse 1.512 Studien zusammen, mit der Schlussfolgerung, dass eine neutrale oder Valgus-Ausrichtung anstelle einer Varus-Ausrichtung für das langfristige postoperative Überleben von K-TEP und der dazugehörigen Patientenzufriedenheit entscheidend ist [85].

Der Einbau der K-TEP mit 6° femoralem Valgus konnte in der vorliegenden Studie eine signifikante postoperative Normalisierung des mL DFA in der valgischen Gruppe von $83,12^\circ \pm 1,14^\circ$ auf $87,37^\circ \pm 2,49^\circ$ ($p < 0,0001$) erreichen. Dieser Wert blieb 3 Jahre postoperativ mit ähnlicher statistischer Signifikanz im Normbereich bei $88,36^\circ \pm 3,37^\circ$ ($p < 0,0001$). Die varische Patientengruppe zeigte direkt postoperativ mit einem präoperativen Mittelwert von $90,81^\circ \pm 1,66^\circ$ eine unveränderte Achsenstellung mit $90,41^\circ \pm 2,39^\circ$ ($p = 0,5920$), jedoch ohne statistische Relevanz. Dieser Winkel konnte 3 Jahre postoperativ mit $89,78^\circ \pm 2,60^\circ$ ($p = 0,0029$) den mL DFA der normalen Beinachse von $89,79^\circ \pm 2,81^\circ$ ($p < 0,0001$) erheblich angleichen. Allerdings bestand in der NL-Gruppe bei präoperativem Mittelwert von $87,43^\circ \pm 0,96^\circ$ ein Verbleib der Achse im Normbereich mit $89,21^\circ \pm 1,87^\circ$ ($p < 0,0001$) direkt postoperativ. Die resultierenden Ergebnisse dieser Operationstechnik mit Festlegung des femoralen Valguswinkels auf 6° bestätigten somit die bereits in der Literatur

veröffentlichten Beobachtungen und belegten eine Normalisierung der Beinachse im postoperativen Verlauf, ungeachtet der Ausgangssituation bzw. der präoperativen Beinachse.

Innerhalb der untersuchten Gruppe zeigte die weitere Analyse Veränderungen im mechanischen medialen proximalen Tibiawinkel (mMPTA) auf. Hier wurden postoperativ sowohl für die varische als auch die normale Gruppe statistisch signifikante Differenzen nachgewiesen. Für die NL-Patienten konnte eine Steigerung des mMPTA-Werts von $86,80^\circ \pm 3,69^\circ$ präoperativ auf $88,80^\circ \pm 1,83^\circ$ ($p < 0,0001$) direkt postoperativ und auf $89,32^\circ \pm 2,22^\circ$ ($p < 0,0001$) 3 Jahre postoperativ kalkuliert werden. Ähnliche Ergebnisse mit Steigerung des mMPTA-Werts von $86,81^\circ \pm 3,10^\circ$ präoperativ auf $88,73^\circ \pm 1,97^\circ$ ($p < 0,0001$) direkt postoperativ sowie $89,12^\circ \pm 2,30^\circ$ ($p < 0,0001$) 3 Jahre postoperativ konnten für die VR-Untergruppe aufgezeigt werden. Somit blieb der mMPTA sowohl präoperativ als auch direkt und 3 Jahre postoperativ im Normbereich, ungeachtet der präoperativen Beinachse, welche präoperativ mittels eines Alignment-Tests fast ausschließliche mLDTA-Veränderungen bei überwiegend femoralen arthrotisch bedingten knorpeligen und ligamentären Veränderungen aufzeigte (Abbildung 16).

Auf Höhe des Sprunggelenks stellten Feng et al. in 2021 eine Normalisierung des mLDTA und der Sprunggelenkachse in der koronalen Stellung nach mechanisch ausgerichteter Knieprothese fest, insbesondere bei Patienten mit einer präoperativ schweren varischen Achsstellung. Ein postoperativer Verbleib der varischen Stellung des Kniegelenks resultierte in einem Auftreten von Beschwerden im Sprunggelenk [86]. Ähnliche postoperative Veränderungen im Sprunggelenk wurden nach Implantation von Schlittenprothesen ebenso durch Sari et al. in 2022 definiert [87]. Diao et al. beschrieben den Einfluss der K-TEP im Fußbereich über das Sprunggelenk hinaus und deuteten in deren Studie in 2021 darauf hin, dass die Korrektur der Beinachse durch die Wiederherstellung des Gleichgewichts der gesamten lasttragenden bzw. mechanischen Achse der unteren Extremität tendenziell eine Anpassung der Rückfußausrichtung als Folge bewirkt [88]. Dies wurde bereits in 2018 von Jeong et al. mit der Beobachtung erheblicher Veränderungen am Sprunggelenk, am Subtalargelenk und am Fuß nach einer Korrektur einer Varusdeformität am Kniegelenk identifiziert. Außerdem empfahlen die Autoren bei Patienten, die zusätzlich zur Varusfehlstellung des Knies Probleme am Sprunggelenk, am Subtalargelenk und am Fußgelenk hatten, zuerst eine Korrektur

des Kniegelenks vorzunehmen [89]. Die Verbesserung der Rückfußdeformität nach K-TEP zeigte laut Cho et al., dass eine Valgusdeformität des Rückfußes bei Patienten mit einer Varuskniegelenksdeformität keine präoperative Korrektur erfordert. Bei Patienten mit einer verbleibenden Rückfußdeformität und Schmerzen 6 Wochen nach K-TEP sollte eine aktive Behandlung in Betracht gezogen werden, da keine weitere Verbesserung zu erwarten ist [90]. Burssens et al. nutzten in 2020 eine Belastungs-CT der unteren Extremität, um die Rückfußdeformität im Zusammenhang mit der Ausrichtung der unteren Gliedmaßen in der koronalen Ebene zu quantifizieren. Bei Patienten mit einer Arthrose des Tibiotalgelenks war eine Varusstellung des Knies mit einer Valgus-Deformität des Rückfußes und eine Valgusstellung des Knies mit einer Varus-Deformität des Rückfußes verbunden [91]. In der vorliegenden Studie beeinflusste die eingebaute K-TEP mit statistischer Signifikanz die frontale Achse des Sprunggelenkes im Vergleich zur initialen Achsenstellung, insbesondere bei Patienten mit primär valgischer und varischer präoperativer Beinachse. In der valgischen Gruppe beobachteten wir eine Neigung zur Valgusstellung mit einer Veränderung von $84,09^\circ$ auf $82,38^\circ$ postoperativ ($p = 0,0071$). Diese Ergebnisse glichen auch die Veränderung des mLDTA mit einem Wert von $86,89^\circ$ auf $84,99^\circ$ ($p < 0,0001$) in der varischen Gruppe an. Für die normale Beinachse ergab sich postoperativ eine statistische Neigung zur Signifikanz ($-0,69^\circ \pm 3,45^\circ$; $p = 0,059$) mit einer Variation des Winkels von $86,14^\circ$ auf $85,45^\circ$. Im 3-Jahres-Verlauf konnten wir in allen 3 Untergruppen eine leichte, jedoch nicht statistisch signifikante Tendenz zur Valgusausrichtung des mLDTA mit $85,29^\circ \pm 6,18^\circ$ ($p = 0,2822$) für die NL-, $84,91^\circ \pm 6,86^\circ$ ($p = 0,6091$) für die VL- und $85,43^\circ \pm 6,71^\circ$ ($p = 0,0671$) für die VR-Gruppe im Vergleich zu den präoperativen und direkt postoperativen Winkelstellungen aufzeigen.

Auf Höhe des Hüftgelenkes identifizierten zahlreiche Studien einen funktionellen Zusammenhang mit dem Kniegelenk nach Implantation einer H-TEP [38, 37]. Wenige Studien befassten sich mit dem Outcome der Hüfte nach einer K-TEP, wobei der Zusammenhang klinisch ohne radiologische Bestimmung der anatomischen und mechanischen Winkelveränderung im postoperativen Verlauf untersucht wurde. Matsumoto et al. untersuchten in 2005 das Bewegungsausmaß des Kniegelenks nach K-TEP anhand verschiedener Hüftstellungen und konnten einen starken Einfluss auf den postoperativen Beugewinkel des Knies nachweisen [92]. In 2021 beobachteten Nakano et al. eine Auswirkung der Kontrakturen im Hüftbereich auf

den postoperativen Kniebeugewinkel durch eine verminderte Innenrotation des Schienbeins [93].

Die vorliegende Studie konnte keine ausreißende Winkelveränderung des mLPFA außerhalb der Normbereiche (85°- 95°) postoperativ nachweisen. Außerdem blieben alle Veränderungen des proximalen Femurwinkels in der Untergruppe mit der physiologischen Beinachse statistisch nicht relevant. Wir konnten jedoch eine signifikante Abweichung im dreijährigen postoperativen Verlauf in den varischen ($3,61^\circ \pm 6.50^\circ$; $p < 0,0001$) und valgischen ($2,65^\circ \pm 6.92^\circ$; $p = 0,0453$) Patientengruppen entdecken. Der Vergleich der Winkelveränderung in der varischen Gruppe zu den präoperativen Werten zeigte sich ebenso signifikant ($3,08^\circ \pm 6.17^\circ$; $p < 0,0001$).

4.3 Klinische Parameter

Zahlreiche Studien analysierten die klinischen Folgen einer K-TEP in Bezug auf Patientenzufriedenheit und Beweglichkeit im Kniegelenk. Eine Studie von Kirschner et al. an der Universität Würzburg zeigte in 2004 große funktionelle Verbesserungen nach totalendoprothetischem Ersatz, mit dem Unterschied, dass Patienten mit H-TEP den wesentlichen Teil ihrer Hüftfunktionalität nach drei Monaten bereits erreicht hatten, und Patienten mit einer K-TEP bis zu einem Jahr für den gleichen Effekt brauchten [94]. Salzmann et al. analysierten in 2017 den Einfluss der Beinachse auf das postoperative klinische Outcome zwei Jahre später und zeigten, dass KSS und WOMAC bei allen Patienten – auch bei Patienten mit verbleibender varischer Achsenstellung – nach einer K-TEP stiegen [95]. Entgegen dieser Ergebnisse führte eine postoperative Persistenz der varischen Fehlstellung im Kniegelenk laut Feng et al. in 2021 zur Persistenz der Beschwerden [86]. Im Jahr 2022 veröffentlichten Zhang et al. Daten mit der Schlussfolgerung, dass die erfolgreiche und komplikationslose K-TEP eine positive Auswirkung auf die psychische Verfassung der Patienten hatte, welche wiederum einen positiven Einfluss auf die Genesung bewirkte [96]. Özdemir et al. beobachteten Patienten mit K-TEP über 2 Jahre nach dem Eingriff. Diese Patienten konnten trotz initialer Unzufriedenheit mit dem Eingriff, sofern keine mechanischen Probleme mit der K-TEP bevorstanden, durch regelmäßige Nachsorge, angemessene Kommunikation und Information sowie Rehabilitation mit der Zeit zufrieden werden [97]. Sabah et al. analysierten ebenso in

2022 die Daten von 308.007 Patienten mit K-TÉP aus dem *NHS-Register* in Großbritannien über die letzten 10 Jahre. Dabei kamen sie zu dem Schluss, dass nahezu alle PROMs nach Prothesenersatz in den letzten sieben Jahren Verbesserungen gezeigt haben. Ein schärferer Ausschluss der Patienten mit sehr guten postoperativen Ergebnissen wurde von den Autoren vorgeschlagen, um die minimale Verbesserung der Ergebnisse weiterhin stimmiger messen zu können [98]. Eine Analyse von Shamdasani et al. im Jahr 2022 evaluierte die Zufriedenheit der Patienten über 3,2 Jahre nach einer Individualprothese am Kniegelenk. Obwohl die neutrale Beinachse nicht in allen Fällen wiederhergestellt werden konnte, verbesserten sich die klinischen Ergebnisse, welche mittels KSS erfasst wurden, erheblich [99].

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie spiegeln die zahlreichen Literaturdaten wider, wobei der KSS ungeachtet der präoperativen Beinachse erheblich postoperativ anstieg. Ein präoperativer Wert von $133,25 \pm 16,65$ für die NL-Gruppe, $134 \pm 17,82$ für die valgische Kategorie und $126,75 \pm 15,24$ für die varische Gruppe erreichte postoperativ die jeweiligen Werte von $197,93 \pm 20,95$, $199,33 \pm 18,92$ und $192,28 \pm 20,83$ bei einem maximal erreichbaren Score von 255 Punkten. Dieser Vergleich zeigte sich in allen 3 Subgruppen statistisch signifikant ($p < 0,0001$). Eine Aufteilung dieses Scores in 8 Untergruppen ergab ebenso statistisch relevante Ergebnisse in den subsummierten Teilbereichen Beinachse, mediolaterale Instabilität in Streckung, anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung, Bewegungsausmaß, Symptome, Patientenzufriedenheit, Erwartungen und Aktivität ($p < 0,0001$). Eine Ausnahme bildete der Teilbereich anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung in der der valgischen Gruppe, der sich zwar verbessert zeigte, aber ohne eine statistische Signifikanz blieb ($p = 0,1251$).

Auf Höhe des Sprunggelenks demonstrierten zahlreiche Studien den Zusammenhang zwischen der Kniegelenks- und Sprunggelenksstellung sowie deren Wirkung auf die Symptome der Patienten. Wie bereits beschrieben, definierten Feng et al. [86], Sari et al. [87], Diao et al. [88] und Jeong et al. [89] nicht nur einen Einfluss der K-TÉP auf die Achsenstellung des Sprunggelenks, sondern eine klinische Wirkung dieser auf die Symptome der Patienten im Sprunggelenk- und Rückfußbereich. Aus diesem Grund sollten Veränderungen in Teilen der unteren Extremität, insbesondere distaler des Sprunggelenks vor einem operativen Eingriff am Kniegelenk berücksichtigt werden, um eine optimale Patientenversorgung auch

durch Reduzierung der Beschwerden im Sprunggelenk- und Fußbereich gewährleisten zu können [100, 89].

Der EFAS-Score wurde im Jahr 2018 etabliert und von der EFAS als zuverlässig, valide und klinisch einsetzbar bewertet [64]. Mithilfe dieses Scores zeigten Carmody et al. in 2022, dass Schmerzen im Fuß- und Sprunggelenkbereich häufig sind und von fast der Hälfte der Patienten vor einer K-TEP angegeben wurden. Diese wurden jedoch von etwa der Hälfte der Patienten ein Jahr nach dem Eingriff nicht mehr berichtet. Diejenigen, die vor der Operation Fußschmerzen hatten, erfuhren eine mindestens gleichwertige Verbesserung der kniebezogenen Symptome und der Mobilität im Vergleich zu denjenigen ohne Fußschmerzen. Daher sollte das Vorhandensein solcher Schmerzen kein Hinderungsgrund für eine K-TEP sein [101]. Letztendlich konnten Krüger et al. in der bereits beschriebenen Arbeit von 2022 beweisen, dass eine Veränderung des EFAS-Scores um 7 Punkte oder mehr klinisch hoch relevant war [64].

In der vorliegenden Studie konnten wir einen EFAS-Score von 10,5, 10,5 und 11 in den jeweiligen NL-, VL- und VR-Gruppen aufzeigen. Diese Scores variierten zwischen 1 und 24 in der NL-Gruppe, 4 und 16 für die VL- und 2 und 20 für die VR-Kategorie bei einem maximal erreichbaren Wert von 24. Postoperativ erfolgte ein deutlicher Anstieg dieses Scores um über 7 Punkte, was somit die klinische Relevanz, welche ebenso von Krüger et al. beschrieben wurde, hervorhob. Hierzu wurden ausschließlich statistisch signifikante Differenzen kalkuliert ($p < 0,0001$) mit einer Besserung des Medians von 8 Punkten für die normale Beinachsengruppe, 10 Punkten für Patienten mit präoperativ valgischer Achse und 9 Punkten für die VR-Kategorie bei einer Spannweite von 24 in allen 3 Gruppen.

4.4 Zusammenhangsanalysen

In diesem Abschnitt erfolgt die Analyse der verschiedenen möglichen Zusammenhänge unserer Ergebnisse. Es handelt sich hierbei nicht um eine Kausalität der Ereignisse, sondern lediglich um mögliche Korrelationen der Resultate untereinander.

Es wurde in erster Linie der Zusammenhang zwischen der Veränderung der Gelenkwinkel und der Veränderung der klinischen Parameter untersucht. Der KSS wurde dazu in 8 Kategorien unterteilt, um die einzelnen Variablen einzeln

untersuchen zu können. Für Patienten mit präoperativer varischer Achse konnten im 3-Jahres-Verlauf auf Höhe des Kniegelenks Zusammenhänge zwischen der Symptomentwicklung und dem mL DFA ($p = 0,0072$), und zwischen den Erwartungen und dem mMPTA ($p = 0,0159$) nachgewiesen werden. Darüber hinaus waren die Differenzen des mMPTA und des EFAS-Scores in der normalen Gruppe statistisch signifikant ($p = 0,0430$). Im Bereich des Sprunggelenks wurde eine Signifikanz zwischen mLDTA und EFAS-Score in der VL-Gruppe evident ($p = 0,0240$). Die anderen Parameter und Patientengruppen konnten keine weitere statistische Bedeutsamkeit reproduzieren.

Die sporadische Signifikanz der Ergebnisse sowie die Koeffizienten, die zwischen $-0,439$ und $0,314$ variierten, zeigten keinen linearen Zusammenhang der Befunde, somit war die im Abschnitt 3.3.3. detaillierte Korrelation zwischen der Veränderung der Gelenkwinkel und der Veränderung der klinischen Parameter wenig aussagekräftig.

Ähnliche Ergebnisse veröffentlichten Cherches et al. in 2022 nach einer retrospektiven Studie über 2 Jahren, wobei eine stetige PROM-Besserung nach 3, 12 und 24 Monaten belegt wurde, ungeachtet der Veränderung der Gelenklinie in der frontalen Achse [102]. Eine Idee, dass die PROMs-Besserung bzw.

Patientenzufriedenheit durch Individualimplantate erreicht werden könnte, wurde in 2021 durch Beit Ner et al. ausgeschlossen. In ihrer systemischen Überprüfung der Daten von 1.510 Patienten aus insgesamt fünf Studien bewiesen sie, dass kein offensichtlicher Vorteil für individuell angefertigte Implantate im Vergleich mit den Standardimplantaten in Bezug auf PROM-Scores gefunden werden konnte [103].

Im weiteren Schritt erfolgte die Analyse der KSS-Subkategorien unter sich, hier wurden Differenzen der PROMs mit Differenzen der objektiven Parameter auf Signifikanz geprüft. Die durchgeführte Korrelationsanalyse konnte einen Zusammenhang der klinischen Beinachse mit den Symptomen in der normalen Gruppe ($p = 0,0320$) sowie mit der Erwartung der Patienten ($p = 0,0178$) und deren Symptomen ($p = 0,0112$) in der varischen Untergruppe aufzeigen. Die Instabilitäten konnten mediolateral in der VR-Gruppe mit der Aktivität assoziiert werden ($p = 0,0370$). Die anteroposteriore Instabilität konnte mit der Zufriedenheit der NL- ($p < 0,0001$) und VL- ($p = 0,0018$) Gruppen sowie mit der Erwartung ($p = 0,0025$) der Patienten der VR-Gruppe verbunden werden. Das Bewegungsausmaß konnte in allen Untergruppen mit den PROMS nicht verbunden werden.

Ähnlich zur ersten Korrelationsanalyse konnte die zweite Korrelation zwischen den PROMs und den objektiven KSS-Parametern keine lineare Abhängigkeit aufzeigen. Die Spearman-Korrelationsfaktoren der signifikanten Ergebnisse variierten zwischen -0,2973 und 0,4465 und erklärten somit keine absolute Verbindung ($S_p-K > 0,8$) zwischen den analysierten Variablen. Dies wurde im Abschnitt 3.3.4 aufgezeigt. In der Literatur schlugen Bolink et al. vor, um die Veränderungen der körperlichen Funktion nach einer K-TEP zu charakterisieren, die PROMs durch leistungsbasierte Messungen zu ergänzen, die die Funktion bei verschiedenen Aktivitäten entsprechend bewerten sollen [104]. Die Daten von Itou et al. deuteten darauf hin, dass ein Vorhersagemodell der Patientenzufriedenheit einen geringen Wert hat. Obwohl die KSS-Zufriedenheit sich postoperativ verbesserte, blieb eine Diskrepanz zwischen der präoperativ vorhergesagten postoperativen Patientenzufriedenheit und der tatsächlichen postoperativen Patientenzufriedenheit bestehen [105]. Die dritte Korrelationsanalyse untersuchte den Zusammenhang des EFAS-Scores und des KSS. In allen drei Untergruppen zeigte sich die Aktivität des KSS mit dem EFAS-Score verbunden, sowohl in der NL- ($p = 0,0002$) als auch in der VL- ($p = 0,0040$) und VR- ($p = 0,0324$) Gruppe. Bei positivem Korrelationsfaktor waren beide Scores gleich positiv beeinflusst nach K-TEP, jedoch ohne linearen Zusammenhang bei Faktorwerten zwischen 0,254 und 0,508. Dieses wurde im Abschnitt 3.3.5 demonstriert. Während in der Literatur Studien in 2022 von Gottschalk et al. und Zanzinger et al. die wertvolle Bedeutung des EFAS-Scores und seine Patientenfreundlichkeit betonten, konnten bisher keine Studien den Score in Zusammenhang mit Knieprothesen und KSS untersuchen [106, 107].

4.5 Regressionsanalyse

In diesem Abschnitt erfolgt der Vergleich der klinischen Scores als abhängige Variablen mit den unabhängigen Variablen wie BMI, Alter, Geschlecht und Beinwinkel in allen 3 Subgruppen. Unsere Ergebnisse korrelierten mit bereits veröffentlichten Studien, wobei der BMI-Score mit dem Outcome der K-TEP verbunden war. In der vorliegenden Arbeit konnte der BMI mit der Instabilität des Kniegelenks in der normalen Beinachse ($p < 0,0001$), der Patientenzufriedenheit in der valgischen Gruppe ($p = 0,0129$) und den Symptomen der Patienten mit

präoperativ varischer Achse ($p = 0,0415$) in Verbindung gebracht werden. Andere Einflussfaktoren konnten keinen Zusammenhang feststellen.

Ingelsrud et al. analysierten in 2022 unabhängige Variablen mit ihrem Einfluss auf die PROMs bezogen auf die internationalen Knieendoprothesenregister und kamen zu dem Ergebnis, dass die Verbesserungen der PROM-Werte zwischen den einzelnen internationalen Registern variierten, was teilweise durch Unterschiede bei Alter, Geschlecht und präoperativen Werten erklärt werden konnte. Allerdings war ein höherer BMI in allen Registern tendenziell mit niedrigeren präoperativen PROM-Werten verbunden [108]. Andererseits, observierten Elcock et al. in 2022 eine signifikante Verbesserung aller PROMs ($p < 0,05$) nach K-TEP in beiden Patientengruppen, sowohl mit BMI $> 40 \text{ kg/m}^2$ als auch BMI $< 40 \text{ kg/m}^2$, jedoch mit höheren Komplikationsraten nach einer K-TEP bei stark adipösen Patienten [109]. Baghbani-Naghadehi et al. unterstützen diese Ergebnisse in ihrer Studie in 2022, wobei Patienten in allen BMI-Gruppen nach einer K-TEP über eine Verbesserung von Schmerzen, Funktion und Steifheit berichteten. Patienten mit einem als fettleibig eingestuften BMI berichteten über ähnliche Vorteile wie Patienten mit einem als normalgewichtig eingestuften BMI [110].

4.6 Limitationen

Die vorliegende Studie ist, wie bei vielen der hier erwähnten Studien, in der Aussagekraft durch ihren retrospektiven Charakter und den damit verbundenen potenziellen Bias begrenzt. Dieses Design kann die Verlässlichkeit der erhobenen Daten verringern.

Wir haben klare Definitionen der analysierten Variablen verwendet und eine eng umschriebene Studiengruppe betrachtet, um den Einfluss von potenziellen Einflussfaktoren zu reduzieren. Da die Patienten nicht prospektiv analysiert wurden, war der Beobachtungszeitraum auf die in der klinischen Routine etablierten ambulanten Nachuntersuchungstermine begrenzt. Somit ist es fast unmöglich, die im weiteren Verlauf entstehenden Komplikationen und gegebenenfalls Behandlerwechsel umfänglich zu erfassen. Daher ist der Vergleich mit den Daten der etablierten Datenregister und den Routinedaten der Krankenkassen ratsam. Die begrenzte Anzahl von Patienten und der Nachuntersuchungszeitraum können jedoch als weitere Limitationen die Aussagekraft der statistischen Auswertung

eingeschränkt haben. Diese könnten teilweise zu fehlenden Korrelationen zwischen den klinikbezogenen und radiologischen Parametern geführt haben. Eine Erhöhung der Fallzahl sowie das Einbeziehen möglicher Einflussfaktoren hätte sich als vorteilhaft zeigen können, um eventuelle Zusammenhänge weiterführend aufzudecken.

Weitere, bestenfalls kontrollierte Studiendesigne, wie prospektive Untersuchungen, mit größeren Studiengruppen sind erforderlich, um die Auswirkungen bestimmter beschriebener Parameter als Prädiktoren genauer zu definieren und gegebenenfalls durch Korrelationen und Regressionen zu validieren.

Der primäre Fokus dieser Studie beruhte nicht auf dem Vergleich der Daten anderer Arbeiten, sondern sollte die Aufmerksamkeit auf neu zu entdeckende Aspekte legen, welche unter Umständen nicht standardmäßig im Rahmen der endoprothetischen Versorgung beachtet werden. Ferner zielte die Arbeit darauf ab, jene in neuen prospektiven Studien zu eruieren, um anhand dessen die Kausalität der hier positiv ermittelten Korrelationen weiterführend zu untersuchen.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Der endoprothetische Kniegelenksersatz (K-TEP) ist ein hoch standardisierter Eingriff und gehört zu den am meisten durchgeführten orthopädischen Eingriffen weltweit.

Die zentralen Fragen der vorliegenden Arbeit waren die Reproduktion der physiologischen mechanischen Beinachse mittels Einbau einer K-TEP, die radiologisch nachweisbare Auswirkung auf die angrenzenden Gelenke sowie eine mögliche Verbesserung des klinischen Outcomes im Drei-Jahres-Verlauf herauszustellen. Dazu wurde die K-TEP mit einem femoralen Valguswinkel von 6° bei Patienten mit unterschiedlicher präoperativer Beinachse (Valgus, Varus, normal) implantiert.

Es wurden die Daten von 194 Patienten (w: m 126: 68 Patienten) mit einem Durchschnittsalter von $69,12 \pm 9.60$ Jahren (43-96 Jahre) und einem BMI-Mittelwert von $29,17 \pm 4,77 \text{ kg/m}^2$ ($19,84 - 48,55 \text{ kg/m}^2$) erfasst, diese spiegelten sich in den drei Untergruppen wider.

Die postoperative Veränderung des mL DFA (mechanical lateral distal femoral angle), der hauptverantwortliche Winkel für die Beinachse unseres Patientenkollektivs, zeigte sich sowohl in der normalen als auch in der valgischen Untergruppe signifikant. Auch 3 Jahre postoperativ konnten ebenfalls signifikante Ergebnisse für alle Untergruppen gezeigt werden. Somit ermöglichte der Einbau einer K-TEP die Reproduktion der physiologischen mechanischen Beinachse im mittelfristigen postoperativen Verlauf.

Im Hinblick auf die angrenzenden Gelenke konnte die eingebrachte K-TEP bei Patienten mit präoperativem Valgus oder Varus jene Fehlstellung verändern und demzufolge die Winkel auf Höhe des Hüft- und Sprunggelenks in die Normbereiche während des dreijährigen Verlaufs korrigieren.

Klinisch erbrachte der EFAS (European Foot and Ankle Society) -Score in allen Untergruppen eine statistisch signifikante Besserung des Medians bei nicht-normalverteilten Werten. Auch die KSS (Knee Society Score) -Werte entwickelten sich über den Beobachtungszeitraum in allen drei Untergruppen gleich positiv mit deutlicher Besserung aller Mittelwerte von über 6 Punkten. Jedoch konnte für die AP-Instabilität in 90° Beugung in der valgischen Gruppe kein signifikantes Ergebnis belegt werden.

Die Korrelation zwischen den radiologischen und klinischen Ergebnissen erbrachte keine signifikanten Ergebnisse. Obwohl Winkelveränderungen und klinische Besserungen direkt nach dem operativen Eingriff und im 3-Jahres-Verlauf signifikant waren, konnten wir keine direkte Verbindung oder Kausalität der Ergebnisse untereinander sichern.

Limitiert wird die Aussagekraft der vorliegenden Studie vor allem durch das retrospektive Studiendesign, die limitierte Fallzahl und den Studienzeitraum von 3 Jahren.

Aus den hier festgestellten Korrelationen zwischen dem BMI (Body Mass Index) und der Häufigkeit der Symptome, der Unzufriedenheit der Patienten sowie der Instabilität des Kniegelenks ergibt sich die Empfehlung zu zukünftigen prospektiven, multizentrischen Studien mit einer höheren Fallzahl, um die Fragestellung detailliert zu bearbeiten und Ergebnisse sowie Schlussfolgerung vorliegender Studien näher zu beleuchten.

Die vorliegende Studie soll eine Basis für die Weiterentwicklung innovativer Behandlungsstrategien der Gonarthrose liefern. Hierdurch sollen perspektivisch verbesserte Therapieergebnisse erzielt werden, in dem die Planung und Durchführung der Implantation einer K-TEP im Gesamtkontext der Ausrichtung der Beinachse und der angrenzenden Gelenke berücksichtigt wird.

6 LITERATURVERZEICHNIS

1. Rabenberg M. Arthrose. Gesundheitsberichterstattung des Bundes; Heft 54. Berlin: Robert Koch-Institut; 2013.
2. Judith Fuchs, Ronny Kuhnert, Scheidt-Nave C. 12-Monats-Prävalenz von Arthrose in Deutschland. *Journal of Health Monitoring*. 2017;2(2017):55-60.
3. König DP, Schnurr C. Gonarthrose. In: Ruchholtz S, Wirtz DC, editors. *Orthopädie und Unfallchirurgie essentials*. Georg Thieme Verlag KG; 2021.
4. Hans-Holger Bleß DmMK. *Weißbuch Gelenkersatz*. Berlin: Springer; 2016.
5. Alexander Grimberg VJWD, Jörg Lützner, Oliver Melsheimer, Michael Morlock, Arnd Steinbrück. Jahresbericht 2021. *Endoprothesenregister Deutschland (EPRD)*. 2021.
6. World Health Organisation RofE. Body mass index - BMI. World Health Organisation, Regional office for Europe; 2022.
7. Spindler J. Fallpauschalenbezogene Krankenhausstatistik: Diagnosen und Prozeduren der Krankenhauspatienten auf Basis der Daten nach § 21 Krankenhausentgeltgesetz. In: Klauber J, Geraedts M, Friedrich J, Wasem J, Beivers A, editors. *Krankenhaus-Report 2020: Finanzierung und Vergütung am Scheideweg*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2020. p. 413-46.
8. Hinkelmann UHF, Michael (Herausgeber). *Die Endoprothese: Das künstliche Hüft- und Kniegelenk Schritt für Schritt erklärt*. München: Urban & Fischer Verlag/ Elsevier GmbH; 2012.
9. Jerosch J. Welche Prothesen für das Kniegelenk gibt es? *Knieendoprothetik: Indikationen, Operationstechnik, Nachbehandlung, Begutachtung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2015. p. 61-103.
10. Willegger M, Kolb A, Chiari C. Achsdeformitäten am wachsenden Skelett – diagnostisches Vorgehen. *zs-orthounfall*. 2017 2017/02/01;155(01):105-19.
11. Jerosch J. Postoperative Probleme. *Knieendoprothetik: Indikationen, Operationstechnik, Nachbehandlung, Begutachtung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2015. p. 269-84.
12. Bull AMJ, Amis A. Biomechanik. In: Kohn D, editor. *Orthopädie und Orthopädische Chirurgie – Knie*. Georg Thieme Verlag KG; 2004.
13. Jerosch J. Endoprothesenrelevante Biomechanik und Pathophysiologie des Kniegelenkes. *Knieendoprothetik: Indikationen, Operationstechnik, Nachbehandlung, Begutachtung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2015. p. 5-29.
14. Rivière C, Iranpour F, Auvinet E, Howell S, Vendittoli PA, Cobb J, et al. Alignment options for total knee arthroplasty: A systematic review. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2017 Nov;103(7):1047-56.
15. Luceri F, Sosio C, Sirtori P, Battistella D, Zuffada M, Ulivi M, et al. Kinematic versus mechanical alignment in total knee arthroplasty: a preliminary study. *J Biol Regul Homeost Agents*. 2020 Jul-Aug;34(4 Suppl. 3):139-43. Congress of the Italian Orthopaedic Research Society.
16. Schünke M SE, Schumacher U. *Prometheus LernAtlas der Anatomie*. Stuttgart: Thieme; 2012.
17. Wirth CJ. 41 Kniegelenk. *Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie*. 3., vollständig überarbeitete Auflage ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2014.
18. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. Gelenkerkrankungen. In: Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P, editors. *Duale Reihe Orthopädie und Unfallchirurgie*. Georg Thieme Verlag KG; 2022.

19. Gravius S, El-Zayat BF, Hamsen U, Waydhas C, Kill C, Wulf H, et al. Grundlagen. In: Ruchholtz S, Wirtz DC, editors. Orthopädie und Unfallchirurgie essentials. Georg Thieme Verlag KG; 2021.
20. Hirt B. Chirurgische Anatomie. In: Kohn D, editor. Expertise Knie. Georg Thieme Verlag; 2015.
21. Brockmeyer M, Orth P, Höfer D, Seil R, Paulsen F, Menger MD, et al. The anatomy of the anterolateral structures of the knee - A histologic and macroscopic approach. *Knee*. 2019 Jun;26(3):636-46.
22. Masouros SD, Halewood C, Bull AMJ, Amis A. Biomechanik des Kniegelenks. In: Kohn D, editor. Expertise Knie. Georg Thieme Verlag; 2015.
23. Grood ES, Suntay WJ. A joint coordinate system for the clinical description of three-dimensional motions: application to the knee. *J Biomech Eng*. 1983 May;105(2):136-44.
24. Wu G, Cavanagh PR. ISB recommendations for standardization in the reporting of kinematic data. *J Biomech*. 1995 Oct;28(10):1257-61.
25. Hirt B, Masouros SD, Halewood C, Bull AMJ, Amis A, Wirth CJ, et al. I Allgemeiner Teil. In: Kohn D, editor. Expertise Knie. Georg Thieme Verlag; 2015.
26. Wirth CJ, Kohn D. Klinische Diagnostik. In: Kohn D, editor. Expertise Knie. Georg Thieme Verlag; 2015.
27. Niethard FU, Carstens C, Döderlein L, Peschgens T. Wachstum. In: Niethard FU, Carstens C, Döderlein L, Peschgens T, editors. Kinderorthopädie. Georg Thieme Verlag KG; 2009.
28. Pfeil J. Deformitätenkorrektur. In: Ewerbeck V, Wentzensen A, Grützner P, Holz F, Krämer K-L, Pfeil J, et al., editors. Standardverfahren in der operativen Orthopädie und Unfallchirurgie. Georg Thieme Verlag; 2014.
29. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. Erworbene Wachstumsstörungen. In: Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P, editors. Duale Reihe Orthopädie und Unfallchirurgie. Georg Thieme Verlag KG; 2022.
30. Döderlein L. Achsdeformitäten des Kniegelenks. In: Kohn D, editor. Expertise Knie. Georg Thieme Verlag; 2015.
31. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker KH. 1.2 Anatomische und mechanische Achsen des Beines. In: Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker KH, editors. Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. Georg Thieme Verlag KG; 2018.
32. Dickob M. Ganzbeinaufnahme a.-p., Knie gestreckt. In: Flechtenmacher J, Sabo D, editors. Praktische Röntgendiagnostik Orthopädie und Unfallchirurgie. Georg Thieme Verlag; 2014.
33. Schröter S. Systematische radiologische Analyse von Fehlstellungen. In: Lobenhoffer P, van Heerwaarden R, Agneskirchner J, editors. Kniegelenksnahe Osteotomien. Georg Thieme Verlag KG; 2014.
34. Galla M, Lobenhoffer P. Physiologische Achsenverhältnisse des Beines und die Auswirkung von Fehlstellungen. In: Lobenhoffer P, van Heerwaarden R, Agneskirchner J, editors. Kniegelenksnahe Osteotomien. Georg Thieme Verlag KG; 2014.
35. Pfeil J. Kinderorthopädie. In: Ewerbeck V, Wentzensen A, Grützner P, Holz F, Krämer K-L, Pfeil J, et al., editors. Standardverfahren in der operativen Orthopädie und Unfallchirurgie. Georg Thieme Verlag; 2014.

36. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. Biomechanik der Gelenke und Pathogenese des Gelenkschadens. In: Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P, editors. Duale Reihe Orthopädie und Unfallchirurgie. Georg Thieme Verlag KG; 2022.
37. Ollivier M, Parratte S, Lecoq L, Flecher X, Argenson JN. Relation between lower extremity alignment and proximal femur anatomy. Parameters during total hip arthroplasty. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2013 Sep;99(5):493-500.
38. Fujimaki H, Inaba Y, Kobayashi N, Tezuka T, Hirata Y, Saito T. Leg length discrepancy and lower limb alignment after total hip arthroplasty in unilateral hip osteoarthritis patients. *J Orthop Sci.* 2013 Nov;18(6):969-76.
39. Paley D, Pfeil J. [Principles of deformity correction around the knee]. *Orthopäde.* 2000 Jan;29(1):18-38.
40. Galla M, Lobenhoffer P. Systematische Analyse von Achsenfehlstellungen. In: Lobenhoffer P, Agneskirchner J, Galla M, editors. Kniegelenknahe Osteotomien. Georg Thieme Verlag KG; 2006.
41. Flörkemeier S, Kley K, Lobenhoffer P. Kniegelenknahe Umstellungsosteotomie im Erwachsenenalter. *ortho-unfall-u2d.* 2019 2019/02/01;14(01):95-109.
42. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. Degenerative Gelenkerkrankungen. In: Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P, editors. Duale Reihe Orthopädie und Unfallchirurgie. Georg Thieme Verlag; 2017.
43. Beitzel K. Gonarthrose. In: Imhoff A, Linke R, Baumgartner R, editors. Checkliste Orthopädie. Georg Thieme Verlag KG; 2021.
44. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. Gonarthrose. In: Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P, editors. Duale Reihe Orthopädie und Unfallchirurgie. Georg Thieme Verlag; 2017.
45. Gravius S. Arthrose. In: Ruchholtz S, Wirtz DC, editors. Orthopädie und Unfallchirurgie essentials. Georg Thieme Verlag KG; 2019.
46. Breusch S, Krämer K-L. Gonarthrose. In: Ewerbeck V, Wentzensen A, Grützner P, Holz F, Krämer K-L, Pfeil J, et al., editors. Standardverfahren in der operativen Orthopädie und Unfallchirurgie. Georg Thieme Verlag; 2014.
47. Römer M, Krieg H, Krimphove M, Birnbaum J. Knie-TEP. In: Kastrup M, Kerner T, Kox WJ, Spies C, Zielke H, Melzer-Gartzke C, editors. SOPs in Anästhesiologie und Schmerztherapie. Georg Thieme Verlag; 2013.
48. Reichel H, Bieger R, Windhagen H, Calliess T, Imhoff A. Alloarthroplastik. In: Kohn D, editor. Expertise Knie. Georg Thieme Verlag; 2015.
49. Imhoff A. Endoprothetik. In: Imhoff A, Linke R, Baumgartner R, editors. Checkliste Orthopädie. Georg Thieme Verlag KG; 2021.
50. Schnurr C, König DP. Endoprothetik. In: Ruchholtz S, Wirtz DC, editors. Orthopädie und Unfallchirurgie essentials. Georg Thieme Verlag KG; 2021.
51. Fraitl CR, Flören M, Reichel H. Kniegelenk – Arthrose und Arthritis. *ortho-unfall-u2d.* 2008 2008/06/01;3(03):155-76.
52. Breusch S, Krämer K-L. Ungekoppelte bikondyläre Prothese. In: Ewerbeck V, Wentzensen A, Grützner P, Holz F, Krämer K-L, Pfeil J, et al., editors. Standardverfahren in der operativen Orthopädie und Unfallchirurgie. Georg Thieme Verlag KG; 2014.
53. Smith AF, Eccles CJ, Bhimani SJ, Denehy KM, Bhimani RB, Smith LS, et al. Improved Patient Satisfaction following Robotic-Assisted Total Knee Arthroplasty. *J Knee Surg.* 2021 Jun;34(7):730-38.
54. Duivenvoorden T, Verburg H, Verhaar JA, Bierma-Zeinstra SM, Reijman M. [Patient expectations and satisfaction concerning total knee arthroplasty]. *Ned Tijdschr Geneesk.* 2017;160:D534.

55. Callies T. EM, Stukenborg-Colsmann, Windhagen H. . Kinematisches Alignment in der Knieendoprothetik. *Orthopäde*. 2015;44:282.
56. Lee JH, Jeong BO. Radiologic changes of ankle joint after total knee arthroplasty. *Foot Ankle Int*. 2012 Dec;33(12):1087-92.
57. Shichman I, Ben-Ari E, Sissman E, Oakley C, Schwarzkopf R. Effect of Total Knee Arthroplasty on Coronal Alignment of the Ankle Joint. *The Journal of Arthroplasty*. 2022 2022/05/01/;37(5):869-73.
58. Scuderi GR, Bourne RB, Noble PC, Benjamin JB, Lonner JH, Scott WN. The new Knee Society Knee Scoring System. *Clin Orthop Relat Res*. 2012;470(1):3-19.
59. Wang Y, Yin M, Zhu S, Chen X, Zhou H, Qian W. Patient-reported outcome measures used in patients undergoing total knee arthroplasty. *Bone Joint Res*. 2021;10(3):203-17.
60. Society TK. KNEE SOCIETY SCORE: PRÄ-OP. German translation provided in cooperation with PETER BREHM GmbH; 2011. p. 7.
61. Society TK. KNEE SOCIETY SCORE: POST-OP. German translation provided in cooperation with PETER BREHM GmbH; 2011. p. 7.
62. Culliton SE, Bryant DM, MacDonald SJ, Hibbert KM, Chesworth BM. Validity and Internal Consistency of the New Knee Society Knee Scoring System. *Clin Orthop Relat Res*. 2018 Jan;476(1):77-84.
63. Richter M, Agren PH, Besse JL, Cöster M, Kofoed H, Maffulli N, et al. EFAS Score - Multilingual development and validation of a patient-reported outcome measure (PROM) by the score committee of the European Foot and Ankle Society (EFAS). *Foot Ankle Surg*. 2018 Jun;24(3):185-204.
64. Krüger L, Rolvien T, Seller M, Hubert J, Beil FT, Strahl A. Reliability, validity and clinical applicability of the German version of the European Foot and Ankle Society Score. *Foot Ankle Surg*. 2022 Jun 22.
65. Montiel V, Troncoso S, Valentí-Azcárate A, Valentí-Nin JR, Lamo-Espinosa JM. Total Hip Arthroplasty Digital Templating: Size Predicting Ability and Interobserver Variability. *Indian J Orthop*. 2020 Nov;54(6):840-47.
66. Mirghaderi SP, Sharifpour S, Moharrami A, Ahmadi N, Makuku R, Salimi M, et al. Determining the accuracy of preoperative total hip replacement 2D templating using the mediCAD(®) software. *J Orthop Surg Res*. 2022 Apr 10;17(1):222.
67. Hochhausen C. Vergleich der software-unterstützten Vermessung von Röntgenaufnahmen der unteren Extremität im Rahmen der präoperativen Planung für Korrekturingriffe mit der manuellen Planung. Medizinische Hochschule Hannover: Hannover; 2004. p. 79.
68. Doll L. Die Wertigkeit der Ganzbeinaufnahme zur präoperativen Planung von Korrekturosteotomien. Medizinische Fakultät der Universität Ulm: Ulm; 2013.
69. Mohd Razali N, Yap B. Power Comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests. *J Stat Model Analytics*. 2011 01/01;2.
70. Yap BW, Sim CH. Comparisons of various types of normality tests. *Journal of Statistical Computation and Simulation*. 2011 2011/12/01;81(12):2141-55.
71. Weiß C. Basiswissen Medizinische Statistik. Springer, Berlin, Heidelberg; 2013.
72. Jürgen Hedderich LS. Angewandte Statistik. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg; 2018.

73. Hilgers RD, Heussen N, Stanzel S. Regression, logistische. In: Gressner AM, Arndt T, editors. *Lexikon der Medizinischen Laboratoriumsdiagnostik*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2019. p. 2049-49.
74. Otto Robertson AW-D, Lars Lidgren, Martin Sundberg. The swedish knee arthroplasty register - Annual report 2020. Lund - Sweden: Lund University, Department of Clinical Sciences, Orthopedics, Skane University Hospital, Lund; 2020. p. 104.
75. Centre N. Patient characteristics for primary knee replacement procedures. 575-599 Maxted Rd, Hemel Hempstead, HP2 7DX.: The NJR Centre, c/o NEC Software Solutions; 2022.
76. Reagan Bayer M, PMP; Lori Boukas, MS; Ayushmita De, PhD; Patrick Donnelly, MA; Phil Dwyer; Frosiana Gjerazi; Nathan Glusenkamp, MA; Ben Harkinson; Ben Imlay, MS; Heena Jaffri, MPH; Brandy Keys, MPH; Erik Michalesko; Kyle Mullen, MPH; Kimberly Porter, PhD, MPH; Kristine Sizemore, MPH; Patrick Yep, MS, MPH, MSP; Diane Ziegenhorn, PT, DPT, MHA. American Joint Replacement Registry (AJRR): 2021 Annual Report. . In: James Browne M, FAAOS, editor. Rosemont, IL.: American Academy of Orthopaedic Surgeons (AAOS), 2021; 2021.
77. Schienkiewitz AK, Ronny; Blume, Miriam; Mensink, Gert B.M. . Übergewicht und Adipositas bei Erwachsenen in Deutschland – Ergebnisse der Studie GEDA 2019/2020-EHIS. *Journal of Health Monitoring*. 2022 14.09.2022;7(7/2022):23-31.
78. Haftenberger M, Mensink GBM, Herzog B, Kluttig A, Greiser KH, Merz B, et al. Changes in body weight and obesity status in German adults: results of seven population-based prospective studies. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2016 2016/03/01;70(3):300-05.
79. Eriksson HK, Lazarinis S. Patient-related factors associated with superficial surgical site infection and progression to a periprosthetic joint infection after elective primary total joint arthroplasty: a single-centre, retrospective study in Sweden. *BMJ Open*. 2022 Sep 19;12(9):e060754.
80. Ranawat CS, Sculco TP. History of the Development of Total Knee Prosthesis at The Hospital for Special Surgery. In: Ranawat CS, editor. *Total-Condylar Knee Arthroplasty: Technique, Results, and Complications*. New York, NY: Springer New York; 1985. p. 3-6.
81. Jeffery RS, Morris RW, Denham RA. Coronal alignment after total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br*. 1991 Sep;73(5):709-14.
82. Fang DM, Ritter MA, Davis KE. Coronal alignment in total knee arthroplasty: just how important is it? *J Arthroplasty*. 2009 Sep;24(6 Suppl):39-43.
83. van Hamersveld KT, Marang-van de Mheen PJ, Nelissen R. The Effect of Coronal Alignment on Tibial Component Migration Following Total Knee Arthroplasty: A Cohort Study with Long-Term Radiostereometric Analysis Results. *J Bone Joint Surg Am*. 2019 Jul 3;101(13):1203-12.
84. Oh SM, Bin SI, Kim JY, Lee BS, Kim JM. Impact of preoperative varus deformity on postoperative mechanical alignment and long-term results of "mechanical" aligned total knee arthroplasty. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2019 Oct;105(6):1061-66.
85. Liu HX, Shang P, Ying XZ, Zhang Y. Shorter survival rate in varus-aligned knees after total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016 Aug;24(8):2663-71.

86. Feng Z, Ma M, Wang Y, Yang C, Liu Z, Xia Y. Clinical and Radiological Changes of Ankle in Knee Osteoarthritis With Varus After Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review. *Front Surg.* 2021;8:713055.
87. Sari A, Dincel YM, Cetin MU, Kilinc S, Gunaydin B, Ozdemir M. COMPARISON OF CHANGES IN THE ANKLE AFTER UNICONDYLAR KNEE ARTHROPLASTY AND HIGH TIBIAL OSTEOTOMY. *Acta Ortop Bras.* 2022;30(spe1):e245842.
88. Diao N, Yu F, Yang B, Ma L, Yin H, Guo A. Association between changes in hip-knee-ankle angle and hindfoot alignment after total knee arthroplasty for varus knee osteoarthritis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021 Jul 6;22(1):610.
89. Jeong BO, Kim TY, Baek JH, Jung H, Song SH. Following the correction of varus deformity of the knee through total knee arthroplasty, significant compensatory changes occur not only at the ankle and subtalar joint, but also at the foot. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018 Nov;26(11):3230-37.
90. Cho WS, Cho HS, Byun SE. Changes in hindfoot alignment after total knee arthroplasty in knee osteoarthritic patients with varus deformity. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017 Nov;25(11):3596-604.
91. Burssens ABM, Buedts K, Barg A, Vluggen E, Demey P, Saltzman CL, et al. Is Lower-limb Alignment Associated with Hindfoot Deformity in the Coronal Plane? A Weightbearing CT Analysis. *Clin Orthop Relat Res.* 2020 Jan;478(1):154-68.
92. Matsumoto T, Tsumura N, Kubo S, Shiba R, Kurosaka M, Yoshiya S. Influence of hip position on knee flexion angle in patients undergoing total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2005 Aug;20(5):669-73.
93. Nakano N, Kubo S, Sato Y, Takayama K, Mizuno K, Kuroda R, et al. Knee Flexion Angle Following Total Knee Arthroplasty Relates to a Preoperative Range of Motion of the Hip. *Indian J Orthop.* 2021 Aug;55(4):948-52.
94. Kirschner S, Matzer M, Wollmerstedt N, Walther M, Böhm D, König A, et al. Vergleichende Analyse der patientenzentrierten Ergebnisse nach totalendoprothetischem Ersatz von Hüft- und Kniegelenk. *rheuma-akt.* 2004 2004/08/01;29(04):201-06.
95. Salzmann M, Fennema P, Becker R, Hommel H. Does Postoperative Mechanical Axis Alignment Have an Effect on Clinical Outcome of Primary Total Knee Arthroplasty? A Retrospective Cohort Study. *Open Orthop J.* 2017;11:1330-36.
96. Zhang Z, Xing Q, Zhong D, Pan Y, He T, Hu Y, et al. The Impact of Psychological Health on Patient Recovery After Arthroplasty. *Front Psychiatry.* 2022;13:817716.
97. Özdemir M, Yaradılmış YU, Özdemir FE, Tarğal AS, Öztürk Ö, Altay M. Does Early-Period Patient Dissatisfaction Turn Into Satisfaction Over Time After Total Knee Replacement? *Med Sci Monit.* 2022 Jul 17;28:e936792.
98. Sabah SA, Knight R, Alvand A, Beard DJ, Price AJ. Early patient-reported outcomes from primary hip and knee arthroplasty have improved over the past seven years : an analysis of the NHS PROMs dataset. *Bone Joint J.* 2022 Jun;104-b(6):687-95.
99. Shamdasani S, Vogel N, Kaelin R, Kaim A, Arnold MP. Relevant changes of leg alignment after customised individually made bicompartamental knee arthroplasty due to overstuffing. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2022 Feb;30(2):567-73.
100. Norton AA, Callaghan JJ, Amendola A, Phisitkul P, Wongsak S, Liu SS, et al. Correlation of knee and hindfoot deformities in advanced knee OA:

- compensatory hindfoot alignment and where it occurs. *Clin Orthop Relat Res.* 2015 Jan;473(1):166-74.
101. Carmody D, Keighley G, Salmon L, Martina K, Pinczewski L, Lyons M, et al. Foot Pain is Common, But Frequently Improves 1 Year After Total Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2022 Jun;37(6):1069-73.
 102. Cherches M, Coss N, Nguyen K, Halvorson R, Allahabadi S, Bini S. No Correlation Between Clinical Outcomes and Changes in the Tibia-Metaphyseal Angle Following Total Knee Arthroplasty: A Retrospective Study. *J Arthroplasty.* 2022 Sep;37(9):1793-98.
 103. Beit Ner E, Dosani S, Biant LC, Tawy GF. Custom Implants in TKA Provide No Substantial Benefit in Terms of Outcome Scores, Reoperation Risk, or Mean Alignment: A Systematic Review. *Clin Orthop Relat Res.* 2021 Jun 1;479(6):1237-49.
 104. Bolink SA, Grimm B, Heyligers IC. Patient-reported outcome measures versus inertial performance-based outcome measures: A prospective study in patients undergoing primary total knee arthroplasty. *Knee.* 2015 Dec;22(6):618-23.
 105. Itou J, Itoh M, Kuwashima U, Okazaki K. Assessing the Validity of a New Prediction Model for Patient Satisfaction After Total Knee Arthroplasty: A Retrospective Cross-Sectional Study. *Orthop Res Rev.* 2020;12:133-37.
 106. Gottschalk O, Mazet J, Kerschl F, Schenk H, Suero EM, Hörterer H, et al. Correlation between EFAS- and MOCART score and clinical outcome after AMIC(®)-procedure for osteochondral lesion of the talus. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2022 May 21.
 107. Zanzinger C, Harrasser N, Gottschalk O, Dolp P, Hinterwimmer F, Hoerterer H, et al. One-year Follow-Up Results with Hydrogel Implant in Therapy of Hallux Rigidus: Case Series with 44 Patients. *Z Orthop Unfall.* 2022 Aug;160(4):414-21.
 108. Ingelsrud LH, Wilkinson JM, Overgaard S, Rolfson O, Hallstrom B, Navarro RA, et al. How do Patient-reported Outcome Scores in International Hip and Knee Arthroplasty Registries Compare? *Clin Orthop Relat Res.* 2022 Jul 8.
 109. Elcock KL, Carter TH, Yapp LZ, MacDonald DJ, Howie CR, Stoddart A, et al. Total knee arthroplasty in patients with severe obesity provides value for money despite increased complications. *Bone Joint J.* 2022 Apr;104-b(4):452-63.
 110. Baghbani-Naghadehi F, Armijo-Olivo S, Prado CM, Gramlich L, Woodhouse LJ. Does obesity affect patient-reported outcomes following total knee arthroplasty? *BMC Musculoskelet Disord.* 2022 Jan 17;23(1):55.

7 TABELLARISCHER ANHANG

Tabelle	Seite
Tabelle 21: Röntgenologische Klassifikation der Arthrose nach Kellgren und Lawrence [45].	30
Tabelle 22: BMI in kg/m ² nach Alters- und Geschlechterverteilung der Patienten bei Knieprothesenerstimplantationen im Jahr 2020 [5].	32
Tabelle 23: Komplikationen der K-TEP und Angabe der häufigsten Ursachen einer Revisionsendoprothetik [48].	38
Tabelle 24: Objektive und subjektive Parameter des KSS.	43
Tabelle 25: Mittelwerte mit Standardabweichung der Gelenkwinkel in den 3 Untergruppen an den 3 definierten Zeitpunkten. mLPFA (mechanical lateral proximal femoral angle), mL DFA (mechanical lateral distal femoral angle), mMPTA (mechanical medial proximal tibial angle) und mLDTA (mechanical lateral distal tibial angle).	51
Tabelle 26: Vergleichsanalyse der Mittelwerte mit Standardabweichung der an drei Zeitpunkten- präoperativ (Prä), postoperativ (Post) und 3 Jahre postoperativ (3-J-Post), gemessenen Gelenkwinkel in den drei Untergruppen: Normal, Valgus und Varus. Der Vergleich (Δ) wurde zwischen den postoperativen und präoperativen, 3-Jahres-postoperativen und postoperativen sowie 3-Jahres-postoperativen und präoperativen Werten der folgenden Gelenkwinkel kalkuliert: mLPFA (mechanical lateral proximal femoral angle), mL DFA (mechanical lateral distal femoral angle), mMPTA (mechanical medial proximal tibial angle) und mLDTA (mechanical lateral distal tibial angle).	52
Tabelle 27: Deskriptive Analyse der KSS-Teilskalen mit deren respektiven Standardabweichungen in Punkten in den drei Untergruppen an zwei Messzeiten: präoperativ (Prä) und 3 Jahre postoperativ (3-J-Post). Max. Score beschreibt den maximal erreichbaren Score in Punkten der Teilskalen: BA- Beinachse; ML- Mediolaterale Instabilität in Streckung; AP- Anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung; BS- Bewegungsausmaß; SP-	55

Symptome; PZ- Patientenzufriedenheit; ER- Erwartungen; AK- Aktivität;
GT- Gesamt.

Tabelle 28: Vergleichsanalyse der 3-Jahres-postoperativen und präoperativen Mittelwerte der KSS-Teilskalen (Δ -KSS-Teilskala) mit deren Standardabweichungen (SD) in den 3 Untergruppen (NL- Normale Beinachse, VL- Valgische Beinachse, VR- Varische Beinachse): BA- Beinachse; ML- Mediolaterale Instabilität in Streckung; AP- Anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung; BS- Bewegungsausmaß; SP- Symptome; PZ-Patientenzufriedenheit; ER- Erwartungen; AK- Aktivität; GT- Gesamt.

Tabelle 29: Deskriptive Analyse des EFAS-Scores in Punkten in allen 3 Untergruppen an zwei Zeitpunkten: präoperativ (Prä) und 3 Jahre postoperativ (3-J-Post).

Tabelle 30: Vergleichsanalyse der 3-Jahres-postoperativen (3-J-Post) und präoperativen (Prä) Medianwerte mit der passenden Spannweite für den EFAS-Score in allen 3 Untergruppen.

Tabelle 31: Korrelationsanalysen der Differenzen zwischen den 3-Jahres-postoperativen (3-J-Post) und präoperativen (Prä) Werten für mLPFA (mechanical lateral proximal femoral angle) in Bezug auf die Differenzen der KSS-Teilskalen: BA- Beinachse; ML- Mediolaterale Instabilität in Streckung; AP- Anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung; BS- Bewegungsausmaß; SP- Symptome; PZ-Patientenzufriedenheit; ER- Erwartungen; AK- Aktivität; GT- Gesamt; und des EFASS- European Foot and Ankle Society Scores. Sp-K definiert den Spearman-Korrelationsfaktor.

Tabelle 32: Korrelationsanalysen der Differenzen zwischen den 3-Jahres-postoperativen (3-J-Post) und präoperativen (Prä) Werten für mL DFA (mechanical lateral distal femoral angle) in Bezug auf die Differenzen der KSS-Teilskalen: BA- Beinachse; ML- Mediolaterale Instabilität in Streckung; AP- Anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung; BS- Bewegungsausmaß; SP- Symptome; PZ-Patientenzufriedenheit; ER- Erwartungen; AK- Aktivität;

GT- Gesamt; und des EFASS- European Foot and Ankle Society Scores.
Sp-K definiert den Spearman-Korrelationsfaktor.

Tabelle 33: Korrelationsanalysen der Differenzen zwischen den 3-Jahres- 63
postoperativen (3-J-Post) und präoperativen (Prä) Werten für mMPTA
(mechanical medial proximal tibial angle) in Bezug auf die Differenzen der
KSS-Teilskalen: BA- Beinachse; ML- Mediolaterale Instabilität in Streckung;
AP- Anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung; BS- Bewegungsausmaß;
SP- Symptome; PZ-Patientenzufriedenheit; ER- Erwartungen; AK- Aktivität;
GT- Gesamt; und des EFASS- European Foot and Ankle Society Scores.
Sp-K definiert den Spearman-Korrelationsfaktor.

Tabelle 34 Korrelationsanalysen der Differenzen zwischen den 3-Jahres- 64
postoperativen (3-J-Post) und präoperativen (Prä) Werten für mLDTA
(mechanical lateral distal tibial angle) in Bezug auf die Differenzen der KSS-
Teilskalen: BA- Beinachse; ML- Mediolaterale Instabilität in Streckung; AP-
Anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung; BS- Bewegungsausmaß; SP-
Symptome; PZ-Patientenzufriedenheit; ER- Erwartungen; AK- Aktivität; GT-
Gesamt; und des EFASS- European Foot and Ankle Society Scores. Sp-K
definiert den Spearman-Korrelationsfaktor.

Tabelle 35: Korrelationsanalyse der Differenzen zwischen den KSS- 65
Teilskalen für die Beinachse (BA) und PROMS in den drei Untergruppen:
SP- Symptome, PZ- Patientenzufriedenheit, ER- Erwartungen und AK-
Aktivität. Sp-K definiert den Spearman-Korrelationsfaktor.

Tabelle 36: Korrelationsanalyse der Differenzen zwischen den KSS- 65
Teilskalen für die mediolaterale Instabilität in Streckung (ML) und den
subjektiven KSS-Parametern in den drei Untergruppen: SP- Symptome,
PZ- Patientenzufriedenheit, ER- Erwartungen und AK- Aktivität. Sp-K
definiert den Spearman-Korrelationsfaktor.

Tabelle 37: Korrelationsanalyse der Differenzen zwischen den KSS- 66
Teilskala für die anteroposteriore Instabilität in 90° (AP) Beugung und den
subjektiven KSS-Parametern in den drei Untergruppen: SP- Symptome,

PZ- Patientenzufriedenheit, ER- Erwartungen und AK- Aktivität. Sp-K definiert den Spearman-Korrelationsfaktor.

Tabelle 38: Korrelationsanalyse der Differenzen zwischen den KSS- Teilskala für das Bewegungsausmaß (BS) und den subjektiven KSS- Parametern in den drei Untergruppen: SP- Symptome, PZ- Patientenzufriedenheit, ER- Erwartungen und AK- Aktivität. Sp-K definiert den Spearman-Korrelationsfaktor. 66

Tabelle 39: Korrelationsanalyse der Differenzen zwischen dem EFASS (European Foot and Ankle Society Score) und den KSS (Knee Society Score)-Werten: BA- Beinachse; ML- Mediolaterale Instabilität in Streckung; AP- Anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung; BS- Bewegungsausmaß; SP- Symptome; PZ-Patientenzufriedenheit; ER- Erwartungen; AK- Aktivität; GT- Gesamt; EFASS- European Foot and Ankle Society Score. Sp-K definiert den Spearman-Korrelationsfaktor. 67

Tabelle 40: Regressionsanalyse mit den signifikanten Ergebnissen: 68
Signifikante Einflüsse für den BMI-Wert auf die anteroposteriore Instabilität in 90° Beugung (AP) in der Untergruppe mit normaler Beinachse ($p = 0,0009; 0,0049; 0,0040; 0,0051$). Der BMI zeigte sich als einwirkende Variable auf die Patientenzufriedenheit (PZ) in der valgischen Gruppe ($p = 0,0129; 0,0148; 0,0249; 0,0028$) und auf die Patientensymptome (PS) in der varischen Gruppe ($p = 0,0415$). $Pr > F$ definiert den p - Wert des durchgeführten F-Tests; ein signifikanter p – Wert ($< 0,05$) zeigt, dass die Stichprobendaten genügend Anhaltspunkte für die Schlussfolgerung haben, dass das Regressionsmodell besser zu den Daten passt als das Modell ohne unabhängige Variablen.

8 LEBENS LAUF

PERSONALIEN

Name und Vorname: Assaf, Elio
Geburtsdatum: 23.07.1989
Geburtsort: Yahchouch, Libanon
Familienstand: Ledig
Vater: Nabil Assaf
Mutter: Blanche Beyrouthy Assaf

SCHULISCHER WERDEGANG

1993 - 2007 Collège des Sœurs des Saints-Cœurs, Kfarhabab, Libanon
15.07.2007 Französisches und libanesisches Abitur

UNIVERSITÄRER WERDEGANG

09/2007 – 07/2015 Humanmedizin an der Heilig Geist Universität, Kaslik,
Libanon
01.09.2017 Deutsche Approbation als Arzt

BERUFLICHER WERDEGANG

2015-2016 Assistenzarzt für Orthopädie und Unfallchirurgie, Libanon
2016 - dato Assistenzarzt für Orthopädie und Unfallchirurgie, Deutschland

SPRACHLICHE QUALIFIKATIONEN

Arabisch und Muttersprachen
Französisch
Englisch und Deutsch fließend

9 DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich allen Menschen danken, die mich bei der Anfertigung meiner Dissertation unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Sascha Gravius, MHBA, für die Überlassung des Themas dieser Arbeit und die unermüdliche Hilfsbereitschaft, Geduld und Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit. Er zeigte stets Verständnis für meine Fragestellungen und gab mir wichtige Hinweise auf den richtigen Weg.

Gleiches gilt auch für Frau Dr. Svetlana Hetjens, der ich für die hervorragende Betreuung bei der Umsetzung der gesamten Arbeit danke. Sie erfüllte mit ihrem umfassenden fachlichen Wissen im Bereich Statistik eine entscheidende Rolle.

Ebenfalls möchte ich der Abteilung für Orthopädie des Maria-Hilf-Krankenhauses in Daun und deren Chefarzt Herrn PD Dr. med. Sebastian Fürderer für die Bereitstellung der Daten danken. Die Entstehung dieser Arbeit wäre ohne diese Grundlage unmöglich gewesen.

Meinen Eltern *Blanche* und *Nabil*, meinem Bruder *Christophe* und meiner Schwester *Lea* danke ich für ihre Ermutigungen und Zusprüche während des Studiums und meines gesamten bisherigen Lebensweges.

Zugleich danke ich meiner deutschen Familie für die bedingungslose Unterstützung seit meinem ersten Tag, dem 01.08.2016, in Deutschland. Auf diesem Fundament basiert meine Karriere.

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Großtante Dr. Ursula Assaf Nowak für die Inspiration und die fortwährende Motivation, sie war mir stets ein großes Vorbild.

Meiner bald werdenden Frau, *Katharina*, möchte ich meinen Dank aussprechen, da sie mich mit Rat, Anregungen und Erleichterungen stets begleitet hat. Sie war die größte Stütze.

10 EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG

1. Bei der eingereichten Dissertation zu dem Thema „Klinischer und radiologischer Einfluss einer konventionellen Kniegelenksendoprothese mit 6° femoralem Valgus auf die frontale mechanische Beinachse und die angrenzenden Gelenke im kurz- und mittelfristigen Verlauf – Vergleich der Outcomes von drei präoperativ unterschiedlichen Beinachsen: Valgus, Varus, Neutral“ handelt es sich um meine eigenständig erbrachte Leistung.
2. Ich habe nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und mich keiner unzulässigen Hilfe Dritter bedient. Insbesondere habe ich wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommene Inhalte als solche kenntlich gemacht.
3. Die Arbeit oder Teile davon habe ich bislang nicht an einer Hochschule des In- oder Auslands als Bestandteil einer Prüfungs- oder Qualifikationsleistung vorgelegt.
4. Die Richtigkeit der vorstehenden Erklärungen bestätige ich.
5. Die Bedeutung der eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unrichtigen oder unvollständigen eidesstattlichen Versicherung sind mir bekannt. Ich versichere an Eides statt, dass ich nach bestem Wissen die reine Wahrheit erkläre und nichts verschwiegen habe.

Bonn, 12.01.2023

