

Mittel- bis langfristige Analyse der zementfreien Metha[®]-
Kurzschafthprothese bei Patienten über 60 Jahren – eine
klinische, radiologische und Standzeituntersuchung unter
besonderer Berücksichtigung der periprothetischen
Knochendichteveränderungen

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
des Fachbereichs Medizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Brandl, Max
aus Gießen

Gießen 2026

Aus dem Fachbereich Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie

Universitätsklinikum Gießen (UKGM)

Gutachter: Prof. Dr. Bernd Alexander Ishaque

Gutachter: Prof. Dr. Ulf Müller-Ladner

Tag der Disputation: 10.08.2026

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
2	AUFGABENSTELLUNG.....	3
3	THEORETISCHE GRUNDLAGEN	4
3.1	GELENKERSATZ – DAMALS UND HEUTE	4
3.1.1	<i>Geschichtliche Einordnung.....</i>	4
3.1.2	<i>Kurzschafthprothesen.....</i>	5
3.2	INDIKATIONEN FÜR EINE HÜFTENDOPROTHETIK-OPERATION	9
3.3	BIOMECHANISCHE GRUNDSÄTZE	11
3.3.1	<i>Primär- und Sekundärstabilität.....</i>	11
3.3.2	<i>Transformationsgesetz nach Wolff und Spannungsabschirmung</i>	12
3.4	DIAGNOSTISCHE PARAMETER.....	13
3.4.1	<i>Harris Hip Score (HHS).....</i>	13
3.4.2	<i>Hip disability and osteoarthritis outcome score (HOOS)</i>	14
3.4.3	<i>Röntgen</i>	16
3.4.4	<i>Dual-Röntgen-Absorptiometrie (DXA).....</i>	17
3.5	ZUGANGSWEGE ZUR HÜFTE.....	21
4	MATERIAL UND METHODE.....	24
4.1	STUDIENDESIGN.....	24
4.2	DAS PATIENTENKOLLEKTIV.....	26
4.3	METHA®-PROTHESE.....	26
4.3.1	<i>Hüftpfanne, Inlay und Hüftkopf.....</i>	28
4.4	OPERATION	28
4.5	UNTERSUCHUNGSPARAMETER BEIM PATIENTEN	36
4.5.1	<i>Klinische Untersuchung</i>	36
4.5.2	<i>Telefonprotokoll</i>	37
4.5.3	<i>Röntgen</i>	38
4.5.4	<i>Dual-Röntgen-Absorptiometrie (DXA).....</i>	40
4.6	STATISTISCHE METHODEN.....	43
5	ERGEBNISSE	44
5.1	PATIENTENKOLLEKTIV	44
5.1.1	<i>Indikationen im Kollektiv</i>	45
5.2	DIE OPERATION	50
5.2.1	<i>Operateure</i>	50
5.2.2	<i>Operationstechnik</i>	50
5.3	KOMPLIKATIONEN UND REVISIONEN	52
5.4	KLINISCHE ERGEBNISSE	55

5.4.1	<i>Harris Hip Score (HHS)</i>	56
5.4.2	<i>Hip disability and osteoarthritis outcome score (HOOS)</i>	58
5.5	RÖNTGEN-AUSWERTUNG.....	61
5.6	OSTEODENSITOMETRISCHE ERGEBNISSE (DXA)	64
6	DISKUSSION	68
6.1	DISKUSSION DER METHODEN UND ERGEBNISSE DIESER STUDIE	68
6.1.1	<i>Klinische Ergebnisse dieser Studie</i>	69
6.1.2	<i>Radiografische Ergebnisse dieser Studie</i>	74
6.2	LIMITATIONEN DIESER STUDIE	82
6.3	FAZIT DIESER STUDIE	83
7	ZUSAMMENFASSUNG	85
8	ABSTRACT	87
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	89
	TABELLENVERZEICHNIS	92
	DIAGRAMMVERZEICHNIS	93
	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	94
	LITERATUR	96
	ANHANG	105
	PUBLIKATIONSVERZEICHNIS	110
	EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG	111
	DANKSAGUNG	112

1 Einleitung

Kurzschaftprothesen werden bis heute in der wissenschaftlichen Literatur hauptsächlich für „junge Erwachsene mit einer guten Knochenqualität“ [Gallart et al. 2018] empfohlen [Sivaloganathan et al. 2020; Gallart et al. 2018; Huo et al. 2016; Learmonth et al. 2007]. Der Grund dafür ist, dass Kurzschäfte knochensparend sind: Sie erfordern eine geringere Resektion des Schenkelhalses, erzeugen ein physiologischeres Belastungsmuster im proximalen Femur und unterstützen damit den Knochenerhalt intraoperativ und im Verlauf [Huo et al. 2016]. Darüber hinaus besteht durch die kürzere Schaftlänge und das Design der Prothesen die Möglichkeit minimal-invasiv zu operieren, was zusätzlich das Weichteilgewebe schont [Ishaque 2022]. Eine Metaanalyse zeigte im Vergleich zu Standardschäften einen signifikant niedrigeren intraoperativen Blutverlust, einen klinisch höheren *Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index* (WOMAC) und eine nicht signifikante niedrigere Rate an Femurfrakturen, Luxationen und Revisionen [Migliorini et al. 2020]. Falls es zu einer Revision der Kurzschaftprothese kommt, ist häufig ein Wechsel auf einen Standardschaft möglich [Plaumann & Horst 2017]. In Abbildung 1 ist links beispielhaft ein unzementierter Standardschaft dargestellt, rechts ein unzementierter Kurzschaft.



Abbildung 1: Links: Standardprothese Excia® T Größe 14 (8-20 verfügbar). Rechts: Kurzschaftprothese Metha® Größe 3 (0-7 verfügbar) 130°. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.

Die Implantation einer totalen Hüftendoprothese, die Learmonth et al. als die „Operation des Jahrhunderts“ bezeichneten, wird in Deutschland insbesondere bei älteren Patienten über 60 Jahren durchgeführt [Learmonth et al. 2007]. So fanden 79,5 % (139.013) der Erstimplantationen bei Patienten ab 60 Jahren statt und sogar 88,3 % (16.894) der Operationen mit Wechsel beziehungsweise Komponentenwechsel [IQTIG 2019]. Zusätzlich könnte die zukünftige Relevanz der Hüftendoprothetik, die nach Angaben des Statistischen Bundesamtes bereits 2023 die fünfthäufigste durchgeführte Operation ist, weiter steigen, falls die Häufigkeit in den Altersgruppen ähnlich bleibt – denn die Gesellschaft in Deutschland altert stetig: Während im Jahr 2000 24 % der Gesamtbevölkerung in Deutschland 60 und älter waren, waren es 2018 bereits 28 % [Statistisches Bundesamt 2022a, 2023]. Darüber hinaus steigt die Lebenserwartung: Nach den Sterbetafeln des Statistischen Bundesamtes 2016/18 liegt die Lebenserwartung eines 60-jährigen Mannes bei weiteren 21,7 Jahren, die Lebenserwartung einer 60-jährigen Frau bei weiteren 25,3 Jahren [Statistisches Bundesamt 2022b]. Trotz der hohen Relevanz bei älteren Patienten, die zukünftig weiter steigen könnte, fehlen mittel- bis langfristige Studien, ob Kurzschaffprothesen ihre Vorteile bei der größten Patientengruppe – den Älteren – ausspielen könnten. Für die Evaluation der Lasteinleitung sind zudem die periprothetischen Knochenveränderungen von zentraler Bedeutung.

Mittels eines älteren Kollektivs von 118 Patienten (zum Operationszeitpunkt durchschnittlich 67,7 Jahre alt) soll mit je 191 Knochendichtemessungen und Röntgenbildern die Metha[®]-Kurzschaffprothese über einer durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von 8,0 Jahren klinisch und 7,1 Jahren osteodensitometrisch evaluiert werden.

2 Aufgabenstellung

Mittelfristig-langfristige klinische Ergebnisse zur Metha[®]-Kurzschafthprothese wurden wie kurzfristige-mittelfristige Ergebnisse zu periprothetischen Knochenumbauprozessen mit heterogenen Kollektiven bereits publiziert. Zu älteren Patienten wurden bisher lediglich kurzfristige Ergebnisse publiziert.

Primäres Zielkriterium der vorliegenden Studie sind die mittel-langfristigen periprothetischen Knochenumbauprozesse bei älteren Patienten über 60 Jahre zum Implantationszeitpunkt. Sekundäre Zielkriterien sind die Überlebensrate, die klinischen Ergebnisse und das Geschlecht als Einflussfaktor für das untersuchte Kollektiv.

Folgende Hypothesen gilt es zu bestätigen oder abzulehnen:

1. Die Überlebensrate der Kurzschafthprothese im älteren Kollektiv für den gewählten Schaft ist zu im Literaturvergleich beschriebenen jüngeren Kollektiven nicht herabgesetzt.
2. Das klinische Ergebnis (*Harris Hip Score* (HHS) und *Hip disability and osteoarthritis outcome score* (HOOS)) ist über den gewählten Nachbeobachtungszeitraum mit im Literaturvergleich beschriebenen jüngeren Kollektiven und einer Referenzbevölkerung vergleichbar.
3. Das Geschlecht hat einen Einfluss auf die klinischen Ergebnisse.
4. Die radiografischen Ergebnisse sind mit im Literaturvergleich beschriebenen jüngeren Kollektiven vergleichbar.
5. Die osteodensitometrisch evaluierte periprothetische Knochendichte ist über den gewählten Nachbeobachtungszeitraum mit im Literaturvergleich beschriebenen Kollektiven vergleichbar.
6. Das Geschlecht hat einen Einfluss auf die osteodensitometrisch beobachteten Knochen-Umbauprozesse.
7. Die osteodensitometrisch evaluierte periprothetische Knochendichte persistiert nach den unmittelbar stattfindenden postoperativen Umbauprozessen.
8. Die radiografischen und osteodensitometrischen Kontrollen über den gewählten Zeitraum im Patientenkollektiv geben Hinweise auf eine metaphysäre Krafteinleitung der Metha[®]-Kurzschafthprothese.
9. Der Knochendichteverlust ist mit im Literaturvergleich beschriebenem Knochenverlust in Standardschäften vergleichbar.

3 Theoretische Grundlagen

3.1 Gelenkersatz – damals und heute

3.1.1 Geschichtliche Einordnung

Über den ersten implantierten Gelenkersatz aus Elfenbein und über Versuche eines „aseptischen Kitt[s]“ zur Defektauffüllung und Befestigung von eingebrachten Fremdkörpern berichtete Themistokles Gluck bereits im Jahr 1890, doch die klinische Etablierung eines Gelenkersatzes war noch nicht in Sicht [Gluck 1890]. Nach vielen weiteren Versuchen und Implantationen zu Beginn des 20. Jahrhunderts mit Materialien wie Glas oder Viscaloid® gelang es Smith-Peterson ab 1938 mit seiner *mould arthroplasty* aus Vitallium, einer Interpositionskappe zwischen Femurkopf und Hüftpfanne, erste gute Resultate mit 81,6 % Überlebensrate nach 20 Jahren zu erzielen [Smith-Petersen 1948; Pan et al. 2010]. Trotz weiterer Meilensteine in der Entwicklung eines Hüftgelenkersatzes der Brüder Judet und Judet im Jahr 1950 mit einer Prothese aus Acryl (Abbildung 2), 1953 Haboush mit der Beschreibung von Acrylzement zur Befestigung der Prothese, 1957 Moore mit einer selbstverriegelnden Prothese aus Vitallium und 1958 Wiles mit Komponenten aus rostfreiem Stahl blieb die Mould-Prothese eine Standardmethode der Hüftrekonstruktion bis zu Charnleys Erfindung des totalen Hüftersatzes [K. Mahalingam & D. Reidy 1996; Diehl et al. 2010; Markatos et al. 2020; Judet & Judet 1950; Moore 1957; Wiles 1958; Haboush 1953].

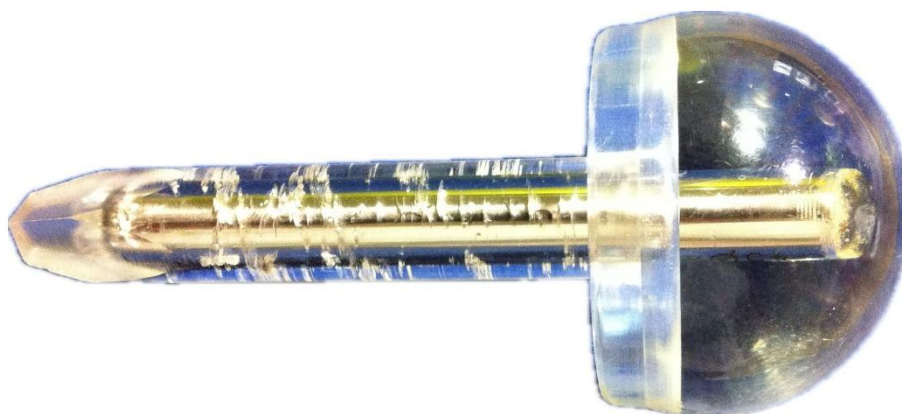


Abbildung 2: Das erste Modell des Schenkelhalsnagels aus Acryl der Judet Brüder.

Quelle: Mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Ishaque.

Charnley nutzte ab 1958 Teflon für die Hüftpfanne, wegen Materialversagen des Teflons ab 1962 Polyethylen mit hohem Molekulargewicht. Die Prothese war aus Metall und um das Reibungsmoment auf die Pfanne zu reduzieren, das bei Polyethylen höher als bei Teflon ist, nutzte er einen möglichst kleinen Hüftkopf [Charnley 1970]. Dennoch gab es weiterhin Schwachstellen: Besonders das Polyethylen in der Totalendoprothese (TEP) von Charnley zeigte einen hohen Verschleiß mit Versagen der Prothese [Caton & Prudhon 2011]. Die 1970 vorgestellte zementierte Exeter-Hüfte wird heute noch implantiert und zum verbesserten, ab 1988 genutzten Exeter-Schaft gibt es Studien über sehr gute Überlebensraten: Diese lagen bei Petherham et al. bei 95,6 % nach durchschnittlich 22,8 Jahren (20-26,6 Jahre) zum Endpunkt Revision des Schaftes [Stryker 2020; Petheram et al. 2016].

Parallel dazu führten Ende der 1970er Jahre die anfänglich häufigen Komplikationen von Knochenzement – wie durch hohe Aushärtungstemperaturen bedingte Hitzenekrosen oder aseptische Osteolysen mit anschließendem Implantatversagen durch Abriebpartikel des Implantats – zur Entwicklung zementfreier Prothesen [Holt et al. 2007; Diehl et al. 2010]. Ein frühes Beispiel, das statt Zement eine primäre Vier-Punkt-Fixierung im Knochen verwendet, ist das 1979 eingeführte TEP-System von Zweymüller [Zweymüller & Semlitsch 1982]. Bei diesem zementfreien System wurde nach 17 Jahren eine Überlebensrate von 98,1 % berechnet [Suckel et al. 2009].

Trotz dieser sehr guten Standzeiten von zementierten und unzementierten Standardschäften zeigte sich, dass diese Schaftsysteme durch die geänderte Lasteinleitung zu unphysiologischen Knochenumbauprozessen führen, welche sich in einem Verlust der Knochensubstanz äußern [Ishaque 2017]. Vor diesem Hintergrund wurden Hüftoberflächenersatz und Kurzschaftprothesen entwickelt. Das Interesse am Hüftoberflächenersatz hat durch klinisch aufgetretene Probleme bereits wieder deutlich abgenommen, weshalb im Folgenden nur die Kurzschaftprothesen aufgegriffen werden [Jerosch 2017].

3.1.2 Kurzschaftprothesen

Moderne Anforderungen an die Hüftendoprothese sind die dauerhafte biomechanische Integration mit einer gleichmäßigen physiologischen Kraftübertragung auf den Knochen ohne punktuelle Überbeanspruchung bei gleichzeitiger weichteil- und knochenparender Implantation [Özgir et al. 2007; Ishaque 2022]. Nach aktuellem Stand sollte man dazu

zementfrei implantieren, da man erwartet, bei zukünftigen Wechseloperationen bessere Ausgangsbedingungen vorzufinden [Grimberg et al. 2016]. Eine weichteil- und knochensparende Chirurgie ermöglichen Kurzschaftprothesen, da minimalinvasive Zugänge durch die kürzere Schaftlänge ermöglicht werden und intraoperativ weniger Knochen reseziert wird [Ishaque 2022]. Neben dem intraoperativen Knochenverlust ist der postoperative Knochenverlust entscheidend. In einer randomisiert kontrollierten Studie wies der Proxima[®]-Kurzschaft einen geringeren periprothetischen Knochenverlust im Vergleich zu einer konventionellen unzementierten Prothese auf [Salemyr et al. 2015].

Zur Klassifikation der Kurzschaftprothesen gibt es mehrere Einteilungen. Die Unterscheidung, ob ein konventioneller Schaft, ein gekürzter konventioneller Schaft oder ein Kurzschaft vorliegt, ist nicht immer klar zu treffen [Falez et al. 2015]. Häufig genutzte Einteilungen sind die nach Jerosch (Klassifikation nach Resektionshöhe), Feyen und Shimmin (Klassifikation nach Schaftlänge) und die nach Falez et al. (Klassifikation nach Knochenerhalt) [Jerosch 2011; Feyen & Shimmin 2014; Falez et al. 2015]. Die im Folgenden verwendete Einteilung, angelehnt an Jerosch, unterscheidet zwischen schenkelhalserhaltenden, schenkelhalsteilerhaltenden und schenkelhalsresezierenden Systemen [Jerosch 2011].

Ein Vorläufer der schenkelhalserhaltenden Kurzschaftprothesen, die metaphysär verankern, ist die Druckscheibenprothese[®] (DSP[®]) (Abbildung 3).



Abbildung 3: Metaphysär verankernde Druckscheibenprothese[®] (DSP[®]).

Quelle: Mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Ishaque.

Die Idee, die Kraft des Hüftgelenks mithilfe einer Druckplatte möglichst physiologisch auf den resezierten Schenkelhals zu übertragen, wurde im Jahr 1976 entwickelt und ab 1978 am Menschen verwendet [Jacob 1997]. Aktuellere Beispiele für schenkelhalserhaltende Implantate sind die Silent[®]-, die Spiron[®]- oder die CUT[®]-, Prothese (Abbildung 4).



Abbildung 4: Die schenkelhalserhaltende CUT[®]-Prothese.

Quelle: Mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Ishaque.

Die CUT[®]- ist wie die Silent[®]-Prothese nicht mehr auf dem deutschen Markt verfügbar [Falez et al. 2015]. Bei der CUT[®]-Prothese konnten Ishaque et al. zeigen, dass es Schwierigkeiten mit der Gelenkgeometrie (Valgisierung), der Beinlänge, der Standzeit und im Falle einer Revision gibt [Ishaque et al. 2009].

Die schenkelhalsteilerhaltenden Kurzschaftprothesen, die als „Klassiker“ [Babisch 2017] gelten, sind die CFP[®]- und die Mayo[®]-Prothese (Abbildung 5). Die bereits 1979 von Pipino et al. vorgestellte und ab 1983 implantierte Biodynamic[®]-Hüftendoprothese ist der Vorläufer der CFP[®]-Prothese aus dem Jahr 1996 [Pipino & Keller 2006]. Die Mayo[®]-Prothese wurde ebenfalls ab den 1980er Jahren eingesetzt und gilt als Vorläufer der Metha[®]- und Nanos[®]- Prothese [Morrey 1989; Falez et al. 2008]. Grundprinzip der Verankerung der Biodynamic[®]-, der CFP[®]- und der Mayo[®]-Prothese ist das Schonen von Knochen durch partielles Beibehalten des Femurhalses [Falez et al. 2008; Pipino & Keller 2006; Ishaque 2022]. Aktuellere Beispiele schenkelhalsteilerhaltender Implantate sind unter anderem die Nanos[®]-, Optimys[®]-, Aida[®]-, MiniHip[®]- und die Metha[®]-Prothese [Ishaque 2017].



Abbildung 5: Links: Schenkelteilerhaltende Mayo[®]-Prothese. Rechts: Schenkelhalsresezierende Fitmore[®]-Prothese. Quelle: Mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Ishaque.

Bei schenkelhalsresezierenden Systemen erfolgt in der Regel eine Standardresektion des Schenkelhalses [Jerosch & Engelhardt 2019]. Beispiele für die schenkelhalsresezierenden Prothesen sind die SMF[®]-, GTS[®]- und Fitmore[®]-Prothese (Abbildung 5) [Ishaque 2017]. Die Unterscheidung zu gekürzten Standardschäften, wie dem Taperloc Microplasty[®], fällt in dieser Kategorie nicht immer leicht [Babisch 2017]. Auch der Proxima[®]-Schaft gehört zu den schenkelhalsresezierenden Systemen, obgleich er sich in der Krafteinleitung über die Region des *Trochanter major* von den genannten schenkelhalsresezierenden Systemen abhebt [Salemyr et al. 2015].

Während konventionelle Schäfte die Kraft weiter distal in das Femur einleiten und damit weiter distal verankert sind, zielen die Kurzschaftprothesen je nach Schenkelhalserhalt auf eine proximale Krafteinleitung ab [Jerosch & Engelhardt 2019; Ishaque 2022]: Die schenkelhalserhaltenden Prothesen sollen rein metaphysär, die schenkelhalsteilerhaltenden meta- und kurz-diaphysär und die schenkelhalsresezierenden Prothesen meta- bis diaphysär einleiten [Ishaque 2022].

Innerhalb der heterogenen Gruppe der Kurzschaftprothesen wurden bereits kurz- bis mittelfristige Ergebnisse zu periprothetischen Knochenumbauprozessen publiziert. Eine

Metaanalyse über ein Jahr von Yan et al. zeigt, dass es auch bei Kurzschaftprothesen Knochenumbauprozesse gibt. Manche der Kurzschaftprothesen weisen dabei eine physiologischere Lasteinleitung als Standardschäfte auf [Yan et al. 2018; Bodén et al. 2006; Brodt et al. 2020]. Yan et al. heben hervor, dass der Bereich, in dem Knochenumbauprozesse stattfinden, kürzer ist. Die Metha[®]-Prothese zeigte sich in der Lage, hohe Raten von Knochenumbau und Spannungsabschirmung zu vermeiden. Wichtig ist, dass die Knochenumbauprozesse zwischen den verschiedenen Kurzschaftprothesen variieren [Yan et al. 2018]. Nach ein bis zwei Jahren gehen manche Autoren von abgeschlossenen Umbauprozessen aus, andere berichten von weiteren Knochendichteänderungen [Lerch et al. 2012; Augustin et al. 2019; Boller et al. 2019; Falez et al. 2020]. Neben dieser Studie gibt es zum aktuellen Zeitpunkt keine mittel- bis langfristige Ergebnisse, insbesondere bei älteren Patienten.

3.2 Indikationen für eine Hüftendoprothetik-Operation

Die Indikationen für eine Hüftendoprothetik-Operation sind vielfältig. Die häufigste Indikation ist die primäre Koxarthrose (Abbildung 6).

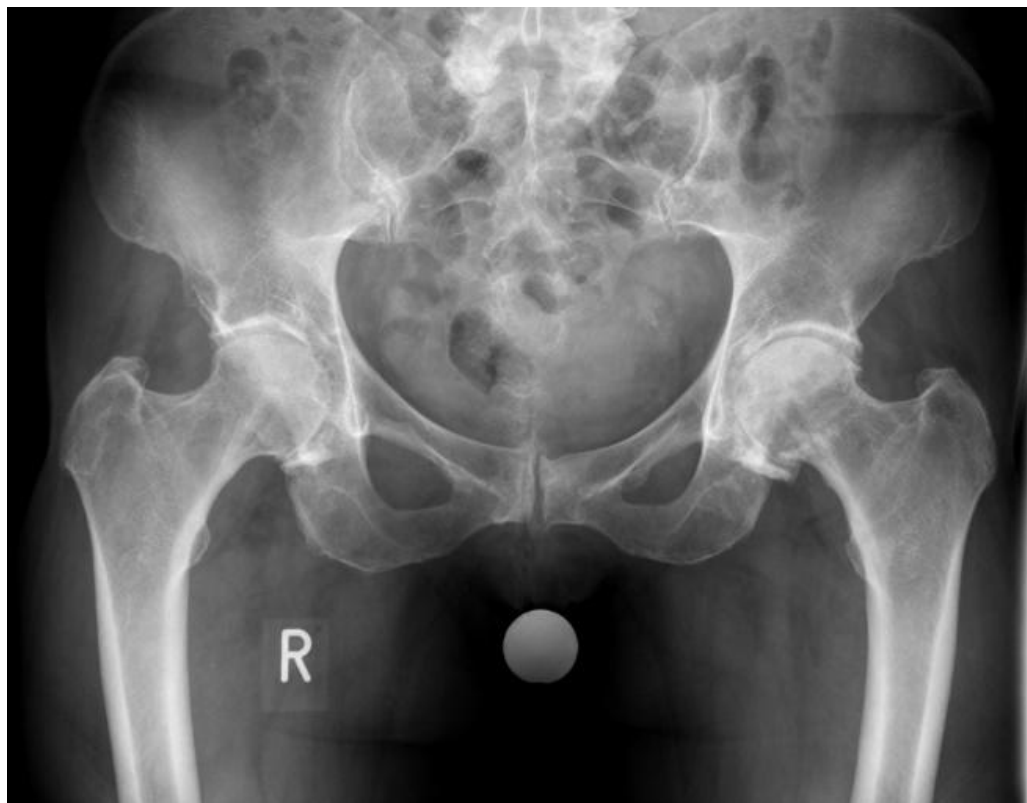


Abbildung 6: Nativröntgenbild einer primären Koxarthrose, links führend. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.

So listet die *American Academy of Orthopaedic Surgeons* den Diagnoseschlüssel Osteoarthritis bei über 70 % der 169.060 berücksichtigten Hüften. Weitere Diagnosen für alle Verfahren der Hüftendoprothetik sind Schenkelhalsfrakturen (10 %), Komplikationen (9 %), andere Ursachen (7 %), avaskuläre Nekrose und Osteonekrose (3 %) sowie die rheumatoide Arthritis (< 1 %) [American Joint Replacement Registry 2016]. Die Epidemiologie der primären Koxarthrose ist komplex und multifaktoriell: Genetische, biologische und biomechanische Komponenten liegen ihr zugrunde und sind je nach Gelenk verschieden [Glyn-Jones et al. 2015].

Zu den sekundären Ursachen der Koxarthrosen werden Hüftdysplasien (Abbildung 7 links), die posttraumatische Arthrose (PTA), avaskuläre Nekrosen (AVN), entzündliche Arthropathien, der Morbus Perthes (Abbildung 7 rechts) und die Epiphysiolysis capitis femoris (ECF) gezählt. Innerhalb der sekundären Koxarthrosen ist die Hüftdysplasie die häufigste Indikation zur primären Implantation einer Hüftendoprothese [Aggarwal et al. 2019].

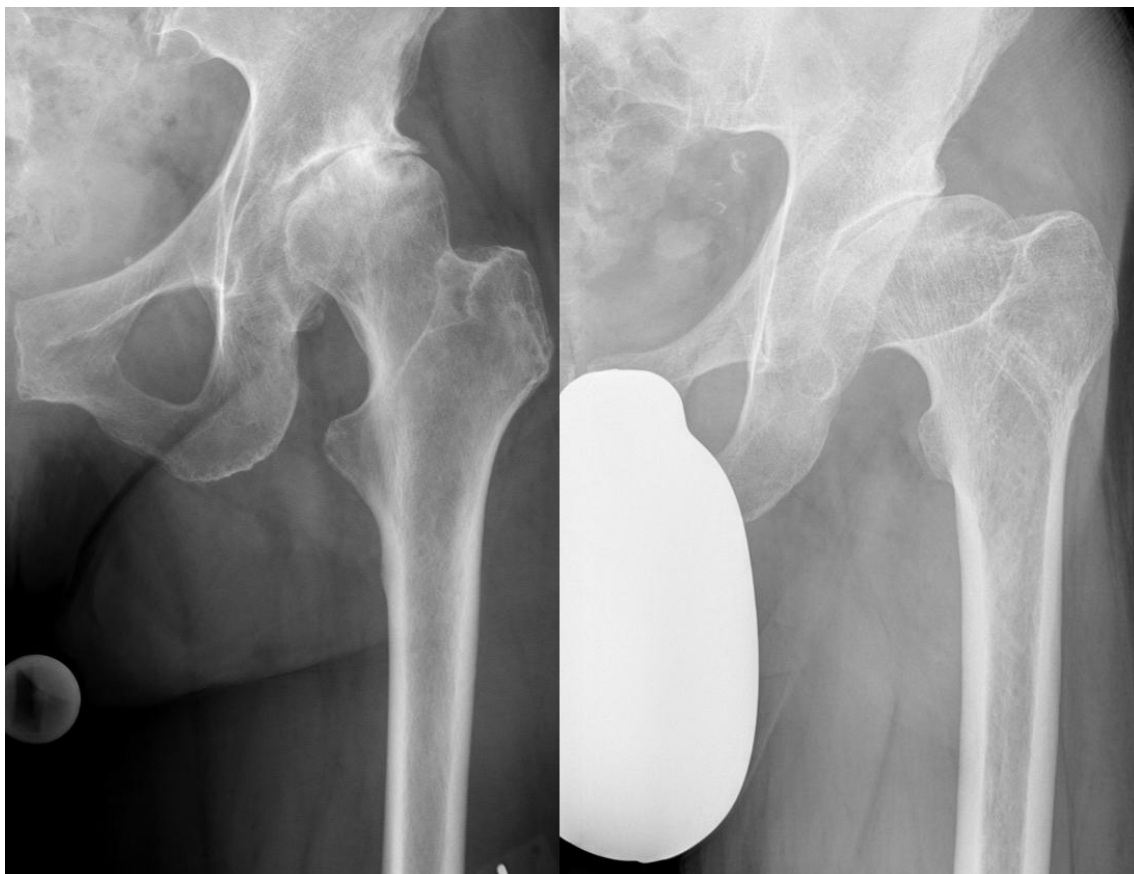


Abbildung 7: Sekundäre Koxarthrose durch eine Hüftdysplasie (links) und Morbus Perthes (rechts), jeweils im linken Hüftgelenk. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.

Weitere Indikationen für Hüftendoprothetik-Operationen sind Schenkelhalsfrakturen bei Scheitern einer osteosynthetischen Versorgung (Abbildung 8), nicht gelenkerhaltend operable Tumoren sowie proximale Femurmetastasen [Diehl et al. 2010].

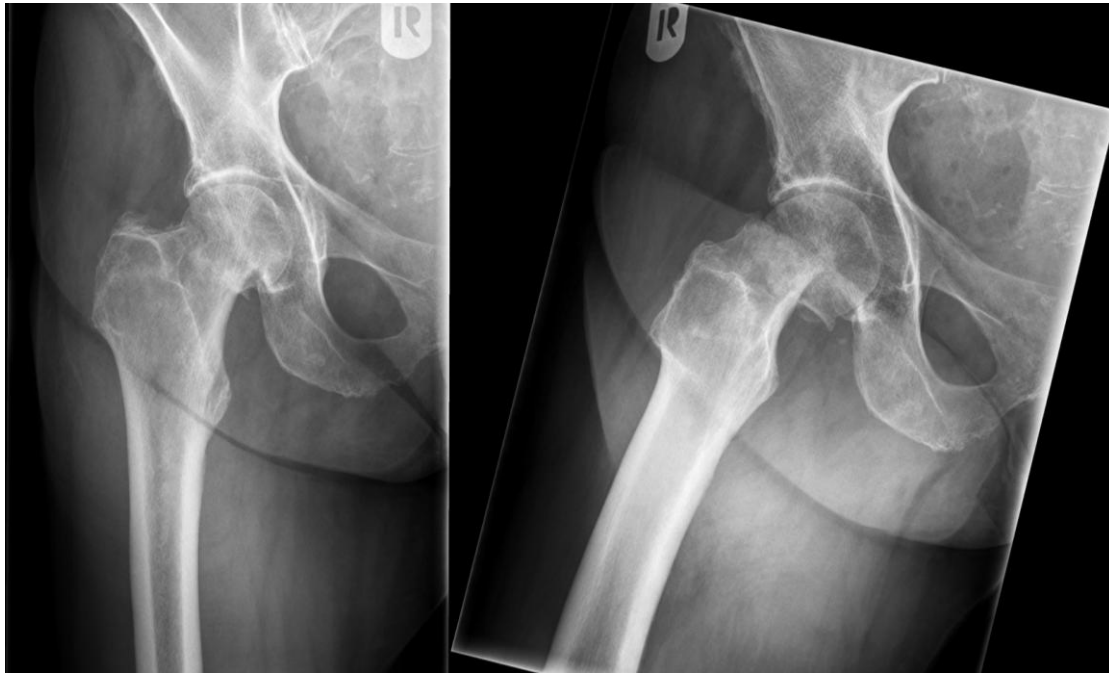


Abbildung 8: Sekundäre Dislokation einer konservativ therapierten medialen Schenkelhalsfraktur. Röntgen links in a.-p., rechts Lauensteinaufnahme. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.

Generell ist für die Indikationsstellung einer Hüftendoprothetik-Versorgung der individuelle Leidensdruck des Patienten entscheidend. Die weiteren Indikationskriterien fordern eine durchgeführte konservative Therapie und einen nachgewiesenen Strukturschaden [Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie e.V. 2021]. Die individuellen Anforderungen und Ziele des Patienten in Zusammenschau mit den klinischen und radiografischen Gegebenheiten führen letztlich dazu, das geeignetste Implantat auszuwählen. Zusätzlich ist die Erfahrung des Operateurs mit der geplanten Operationstechnik von hoher Relevanz [Ishaque 2017].

3.3 Biomechanische Grundsätze

3.3.1 Primär- und Sekundärstabilität

Die primäre Stabilität ist die Verankerung, die die Prothese nach der Operation in ihrer Position hält. Bei der Implantation einer zementfreien Prothese wird eine primäre

Stabilität mit einer Pressspannung (*press-fit*) durch Kraft- beziehungsweise Reibschluss erreicht [Köster und Poulidis 2017]. *Press-fit* bedeutet, dass das Implantatlager geringfügig kleiner ist als das finale Implantat. Diese Verklemmung mit dem periprothetischen Knochen ist die Voraussetzung für das Erreichen einer Sekundärstabilität, wobei es zu einer stoffschlüssigen Osseointegration der Prothese in den Knochen kommt [Köster und Poulidis 2017]. Bereits Gluck merkte 1890 an, „es würde natürlich möglich sein, die Oberflächen gerifft, rauh und uneben anzufertigen, um besondere mechanische Effecte zu erzielen“ [Gluck 1890]. So wird heute das Erreichen der Sekundärstabilität bei Prothesen häufig durch eine bioaktive Beschichtung, beispielsweise aus Hydroxylapatit unterstützt [Köster und Poulidis 2017]. Voraussetzung für das Einwachsen von Knochen an das Implantat waren in Tierstudien geringe Bewegungen zwischen Implantat und Wirtsknochen (unter 150 µm) [Pilliar et al. 1986].

3.3.2 Transformationsgesetz nach Wolff und Spannungsabschirmung

Das Transformationsgesetz nach Wolff besagt, dass jede Inanspruchnahme eines Knochens bestimmte Umwandlungen der inneren Architektur und der äußeren Form zur Folge hat [Wolff 1892]. Unter physiologischen Bedingungen passt sich der Knochen an die auf ihn wirkenden Kräfte an. Die Implantation einer Prothese ruft zunächst – unabhängig von der Prothesenkonfiguration – eine Verringerung der Druck-, Zug-, und Scherbelastung im proximalen Femur hervor [Feyen & Shimmin 2014]. Eine Verringerung der Kräfte im proximalen Femur führt nach dem Wolffschen Gesetz zu einer Abnahme von Knochenmasse, was als Spannungsabschirmung (*stress shielding*) bezeichnet wird. Der Verlust periprothetischer Knochenmasse ist unerwünscht und zu vermeiden, da dies zu aseptischen Lockerungen führen kann [Eidel et al. 2018]. Mit Erreichen einer Sekundärstabilität unter Verwendung eines unzementierten Kurzschafts mit proximaler Lasteinleitung wird sich an die physiologische Krafteinleitung wieder angenähert. So wird die in einem längeren Schaft ohne proximale Krafteinleitung auftretende distale kortikale Hypertrophie und proximale Spannungsabschirmung verhindert, weshalb die Länge der Prothese eine entscheidende Rolle spielt [Feyen & Shimmin 2014].

3.4 Diagnostische Parameter

3.4.1 Harris Hip Score (HHS)

Der *Harris Hip Score* (HHS) wurde von William Harris im Jahr 1969 publiziert, um die wichtigen Variablen bei Hüftproblemen verschiedener Ursachen in einer zuverlässigen, reproduzierbaren und objektiven Zahl zusammenzufassen [Harris 1969]. So gliedert sich der Score in vier Subskalen, wobei insgesamt ein Ergebnis zwischen 0 (schlechtestes) und 100 Punkten (bestes Ergebnis) erzielt werden kann (Tabelle 1):

Tabelle 1: Unterpunktzahlen des HHS

Schmerz	44 Punkte
Funktion	47 Punkte
• Gangbild • Aktivitäten	• 33 Punkte • 14 Punkte
Kontrakturen/Fehlstellungen	4 Punkte
Bewegungsausmaß	5 Punkte

Die Zeit für die Absolvierung des HHS liegt bei etwa fünf Minuten [Nilsdotter & Bremander 2011]. Eingeordnet wird das Gesamtergebnis nach Harris wie folgt:

- 90 – 100 Punkte als exzellent (*excellent*)
- 80 – 90 Punkte als gut (*good*)
- 70 – 80 Punkte als mittelmäßig (*fair*)
- < 70 Punkte als mangelhaft (*poor*)

Der klinisch orientierte Fragebogen wird von einer qualifizierten medizinischen Fachkraft erhoben [Nilsdotter & Bremander 2011]. Nach Harris sind Schmerz und Funktionsfähigkeit die beiden wichtigsten Aspekte und für die meisten Operationsindikationen verantwortlich [Harris 1969]. Diese beiden Subskalen umfassen zusammen 91 von 100 Punkten. Telefonisch können von einem Interviewer 91 von 100 Punkten abgefragt werden, damit sind die für Harris wichtigsten Subskalen beurteilbar. Einen Vergleich der Ergebnisse einer vollständigen Befragung mit klinischer Untersuchung zu einer alleinigen telefonischen Befragung führten Sharma et al. durch [Sharma et al. 2005]. Die Ergebnisse in der telefonischen Befragung ohne die Subskalen

„Kontrakturen/ Fehlstellungen“ und „Bewegungsausmaß“ hatten keinen signifikanten Unterschied zu den Ergebnissen der innerklinisch vollständig erhobenen *Harris Hip Score* (HHS) [Sharma et al. 2005].

Obwohl der HHS vor über 50 Jahren vorgestellt wurde, ist er weiterhin ein häufig genutztes Instrument, um die körperliche Funktion und das Schmerzempfinden bei Patienten mit Hüfterkrankungen zu beurteilen [Nilsdotter & Bremander 2011]. Der HHS wurde auf Grundlage der Expertenmeinung, Schmerz und Funktionsfähigkeit seien die wichtigsten Indikationen zur Operation der Hüfte, entwickelt. Nach Nilsdotter und Bremander ist die Reliabilität des HHS hoch, was mittels Interrater-Reliabilität, Test-Retest-Reliabilität sowie der internen Konsistenz geprüft wurde. Im Rahmen der Validitätsprüfung wurden im Vergleich mit dem WOMAC und dem *Short Form 36* („SF-36“) keine wesentlichen Unterschiede aufgedeckt [Nilsdotter & Bremander 2011]. Dennoch gibt es Einschränkungen in der Nutzung des HHS: Das Ansprechen ist nach Shi et al. besser für kurzfristige Messungen nach Operation und weniger für Langzeitmessungen geeignet [Shi et al. 2009]. Zudem zeigten Wamper et al., dass es häufig Deckeneffekte gibt [Wamper et al. 2010]. Wegen der Deckeneffekte schlagen Galea et al. vor, statt der von Harris verwendeten Klassifizierung von exzellent bis mangelhaft das Ergebnis lediglich danach einzuteilen, ob der Patient sich selbst in einem zufriedenstellenden oder guten Zustand betrachtet [Galea et al. 2020; Harris 1969]. Dies wird mittels des *Patient Acceptable Symptom State* (PASS) erreicht: 80 % der mit der Intervention unzufriedenen Patienten überschreiten den PASS-Schwellenwert nicht. Somit sind statistisch signifikante Ergebnisse des HHS nur dann klinisch signifikant, wenn sie über 76 Punkte nach drei Monaten, 89 nach einem Jahr und 93 nach drei und sieben Jahren liegen [Galea et al. 2020].

3.4.2 Hip disability and osteoarthritis outcome score (HOOS)

Der *Hip disability and osteoarthritis outcome score* (HOOS) wurde als eine Weiterentwicklung des *Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index* (WOMAC LK 3.0) publiziert [Klässbo et al. 2003]. Nach dem Beispiel des *knee injury and osteoarthritis outcome score* (KOOS) soll der HOOS sowohl für an Arthrose und nicht an Arthrose leidenden Menschen mit Hüftbehinderung aussagekräftig sein [Klässbo et al. 2003]. Dafür wurden alle 24 Fragen des WOMAC übernommen, zusätzlich wurden Fragen aus dem KOOS an die Hüfte adaptiert sowie eigene Fragen entwickelt [Klässbo

et al. 2003]. Die Version 2.0 des HOOS, die als Vorlage für die deutsche Version 1.0 diente, beinhaltet 40 Fragen [Nilsson et al. 2003]. Die Beantwortung des HOOS dauert etwa sieben bis zehn Minuten [Klässbo et al. 2003].

Der HOOS beinhaltet fünf Subkategorien (Tabelle 2):

Tabelle 2: Subkategorien des HOOS

Schmerzen	5 Fragen
Symptome inklusive Steifheit und Bewegungsumfang	10 Fragen
Aktivitäten des täglichen Lebens	17 Fragen
Sport und Freizeit	4 Fragen
hüftbezogene Lebensqualität	4 Fragen

Zur Beantwortung der Fragen in den Subkategorien gibt es pro Frage fünf Likert-Boxen, die mit „keine“, „mild“, „moderat“, „stark“ und „sehr stark“ beschriftet sind. Jede Frage wird anhand der Antwort mit 0 bis 4 Punkten bewertet und jede Subkategorie als Summe der jeweiligen Fragenpunkte berechnet und in eine 0-100-Skala, „*worst to best*“ [Nilsson et al. 2003] übertragen. Die aktuellen Fragebögen in verschiedenen Sprachen stehen wie die Bewertungsanweisungen (*scoring instructions*) auf www.koos.nu zum kostenfreien Download zur Verfügung.

Der HOOS wurde im Gegensatz zum HHS durch Literaturrecherche, Interviews mit mehr als 100 Patienten und durch Befragung von 90 Patienten, bei denen eine TEP-Operation durchgeführt worden war, entwickelt [Nilsson & Bremander 2011].

Die Reliabilität wurde mittels einer hohen internen Konsistenz und hoher Test-Retest-Reproduzierbarkeit geprüft [Nilsson & Bremander 2011]. Im Rahmen der Validitätsprüfung zeigten die Subskalen des HOOS im Vergleich mit denen des SF-36 eine konvergente Konstruktvalidität [Nilsson et al. 2003]. Insgesamt scheint die Ansprechbarkeit besser als die des WOMAC-Scores zu sein und ist besonders bei jüngeren Patienten ausgeprägt [Nilsson et al. 2003]. Dennoch wird der HOOS bis ins hohe Alter verwendet [Nilsson & Bremander 2011].

3.4.3 Röntgen

Der Erfolg oder das Versagen der Prothesenfixierung kann mithilfe eines Röntgenbildes festgestellt werden. So geben röntgenstrahldurchlässige Linien an der Knochen-Prothesengrenze einen Hinweis auf eine unzureichende Fixierung. Die Parameter für den Status des Implantats sowie die Anpassungsvorgänge des Knochens können mittels etablierter Auswertungsschemata, wie der von Johnston et al. oder Brooker et al., bewertet werden [Johnston et al. 1990; Brooker et al. 1973; Gruen et al. 1979]. Das für die Auswertung relevante *Calcar femoris* stellt die Kortikalis des Adambogens dar, der aus den im Femurkopf entspringenden und in die Kortikalis des medialen Schenkelhalses einstrahlenden Drucktrabekeln besteht [Weigel 2011; Fröber 2002].

Eine Ablagerung von Knochen in Bereiche, die physiologischerweise keinen Knochen enthalten, wird heterotope Ossifikation genannt. Die Grade I bis III nach Brooker beeinträchtigen das klinische Ergebnis für den Patienten nicht bemerkenswert, Grad IV kann den Bewegungsumfang und das klinische Ergebnis verschlechtern [Brooker et al. 1973]. Nach Brooker et al. sind die vier Grade der heterotopen Ossifikation wie in Tabelle 3 definiert:

Tabelle 3: Heterotope Ossifikation nach Brooker

Brooker I	Knocheninseln innerhalb der periartikulären Weichteile
Brooker II	Knochensporne aus dem Becken oder dem proximalen Femur, zwischen denen mindestens ein Zentimeter liegt
Brooker III	Knochensporne aus dem Becken oder dem proximalen Femur, zwischen denen weniger als ein Zentimeter liegt
Brooker IV	Deutliche knöcherne Verwachsungen der Hüfte, Ankylose

Die Beispielbilder in Abbildung 9 zeigen die Brooker-Grade I, II und III/ IV in einer a.-p.-Aufnahme des rechten Hüftgelenks. Klinisch gaben sowohl der Patient im linken Bild mit der singulären Knocheninsel kranial des *Trochanter majors* (Brooker I) als auch der Patient im mittleren Bild mit Knochenspornen aus dem Becken Richtung *Trochanter major* (Brooker II) keine Beschwerden an. Der Patient mit einliegender Standardprothese im rechten Bild (Brooker III/ IV) dagegen klagte über einen eingeschränkten Bewegungsumfang und zunehmende Beschwerden (Abbildung 9):

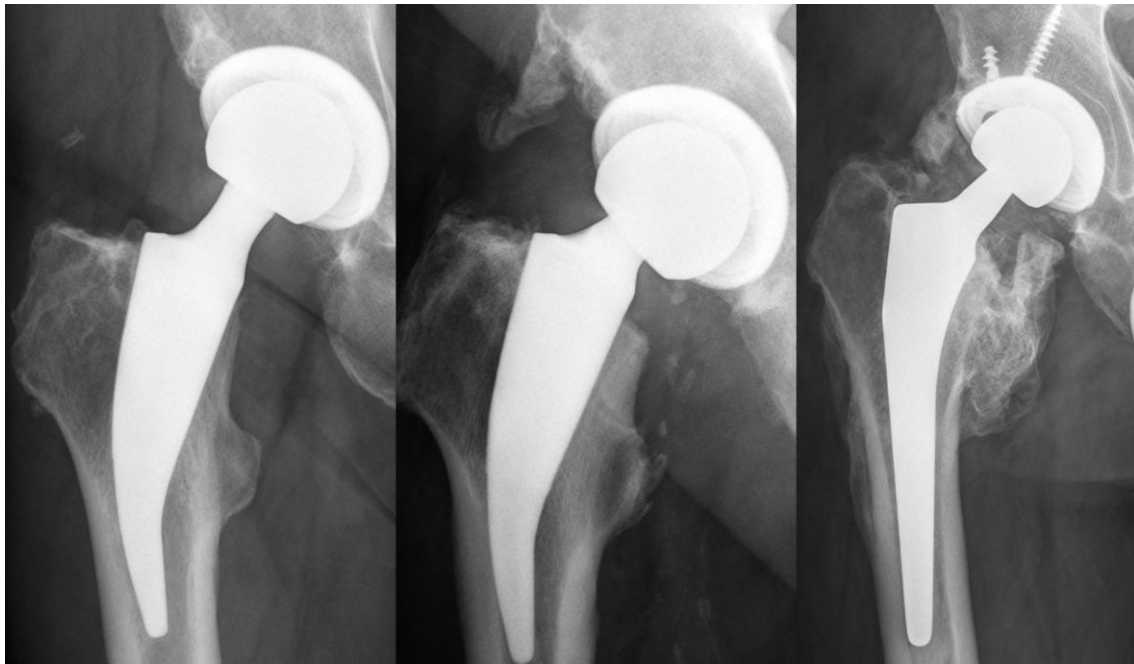


Abbildung 9: Links: Brooker Grad I. Mitte: Brooker II. Rechts: Brooker III-IV. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.

3.4.4 Dual-Röntgen-Absorptiometrie (DXA)

Das Dual-Röntgen-Absorptiometrie-Verfahren (Synonym: *dual-energy X-ray absorptiometry*, kurz DXA oder DEXA) ist ein Röntgenverfahren. Hierbei werden gleichzeitig Röntgenstrahlen mit zwei unterschiedlichen spektralen Energieverteilungen eingesetzt. Die DXA untersucht die Zusammensetzung von Geweben anhand der Strahlenabsorption. Zunächst wird vereinfachend angenommen, dass der Körper aus Knochen- und Weichteilgewebe besteht. Unter Heranziehung der gemittelten Massenschwächungskoeffizienten von Knochen und Weichteilgewebe wird die auf eine Fläche projizierte Knochenmineraldichte (Knochenflächendichte, *bone mineral density*, BMD) in Gramm pro Quadratzentimeter (g/cm^2) und/ oder der Knochenmineralgehalt (*bone mineral content*, BMC) in Gramm (g) angegeben. Diese Resultate werden als Zahl und teilweise zusätzlich als Bild dargestellt [Strahlenschutzkommission 2015].

In konventionellen Röntgenaufnahmen braucht es Knochendichteveränderungen von über 30 %, bis diese auf den Aufnahmen sicher erkannt werden können [Reiter et al. 1997]. Mit der Dual-Röntgen-Absorptiometrie können bereits kleinere Knochendichteveränderungen ab 5 % quantifiziert werden [Martini et al. 1996]. Die Genauigkeit zwischen verschiedenen Messungen variiert lediglich um etwa 2 – 3 % [Martini et al. 2000]. Neben den Vorteilen der höheren Präzision und Reproduzierbarkeit

wird die Strahlenbelastung als niedrig angesehen [Njeh et al. 1999]. Damit gilt die DXA zur Beurteilung der periprothetischen Knochendichteveränderung als das bisher verlässlichste System und wird als Goldstandard angesehen [Cavalli & Brandi 2013]. Dennoch müssen verschiedene Dinge beachtet werden, damit die DXA ihre Vorteile ausspielen kann: Nach Hall et al. gibt es interfemorale Knochendichteunterschiede von bis zu 20 %, weshalb das Femur der Gegenseite nicht als Referenz genommen werden kann [Hall et al. 1991]. Stattdessen sollte die Referenzmessung innerhalb von zwei Wochen nach der Operation durchgeführt werden, um die Veränderung der periprothetischen Knochendichte im Folgenden beurteilen zu können, da es intraoperativ einen relevanten Knochenverlust gibt und nach der Operation periprothetische Umbauprozesse beginnen [Kröger et al. 1996; Venesmaa et al. 2001]. Eine ebenfalls wichtige Variable zur präzisen Messung ist die Lagerung. Bereits kleine Unterschiede in der Rotation des Femurs können Differenzen von bis zu 10,5 % in der BMD bewirken [Martini et al. 2000]. Deshalb ist es für vergleichbare Ergebnisse notwendig, Lagerungshilfen zu verwenden. Auch bei mehreren in die Auswertung involvierten Personen sinkt nach Niinimäki und Jalovaara die Präzision um 0,6 % durch die Ungenauigkeit in der Positionierung der auszuwertenden *ROIs (regions of interest)* [Niinimäki & Jalovaara 1995]. Nach Blake kann es beim Wechsel des Knochendichtemesssystems selbst innerhalb des Herstellers zu Schwierigkeiten bei der Kontinuität der BMD kommen, weshalb Empfehlungen zur Kreuzkalibrierung beim Wechsel von Geräten zu beachten sind [Blake et al. 2004; Jankowski et al. 2019]. Eine Knochendichtemessung beider Hüften dauert je nach Gerät etwa zehn Minuten. Ein Knochendichtemessgerät ist in Abbildung 10 dargestellt:



Abbildung 10: Lunar Prodigy Primo, Knochendichtemessgerät. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.

Gruen teilte das proximale Femur um den zementierten Standardschaft für eine detailliertere Beurteilung von a.-p.-Röntgenbildern in sieben Zonen ein [Gruen et al. 1979]. In Anlehnung an Gruen et al. sind die sieben *ROIs* (*regions of interest*), adaptiert an zementfreie Kurzschaftprothesen, in Abbildung 11 dargestellt. Die *ROI 6* umfasst den *Trochanter minor*, womit die *ROI 1* unterhalb des *Tuberculum innominatum* des *Trochanter majors* an die *ROI 2* grenzt. Die *ROI 4* grenzt an die distale Prothesenspitze.

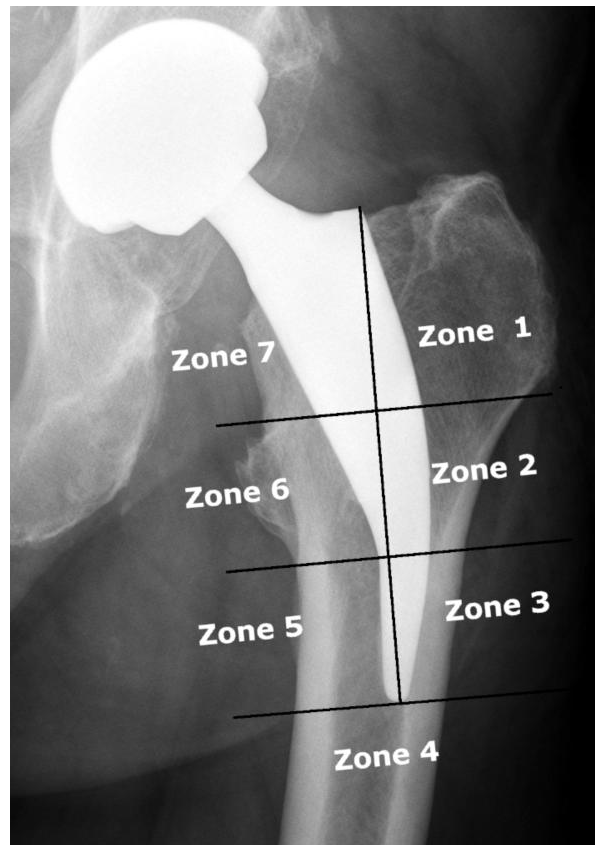


Abbildung 11: Die ROIs in Anlehnung an Gruen et al. 1979. Quelle: Angepasstes Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.

Für die Beurteilung der periprothetischen Knochendichte ist diese Einteilung ebenfalls verwendbar. Für jede ROI wird ein BMD-Wert angegeben. Die BMD auf der nicht operierten Hüftseite wird zudem in einer Zahl als Vergleich zu einer Referenzgruppe aus jungen Erwachsenen angegeben. Diese Zahl, in den Ergebnissen der Knochendichtemessung als T-Wert bezeichnet, ist die Anzahl an Standardabweichungen, die die gemessene Knochendichte von der Referenzgruppe abweicht. Eine normale Knochendichte liegt innerhalb einer Standardabweichung (SD) im Vergleich zur Referenzgruppe. Eine osteopore Knochenstoffwechsellaage liegt zwischen 1-2,5 SD unterhalb der Referenzgruppe vor, die Osteoporose ist durch Vorliegen einer Knochendichte von über 2,5 SD zur Referenzgruppe gekennzeichnet [World Health Organization 1994].

3.5 Zugangswege zur Hüfte

Grundsätzlich sind vier verschiedene Zugangswege zu unterscheiden: der anteriore Zugang, der anterolaterale Zugang, der laterale Zugang und der posteriore Zugang.

Der anteriore Zugang wurde zuerst von Carl Hueter 1881 beschrieben, auch wenn die Technik meist Marius Smith-Peterson zugeschrieben wird, der diese 1917 publizierte [Connolly & Kamath 2016]. Hierbei nimmt man etwa drei Zentimeter distal und drei Zentimeter lateral der *Spina iliaca anterior superior* bis zu einem Punkt wenige Zentimeter anterior des *Trochanter majors* eine Inzision vor. Die Faszie oberhalb des *M. tensor fasciae latae* wird eingeschnitten und das Intervall zwischen dem medialen Muskelbauch des *M. tensor fasciae latae* und dem lateralen Muskelbauch des *M. sartorius* genutzt (Abbildung 12, Nummer 1) [Connolly & Kamath 2016]. Nach Kennon beträgt die Länge der Inzision etwa fünf bis acht Zentimeter [Kennon et al. 2004].

Der anterolaterale Zugang wurde durch Watson-Jones bereits im Jahr 1936 bekannt [Watson-Jones 1936]. Hierbei wird der Schenkelhals im Bereich zwischen *M. gluteus medius* und dem *M. tensor fasciae latae* freigelegt. Die vorderen Ansatzfasern des *M. gluteus medius* werden abgetrennt, um sowohl die Vorderseite als auch die Seite des Schenkelhalses sehen zu können [Watson-Jones 1936]. Dieser Zugang wurde von Bertin und Röttinger wie folgt modifiziert: Der Patient liegt in Seitenlage mit der zu operierenden Seite nach oben auf dem Operationstisch. Die Hautinzision wird auf einer Linie beginnend vom *Tuberculum anterius* des *Trochanter majors* bis zur *Spina iliaca anterior superior* mit einer Länge von etwa sechs bis sieben Zentimetern durchgeführt. Der Zugang zur Hüfte erfolgt nun zwischen *M. gluteus medius* und *M. tensor fasciae latae*, in der Tiefe ventral am *M. gluteus minimus* vorbei, ohne einen dieser Muskeln abzulösen oder zu durchtrennen (Abbildung 12, Nummer 2) [Bertin & Röttinger 2004]. Dieser modifizierte Zugang wird ALMIS (*anterolateral minimally invasive surgery*) abgekürzt. Zuvor publizierte Frndak et al. eine Muskelspaltung der Abduktoren, deren Operationsweg ähnlich dem von Bertin und Röttinger ist [Frndak et al. 1993]. Basad et al. publizierten einen ALMIS in Rückenlage [Basad et al. 2009]. Nach Lepri et al. sollte der Begriff anterolateral im Rahmen der Zugänge nur noch genutzt werden, wenn der *M. gluteus medius* unbeschadet bleibt [Lepri et al. 2020].

Für den lateralen Zugang nach Bauer et al. wird zunächst die Haut etwa drei bis vier Zentimeter unterhalb und lateral der *Spina iliaca anterior superior* inzidiert [Bauer et al.

1979]. Der Hautschnitt verläuft in einer sanften Kurve über den *Trochanter*, etwa sieben bis acht Zentimeter distal. Die *Fascia lata* wird entlang ihres Verlaufes eröffnet, anschließend folgt die Spaltung des *M. gluteus medius*, *M. gluteus minimus* und des *M. vastus lateralis* (Abbildung 12, Nummer 3) [Bauer et al. 1979].

Der posteriore Zugang wurde von Moore in den 1950er-Jahren verbreitet [Petis et al. 2015]. Der Hautschnitt beginnt fünf Zentimeter distal des *Trochanter major* und setzt sich proximal bis zur *Spina iliaca posterior superior* fort. Die *Fascia lata* wird gespalten, ebenso der darunterliegende *M. gluteus maximus* bis zu den kurzen Außenrotatoren. Diese werden, inklusive *M. piriformis*, tenotomiert und im Anschluss wieder refixiert (Abbildung 12, Nummer 4) [Petis et al. 2015].

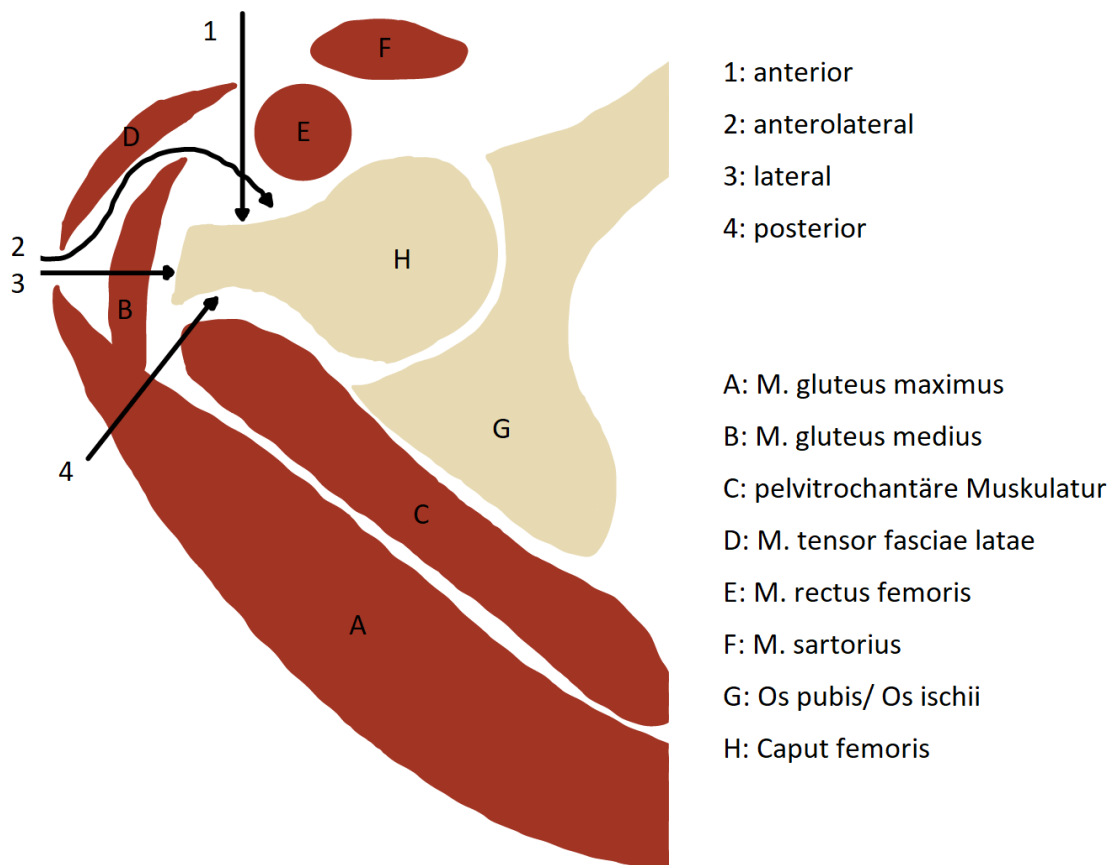


Abbildung 12: Schemazeichnung Zugangswege zur Hüfte, Ansicht von dorsoventral, rechte Hüfte.

**Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie
des UKGM Gießen, Max Brandl.**

Manche dieser aufgezählten Zugänge gelten als minimalinvasiv. In den letzten beiden Jahrzehnten hat die Popularität von minimalinvasiven Hüftoperationen zugenommen [Clesham et al. 2022]. Über die Bedeutung von minimalinvasiven Zugängen wird viel diskutiert. Eine Suche auf PubMed mit den Stichwörtern „*minimally invasive THA*“ lieferte im Oktober 2025 485 Ergebnisse. Abzugrenzen ist der Begriff *mini-incision* von *minimally invasive*. *Mini incision* bezeichnet eine Inzision von sechs bis zehn Zentimetern Länge und wurde in Studien für den anterioren, anterolateralen, direkt lateralen und posterioren Zugang beschrieben [Cheng et al. 2009]. Minimalinvasiv dagegen bedeutet ein kleinstmögliches Trauma, was aus einem kurzen Hautschnitt und einer Schonung der Muskulatur durch das Verwenden von intermuskulären Intervallen besteht [Cheng et al. 2009]. Damit sind sowohl der anteriore (Smith-Peterson) Zugang als auch der modifizierte Watson-Jones (anterolateral) Zugang minimalinvasive Zugänge.

Befürworter von minimalinvasiven Zugangswegen berichten vom Potential, den intraoperativen Blutverlust wie die unmittelbaren postoperativen Schmerzen zu minimieren und gleichzeitig Muskelfunktionen zu erhalten, was in einer früheren Wiederaufnahme normaler Aktivitäten und Entlassung aus dem Krankenhaus münden soll [Howell et al. 2004]. So konnte in Studien, die die Ergebnisse von minimalinvasiven Zugängen mit denen von konventionellen verglichen, ein geringerer intraoperativer Blutverlust bei minimalinvasiver Technik nachgewiesen werden, obgleich eine aktuelle Meta-Studie zu „Revision insgesamt, aseptische Revision, Infektionen, periprotehetische Frakturen und dem funktionellen Ergebnis“ keinen Unterschied finden konnte [Howell et al. 2004; Clesham et al. 2022].

4 Material und Methode

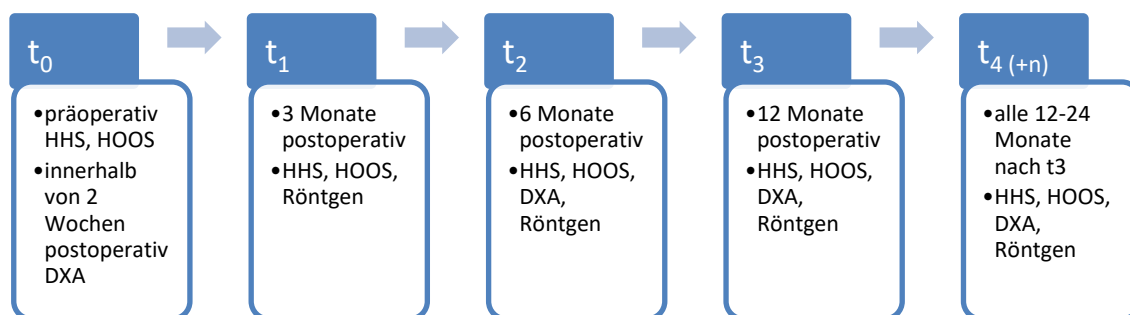
4.1 Studiendesign

Aspekte dieser Promotionsarbeit wurden in einem Journal als Paper vorveröffentlicht [Brandl et al. 2024].

Das Studiendesign ist prospektiv. Ein bewilligendes Ethikvotum Aktenzeichen 152/09 der Sitzung vom 29.10.2009 ist vorhanden. Dieses erlaubt die Verlaufsbeobachtung zur periprotetischen Knochendichte nach Implantation der zementfreien Metha®-Kurzschafthoprothese in der Hüftendoprothetik. Ein Amendment vom 22.08.2013 liegt ebenfalls vor.

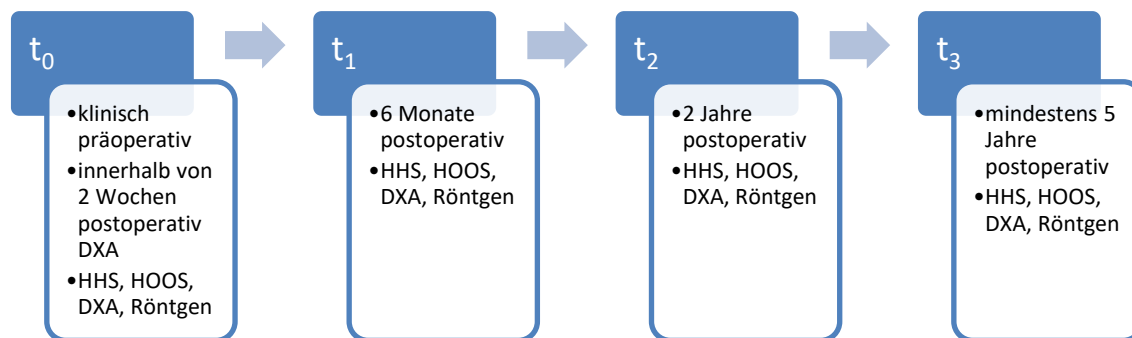
Das Studiendesign von 2009 sieht vor, dass die Patienten präoperativ (t_0) klinisch untersucht sowie HHS und HOOS erhoben werden und ein Röntgenbild angefertigt wird (Diagramm 1). Innerhalb von zwei Wochen nach der Operation wird bei Einverständnis möglichst eine Knochendichtemessung durchgeführt. Die klinische Untersuchung zu t_0 wird immer präoperativ durchgeführt – der Fragebogen zum Zustand vor der Operation wurde teilweise während des Aufenthalts in der Klinik nach der Operation ausgefüllt. Am ersten Kontrolltermin drei Monate postoperativ werden der HHS, der HOOS und das Röntgenbild kontrolliert (t_1). Beim zweiten Kontrolltermin nach sechs Monaten postoperativ (t_2) wird neben dem HHS, dem HOOS und einem Röntgenbild erneut die Knochendichte bestimmt. Zwölf Monate nach der Operation (t_3) und bei jedem weiteren Kontrolltermin im Abstand von 12-24 Monaten nach t_3 wird verfahren wie bei t_2 . Falls ein Patient mit zwei zu untersuchenden Prothesen versorgt ist, wird dies für jede Seite bestimmt.

Diagramm 1: Ursprüngliches Studiendesign



Die Kontrolluntersuchungen wurden in dem gewählten Kollektiv von Patienten über 60 Jahren unregelmäßig wahrgenommen. Daher wurden folgende Kontrollpunkte für diese Studie gewählt (Diagramm 2):

Diagramm 2: Ausgewertete Kontrolltermine



Gemäß Studiendesign wurden die Patienten präoperativ (t₀) klinisch untersucht und füllten den HHS- und HOOS-Fragebogen aus. Innerhalb von zwei Wochen nach der Operation musste zudem eine Knochendichtemessung durchgeführt werden. Der erste ausgewertete Kontrolltermin in unserer Studie ist die Kontrolle nach sechs Monaten (t₁), der zweite Kontrolltermin nach zwei Jahren postoperativ (t₂). Wie bei allen Kontrollen wurden nach Möglichkeit der HHS, der HOOS, ein Röntgenbild sowie die Knochendichte kontrolliert. Für die Auswertung wurde der Zeitpunkt der Kontrolluntersuchung, die am nächsten an den sechs Monaten beziehungsweise zwei Jahren liegt, gewählt. Somit wurde für t₁ der Drei-Monats-Kontrollzeitraum und für t₂ der Zwölf-Monats oder Drei-Jahres Kontrollzeitraum gewertet, falls der Sechs-Monats- beziehungsweise Zwei-Jahres-Kontrolltermin nicht wahrgenommen worden war. Der Endpunkt der Studie ist frühestens der Fünf-Jahres-Kontrolltermin postoperativ (t₃). In einer ersten Runde wurden im Jahr 2021 Patienten, die den Einschlusskriterien entsprachen und noch keine Knochendichtemessung zum Fünf-Jahres-Kontrollzeitpunkt oder später erhalten hatten, angerufen und – falls die Patienten einverstanden waren – ein Termin für die Kontrolluntersuchung vereinbart. Patienten, die nicht in das Klinikum kommen konnten oder wollten, wurden im Januar und Februar 2022 telefonisch zu HHS und HOOS befragt. Auch Patienten, deren letzte Kontrolle vor dem 01.01.2020 gewesen war, wurden zwecks aktuellerem Prothesenstatus telefonisch kontaktiert. Ende der klinischen Untersuchung oder telefonischen Befragung war der 28.02.2022. Es wurde der letzte bekannte Status der Prothese zum Stichtag ausgewertet.

Das Einbestellen der Patienten ab Ende Mai 2021, die zu den jährlichen Kontrollen des Studiendesigns nicht mehr erschienen waren, fand während der COVID-19-Pandemie statt und war erschwert. Trotz erhöhter Hygienemaßnahmen während der Pandemie trafen einige Patienten die individuelle Entscheidung, nicht zu physischen Nachuntersuchungen in die Klinik zu kommen. Auch für die Patienten stieg der Aufwand: Für die Einlasskontrolle mussten pandemiebedingt ein aktueller negativer Antigen-Schnelltest oder ein Impf- beziehungsweise Genesenen-Zertifikat vorgelegt werden. Diese Voraussetzung erfüllten nicht alle Patienten. Zusätzlich kamen die bei vorherigen Untersuchungszeitpunkten aufgetretenen Probleme hinzu: Im Mittel zur letzten Kontrolle über 74 Jahre alten Patientenkollektiv liegt eine erhöhte Anzahl an Komorbiditäten und Pflegebedürftigkeit vor. Diese erschwerten – wie das große Einzugsgebiet und Umzüge – die Anreise zum Klinikum.

4.2 Das Patientenkollektiv

Zum Einschluss in das Patientenkollektiv unserer Studie mussten folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- Implantation der zementfreien Metha[®]-Kurzschafthprothese zwischen dem 29.10.2009 und dem 31.01.2017
- Vollendung des 60. Lebensjahres zum Zeitpunkt der Operation
- Messung der Knochendichte innerhalb von zwei Wochen postoperativ
- Grundlage zur Teilnahme an der Studie war das Einverständnis der Patienten nach Aufklärung über die Studie

4.3 Metha[®]-Prothese

Die Metha[®]-Kurzschafthprothese (B. Braun, Aesculap AG, Tuttlingen) wurde erstmalig im Jahr 2004 implantiert und wurde bei allen Patienten in unserer Studie verwendet [Aesculap AG a]. Die Prothese soll metaphysär (Abbildung 13, Buchstabe A) und zementfrei innerhalb des geschlossenen Schenkelhalsrings verankern und ist durch den Erhalt des Schenkelhalsrings schenkelhalsteilerhaltend (Abbildung 13, Buchstabe B). Die doppelt konische Form soll die Primärstabilität und die proximale Krafteinleitung unterstützen. Zudem wird die Primärstabilität durch das Anlegen der Schaftspitze an der dorsolateralen Kortikalis erhöht (Abbildung 13, Buchstabe C). Für die knöcherne

Integration ist der Metha[®]-Schaft rundum mit Plasmapore[®] μ -CaP (Dicalciumphosphat-Dihydrat, $\text{CaHPO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$) beschichtet, in Abbildung 13 durch den grauen Bereich schematisch dargestellt. Diese Schicht wirkt laut Herstellerangaben osteokonduktiv und beschleunigt den Kontakt zwischen Knochen und Prothesenschaft. Durch die kleine Schaftgröße werden weniger invasive Zugänge unterstützt. Die Prothese besteht aus einer Titan-Schmiedelegerung (Ti6Al4V / ISO 5832-3) und es gibt sie in acht verschiedenen Größen (von 9,75 cm bis 12,25 cm Länge) und in drei verschiedenen CCD-Winkeln (120° , 130° , 135°) mit unterschiedlichen Offsetvarianten [Aesculap AG b].

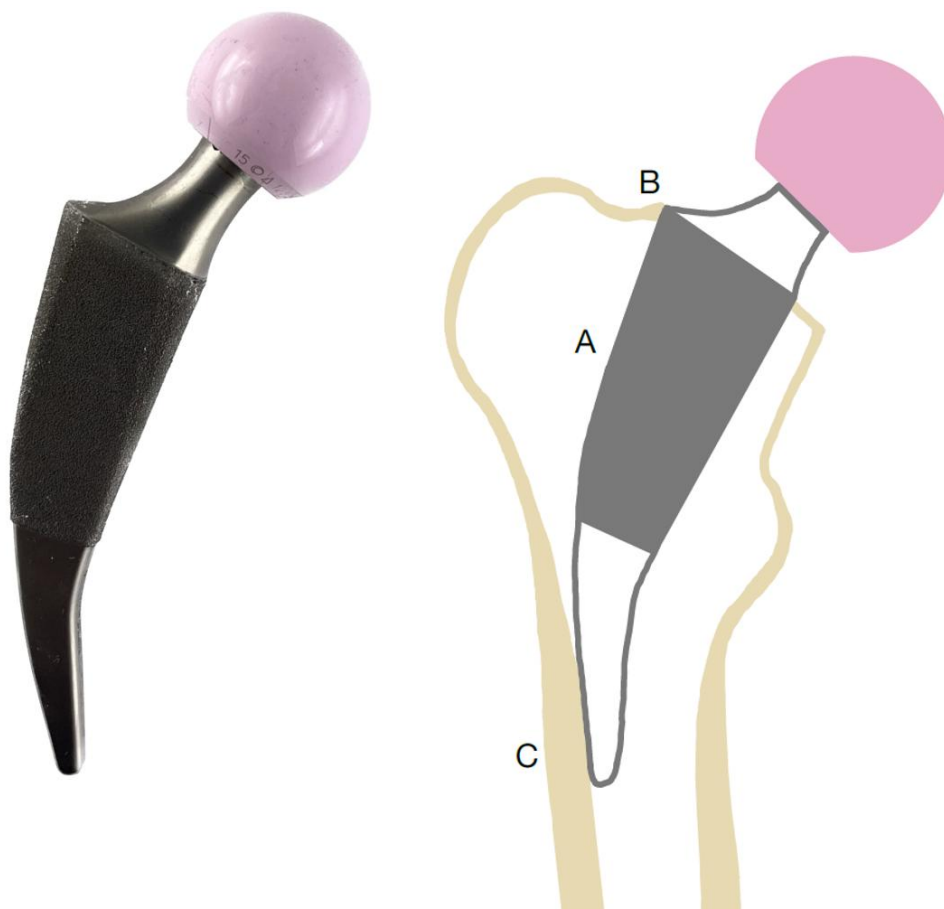


Abbildung 13: Metha[®]-Prothese mit BIOLOX[®]delta Kopf, links Fotografie, rechts Schemazeichnung. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.

Nach Hersteller ist die Voraussetzung für die Implantation der Metha[®]-Kurzschafthprothese eine gute Knochenqualität. Mögliche Zugänge sind der direkt anteriore, anterolaterale, direkt laterale und der posteriore. Indikationen einer operativen Versorgung sind die degenerative Koxarthrose, die rheumatische Arthritis und die

Femurkopfnekrose, Erfahrungen konnten zusätzlich mit den Knochenformen *Coxa vara* und Dysplasie-Koxarthrosen gemacht werden [Aesculap AG b].

Die Resektion des Schenkelhalses wird etwa zwei Millimeter oberhalb des tiefsten Punktes der *Fossa trochanterica* und optimalerweise in einem Winkel von 50° zur Femurachse durchgeführt. Wenn die Resektion tiefer liegt und kein geschlossener kortikaler Ring des Schenkelhalses erhalten bleibt, kann die Stabilität der Prothesenverankerung beeinträchtigt werden, was eine Kontraindikation darstellt [Aesculap AG b]. Die Primärstabilität wird durch eine mehrpunktuelle Verklemmung und eine *press-fit* Verankerung erreicht. Relative Kontraindikationen für die Metha®-Prothese sind eine kurze und weite Schenkelhalskonfiguration, eine schlechte Knochenqualität sowie ein CCD-Winkel unter 120° [Ishaque 2022].

4.3.1 Hüftpfanne, Inlay und Hüftkopf

In Kombination mit der Metha®-Prothese werden folgende Hüftpfannen verwendet: Plasmacup® und Plasmafit® (B. Braun, Aesculap AG, Tuttlingen) sowie die Allofit®-Pfanne (Zimmer Biomet, Warsaw, USA).

Das Inlay besteht aus Vitelene® (B. Braun, Aesculap AG, Tuttlingen), Durasul® (Zimmer Biomet, Warsaw, USA) oder BIOLOX®-Keramik (CeramTec GmbH, Plochingen).

Der Kopf besteht aus BIOLOX®-Keramik, entweder BIOLOX®*delta* oder BIOLOX®*forte* (CeramTec GmbH, Plochingen).

4.4 Operation

Die präoperative Planung der Operation wird digital mittels mediCAD® (mediCAD Hectec GmbH, Altdorf, Germany) durchgeführt. Die Zugangsmethode der Wahl ist der ALMIS (modifizierter Watson-Jones) nach Basad et al. [Basad et al. 2009]. Im Folgenden ist das operative Vorgehen beschrieben:

Der Patient wird in Rückenlage gelagert und in hausüblicher Weise steril abgewaschen und abgedeckt. Nach dem Überprüfen der WHO-Checkliste für sicheres Operieren inklusive der Kontrolle der Operationseinwilligung wird die Haut kurzstreckig auf einer Linie vom *Tuberculum anterior* des *Trochanter majors* bis zur *Spina iliaca anterior superior* inzidiert (Abbildung 14 links) [WHO 2009]. Anschließend wird durch Kutis und

Subkutis bis zur Faszie präpariert sowie Blutungen exakt elektrisch gestillt, bis die *Fascia lata* dargestellt ist (Abbildung 14 rechts).

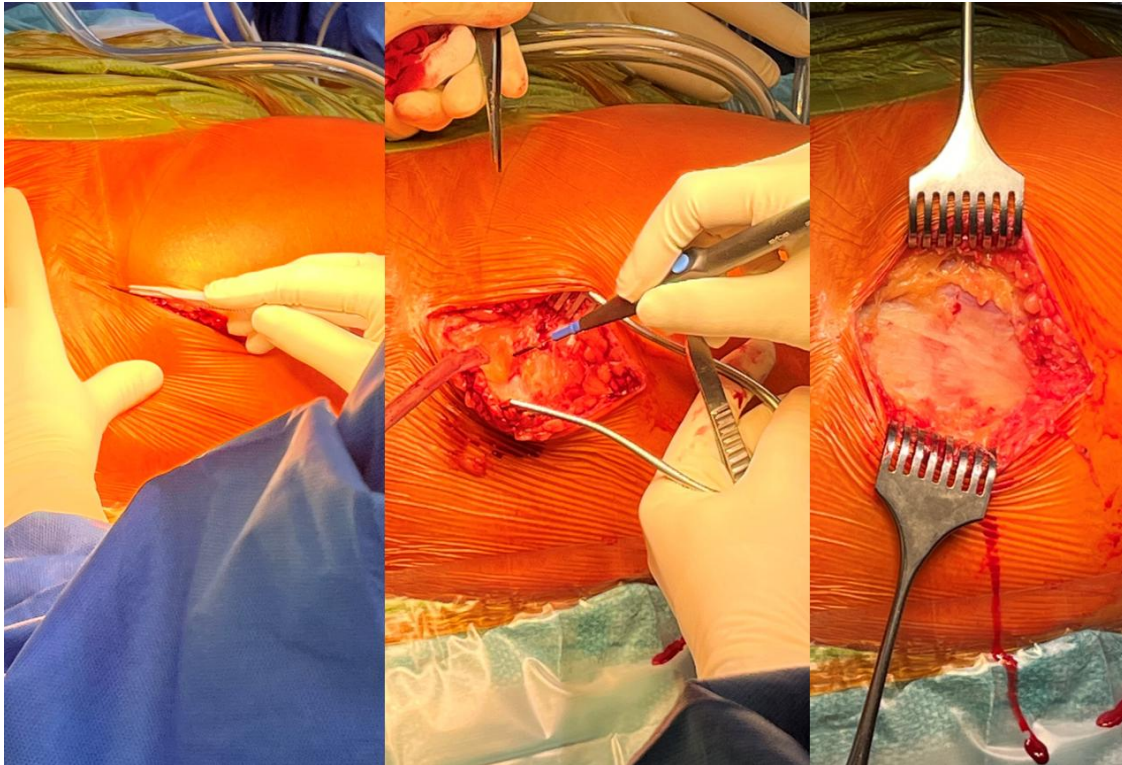


Abbildung 14: Links: Hautschnitt. Rechts: Darstellung *Fascia lata* nach Präparation.

**Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie
des UKGM Gießen, Max Brandl.**

Die Faszie wird längs geöffnet, die Muskulatur dargestellt und intermuskulär zwischen *M. tensor fasciae latae* und *M. gluteus medius* (Abbildung 15 links) eingegangen, um die ventrolaterale Kapselzirkumferenz darzustellen (Abbildung 15 rechts).

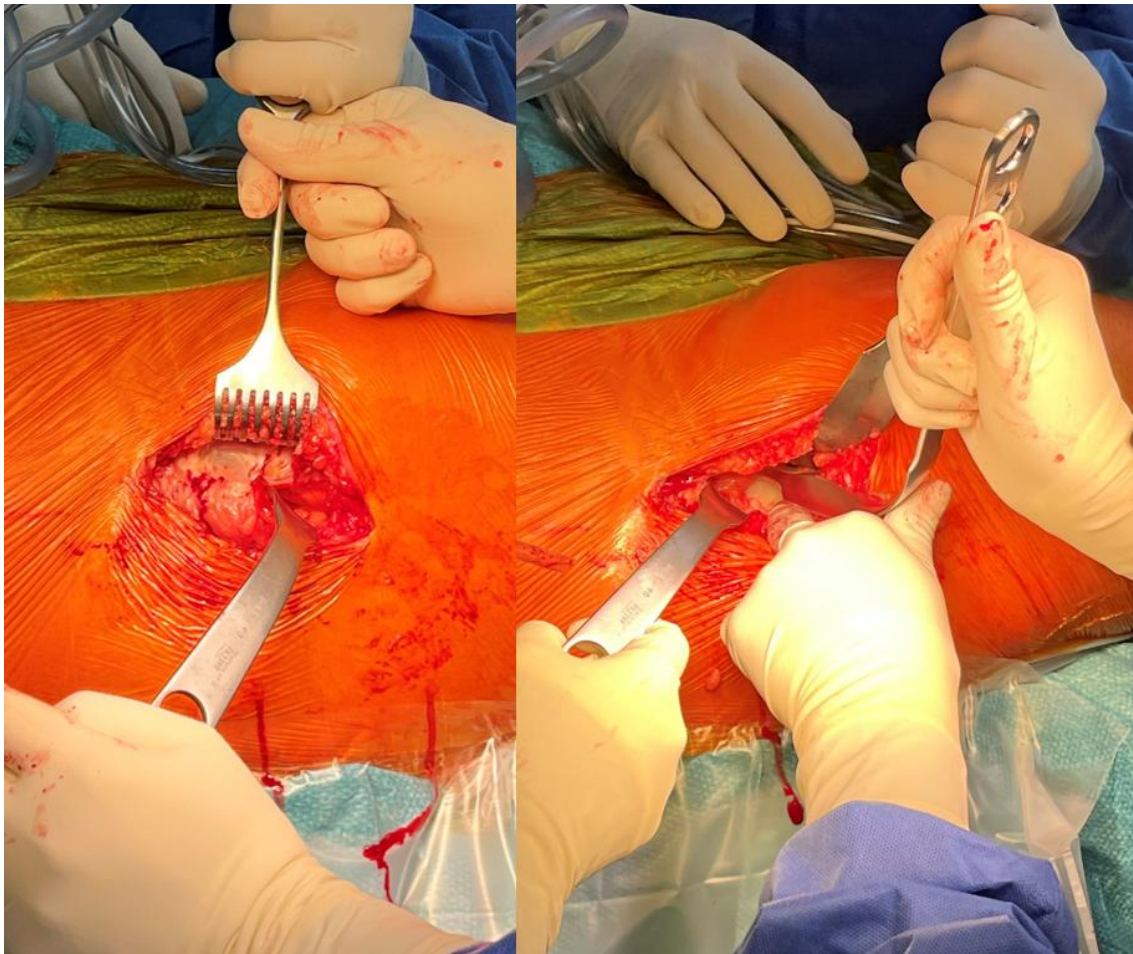


Abbildung 15: Links: Darstellung der Muskulatur. Rechts: Darstellung der Kapselzirkumferenz nach intermuskulärem Eingehen. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.

Die Kapselzirkumferenz wird abgetragen, wobei sich die Gelenkflüssigkeit serös entleert, und die Schenkelhalsebene eingestellt wird. Der Schenkelhals wird mit zwei Hohmann-Retraktoren (Abbildung 16 links) umfahren und die Osteotomie entsprechend der Planung zur Kurzschaftprothese durchgeführt (Abbildung 16 rechts).

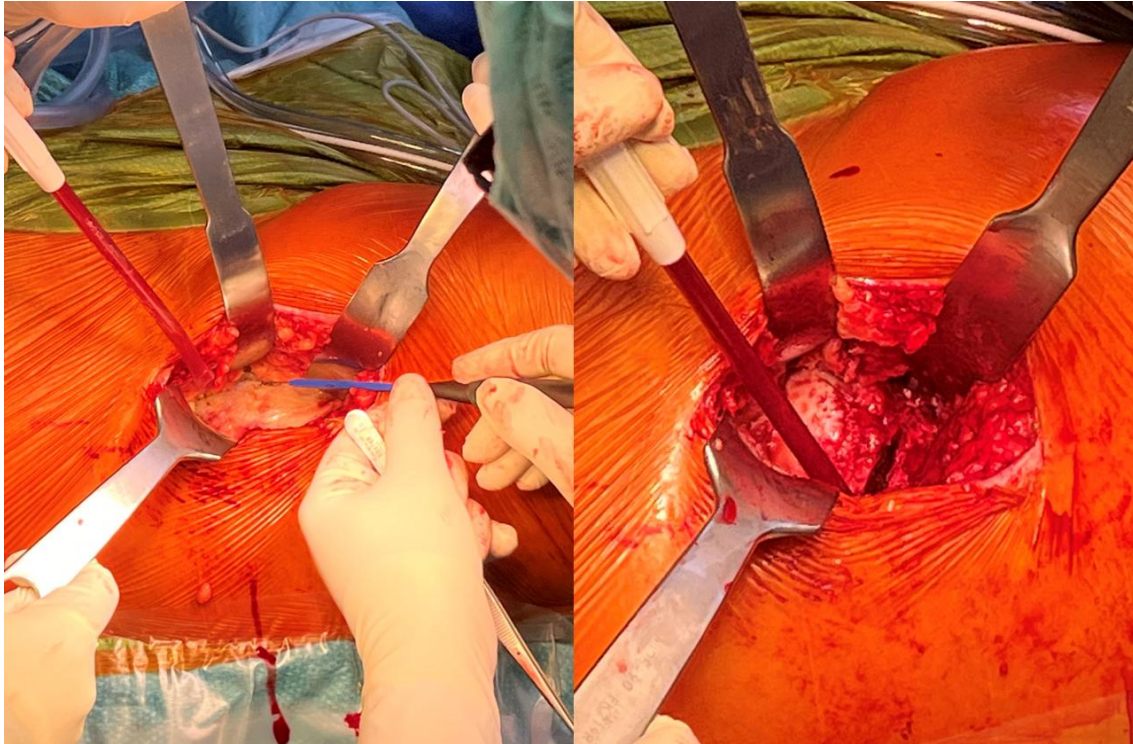


Abbildung 16: Links: Abtragen der Kapselzirkumferenz. Rechts: Osteotomie des Schenkelhalses.

**Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie
des UKGM Gießen, Max Brandl.**

Das Entfernen des deformierten und entknorpelten Hüftkopfes mit dem Korkendreher (Abbildung 17 links) folgt. Anschließend wird die Pfanneneingangsebene dargestellt, die restlichen Kapselanteile abgetragen, die *Incisura acetabuli* mit dem Meißel bearbeitet und der Pfannengrund mit den Fräsen (in diesem Fall Plasmafit®) für die Hüftpfanne in aufsteigender Reihenfolge bis zur passenden Größe in geplanter Pfannenposition aufgefräst (Abbildung 17 rechts).

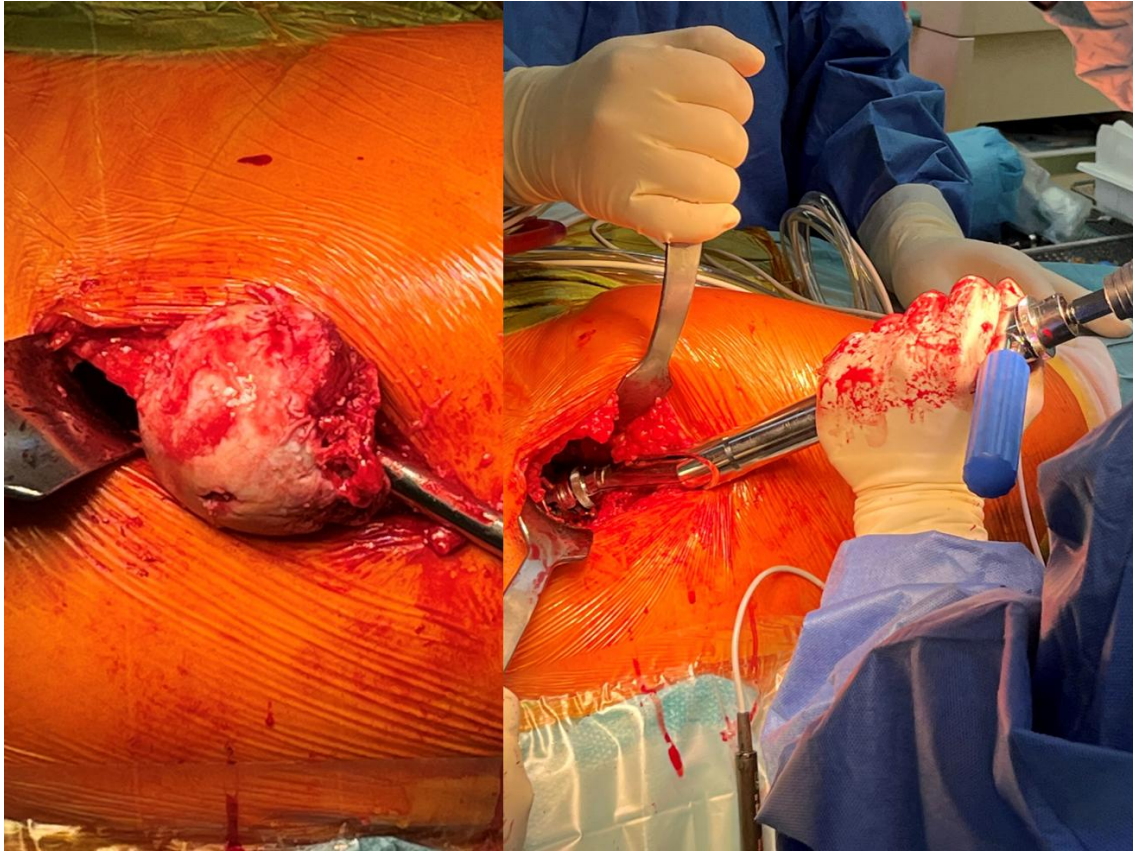


Abbildung 17: Links: Entfernter Hüftkopf. Rechts: Fräsen für die Hüftpfanne.

**Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie
des UKGM Gießen, Max Brandl.**

In das für die Aufnahme der *press-fit* Pfanne entwickelte spongiöse Bett wird diese in die exakt geplante Positionierung eingeschlagen (Abbildung 18 links). Die Pfanne wird auf korrekten und festen Sitz überprüft (Abbildung 18 rechts) und das Keramik-Inlay eingesetzt.

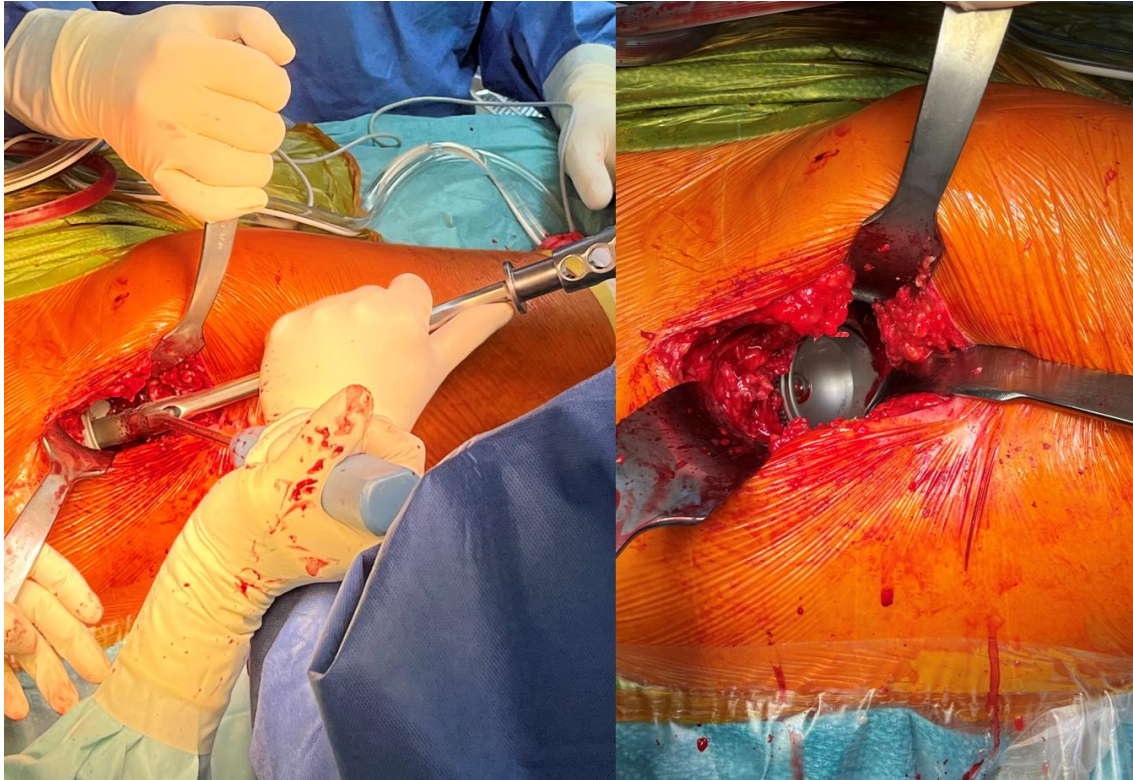


Abbildung 18: Links: Einschlagen der *press-fit* Pfanne in das Pfannenbett.

Rechts: Positionierte Pfanne vor Inlay-Einsatz. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.

Nach Umlagerung des Beines blickt man auf den geschlossenen und erhaltenen Schenkelhalsring mit geschlossenem Markraum. Das Öffnen des Markraums geschieht mit der Ahle, Erweitern mit dem scharfen Löffel und Aufraspeln des proximalen Femurs (Abbildung 19 links) mit den Raspeln für die Metha[®]-Prothese bis zur geplanten Größe, bei der die Formraspel an der lateralen Kortikalis des Femurs anliegt und sich ein rotationssicherer Sitz der Raspel im Schenkelhalsring ergibt. Zur Probereposition werden der Probekonus-Adapter mit dem geplanten CCD-Winkel sowie ein Probekopf in geplanter Größe auf die Raspel gesetzt. Bei gutem Bewegungsumfang, erfolgter Beinlängtenkorrektur und nach Prüfung der Luxationstendenz wie der Weichteil- und Bandspannung werden die geprüften Komponenten gewählt. Der geschlossene Schenkelhalsring mit geöffnetem Markraum ist nun sichtbar (Abbildung 19 rechts).

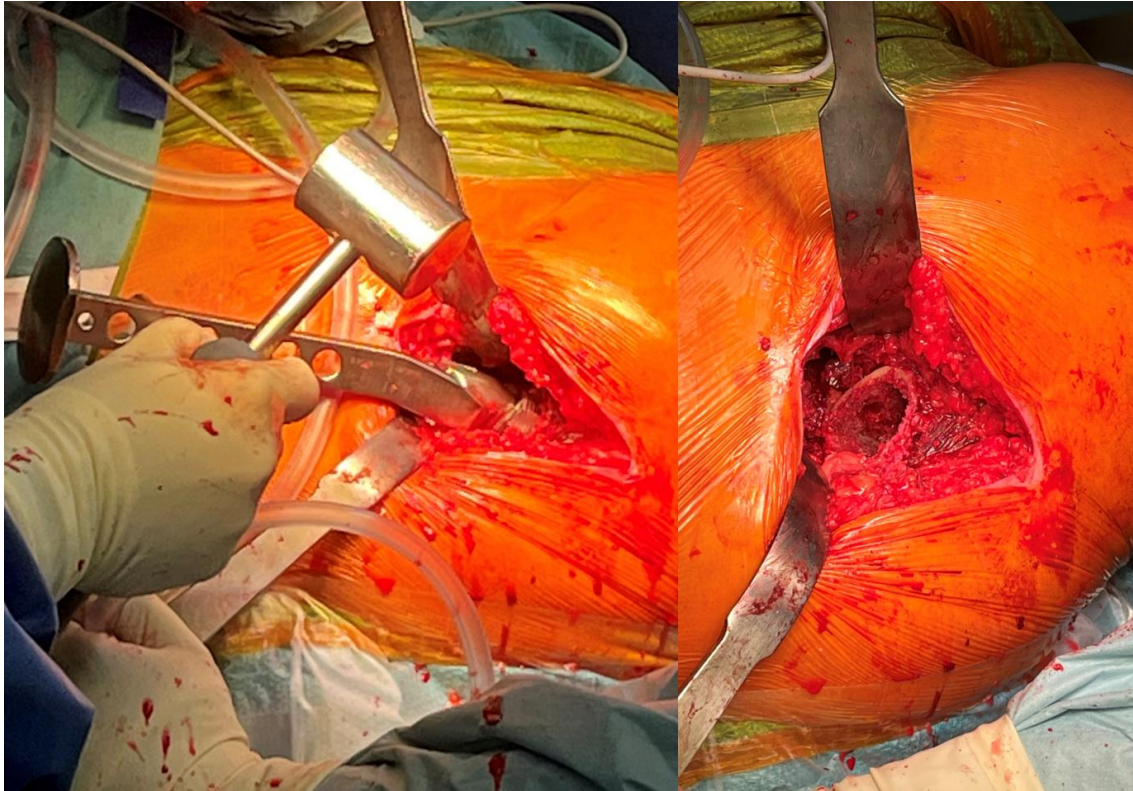


Abbildung 19: Links: Schenkelhalsring mit geschlossenem Markraum. Mitte: Öffnen des Markraums. Rechts: Schenkelhalsring mit geöffnetem Markraum. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.

Die Originalkomponente der Metha[®]-Prothese wird eingeschlagen und ein BIOLOX[®]-Steckkopf aufgesetzt (Abbildung 20 links). Während der abschließenden Reposition (Abbildung 20 rechts) wird erneut auf Beinlänge, Beweglichkeit und Luxationstendenz geprüft.

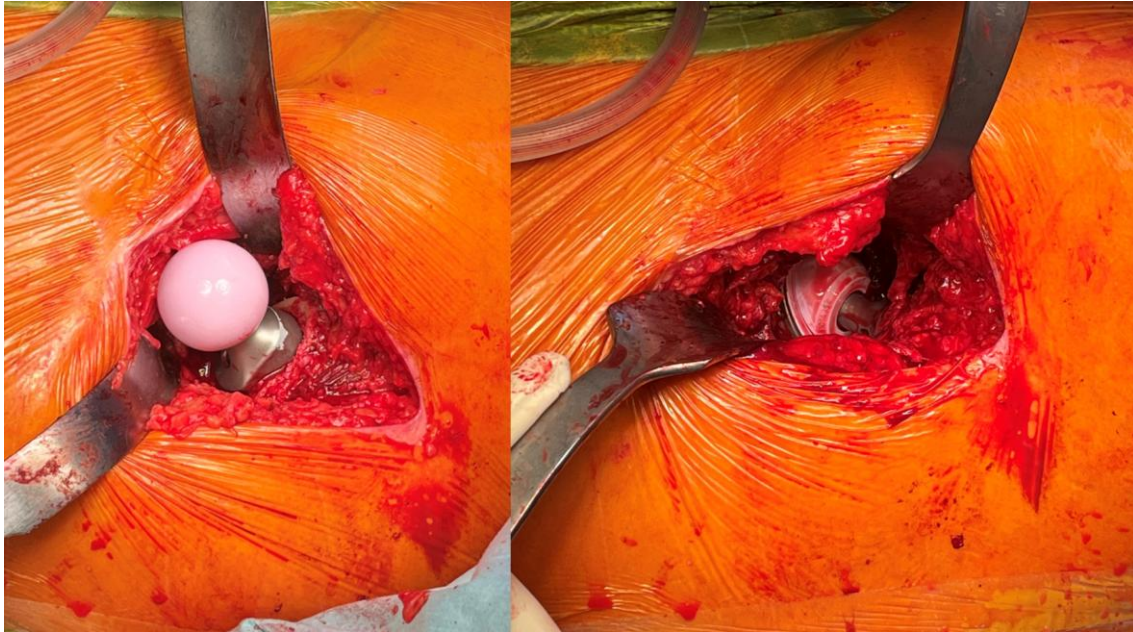


Abbildung 20: Links: Original Metha®-Prothese mit BIOLOX®delta Steckkopf. Rechts: Blick auf die reponierte Kurzschaftprothese. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.

Letztlich wird eine Drainage eingelegt und die Wunde schichtweise verschlossen (Abbildung 21).

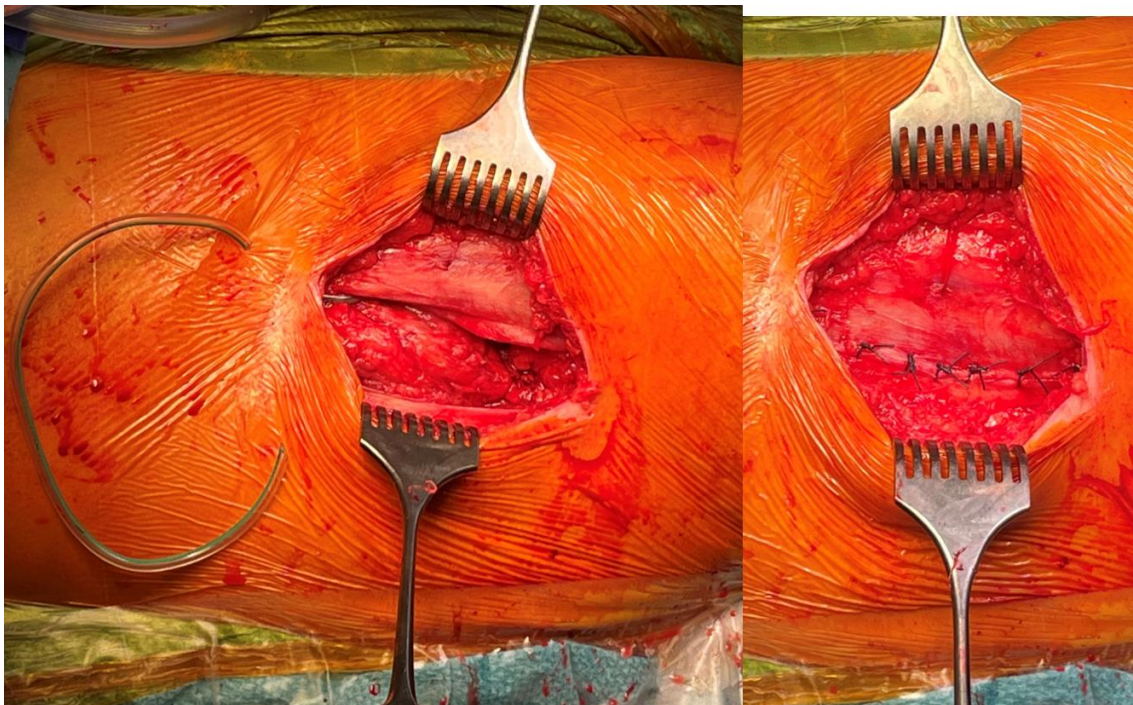


Abbildung 21: Links: Nach Einlage der Drainage Wundverschluss. Rechts Fasziennaht. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.

Nach Abheilung bleibt eine reizlose Narbe zurück (Abbildung 22).



Abbildung 22: Reizlose Narbe nach Wundheilung.

Quelle: Mit freundlicher Genehmigung von Herrn Prof. Dr. Ishaque.

4.5 Untersuchungsparameter beim Patienten

4.5.1 Klinische Untersuchung

Die klinische Untersuchung sowie die Kontrolle der Fragebögen führten üblicherweise ein Team aus Doktoranden durch, anschließend wurde der Patient einem erfahrenen Arzt vorgestellt. Die verwendeten Fragebögen finden sich im Anhang.

4.5.1.1 Harris Hip Score (HHS)

In unserer Studie wurde die von Haddad et al. modifizierte Subskala „Bewegungsausmaß“ genutzt [Haddad et al. 1990]. Dafür wird statt der Multiplikation des Bewegungsbogens mit einem jeweiligen Indexfaktor, wie es bei Harris der Fall ist, die Addition der Winkel von Flexion, Abduktion, Adduktion, Außenrotation und Innenrotation nach Haddad et al. verwendet [Harris 1969; Haddad et al. 1990].

Der Fragebogen für die Subskalen zu „Schmerz“ und „Funktionsfähigkeit“ füllte der Patient selbstständig aus. Die Subskalen „Fehlstellungen und Kontrakturen“ sowie das

„Bewegungsausmaß“ wurden von einer medizinischen Fachkraft erhoben. Für die Auswertung mussten abgesehen von „Fehlstellungen/Kontrakturen“ und „Bewegungsausmaß“ alle Fragen beantwortet sein.

4.5.1.2 Hip disability and osteoarthritis outcome score (HOOS)

In der seit 2009 laufenden Studie wurden alle Patienten mittels der im Jahr 2009 verfügbaren deutschen Version 1.0 des HOOS befragt. Die deutsche Version 1.0 war unter <http://www.fomt.info/Frageboegen/HOOSgerman.pdf> frei verfügbar [Altmeyer 2014]. Diese Version beinhaltet in Frage 6 der Subkategorie „Funktion im täglichen Leben“ einen Übersetzungsfehler. Das originale Wort „*flat*“ wurde mit „uneben“ übersetzt. Daher wurde Frage 6 der Subkategorie „Funktion im täglichen Leben“ bei allen Patienten wegen des Übersetzungsfehlers als nicht beantwortet gewertet.

Der HOOS wurde zu allen vier Untersuchungszeitpunkten ausgefüllt. Die Subkategorien wurden voneinander getrennt ausgewertet. Damit eine Subkategorie gewertet wurde, mussten nach verwendeter Bewertungsanweisung (*scoring instructions*) von Juni 2013 mindestens 50 % der Fragen beantwortet worden sein [Lina Holm Ingelsrud 2013].

4.5.2 Telefonprotokoll

Für eine telefonische Befragung wurden Patienten angerufen, deren letzte Kontrolle der Hüft-Kurzschaffprothese vor dem 01.01.2020 stattfand und die nicht persönlich in die Klinik kommen konnten oder wollten. Gründe dafür entsprechen den im Abschnitt „Studiendesign“ (4.1) genannten. In der telefonischen Befragung wurden für die klinische Beurteilung nur Aussagen gewertet, die die zu untersuchende Person persönlich traf. Zu Beginn jeden Gesprächs wurde der Grund des Anrufs erklärt, das Einverständnis des Patienten zur Befragung und Auswertung eingeholt und überprüft, ob der Patient die vorherige Erläuterung verstanden hatte. Wenn der informierte Patient einverstanden war, wurde nach einem festgelegten Schema HHS und HOOS jede Frage mit dem Patienten nacheinander durchgegangen. Alle Interviews wurden von demselben Untersucher geführt. Die Unterpunkte „Kontrakturen/ Fehlstellungen“ und „Bewegungsausmaß“ des HHS wurden hierbei nicht beantwortet. Das erreichte Ergebnis wurde ins Verhältnis zum maximal erreichbaren Ergebnis gesetzt und dieses Gesamtergebnis in der Auswertung berücksichtigt.

4.5.3 Röntgen

Beurteilt wurden die Röntgenbilder der Patienten, die eine Knochendichtemessung zu t_0 , t_1 , t_2 und t_3 erhielten. Die Röntgenbilder entsprechen in der zeitlichen Durchführung denen der osteodensitometrischen Messungen.

Der Prothesenstatus und die Anpassungsvorgänge des Knochens wurden in Anlehnung an die etablierte Methodik von Johnston et al., erweitert um Brooker et al. und adaptiert an unzementierte Kurzschaftprothesen, radiografisch wie in Tabelle 4 erhoben [Johnston et al. 1990; Brooker et al. 1973; Gruen et al. 1979]:

Tabelle 4: Auswertungsschema Röntgenbilder

Röntgenstrahldurchlässige Linien zwischen Knochen und Prothese	Nein Ja → in welcher <i>ROI</i> ?
Intakte Kurzschaftprothese	Nein Ja
Resorption des <i>Calcar femoris</i>	Nein Ja
Resorption oder Hypertrophie der Femurdiaphyse	Nein Ja → in welcher <i>ROI</i> ?
Veränderung der Knochendichte: • punktueller oder gleichmäßiger Verlust • vermehrter trabekulärer Knochen	Nein Ja → Jeweils: In welcher <i>ROI</i> ?
Endosteale Kavitation (Aushöhlungen innerhalb des Knochens)	Nein Ja → in welcher <i>ROI</i> ?
Heterotope Ossifikation nach Brooker et al.	Brooker I Brooker II Brooker III Brooker IV

Die Auswertung der a.-p.-Röntgenbilder erfolgte deskriptiv anhand der *ROI*, angelehnt an die Gruen-Zonen [Gruen et al. 1979]. Der Referenzzeitpunkt für die Röntgenbilder zu t_1 , t_2 und t_3 war das postoperativ angefertigte Röntgenbild. Alle Röntgenbilder wurden von einem Untersucher bewertet. Die Beurteilung der Knochendichte wurde für die Zunahme und die Abnahme getrennt bewertet. Veränderungen der Knochendichte waren an den folgenden Knochenpunkten regelmäßig zu beobachten:

- an der lateralen Prothesenseite, zwischen der Kortikalis der *ROI* 3 und den beschichteten Bereichen der Prothese (bis in die distale *ROI* 2 reichend)
- an der medialen Seite in Höhe des *trochanter minors* (*ROI* 6), eingeschlossen der proximalen *ROI* 5 und der distalen *ROI* 7
- am distalen Pol der Prothese, betreffend die *ROI* 4 und die distalen *ROIs* 3 und 5
- *Trochanter major*, gelegen in den *ROIs* 1 und 2
- am *Calcar femoris*, gelegen in der *ROI* 7

In Abbildung 23 ist die Zunahme an trabekulärem Knochen (rechts) im Vergleich zum direkt postoperativen Röntgenbild (links) an der lateralen und der medialen Prothesenseite zu beobachten. Ebenfalls ist in Abbildung 23 die Abnahme der Knochendichte am *Trochanter major* zu t_3 und die Abnahme und Resorption der Knochendichte des *Calcar femoris* zu t_1 , t_2 und t_3 dargestellt. Die Beurteilung der Knochendichte des *Calcar femoris* wird auf die bestehende Fläche bezogen, weshalb eine Resorption nicht zwangsläufig zu einer Abnahme der Knochendichte führt.

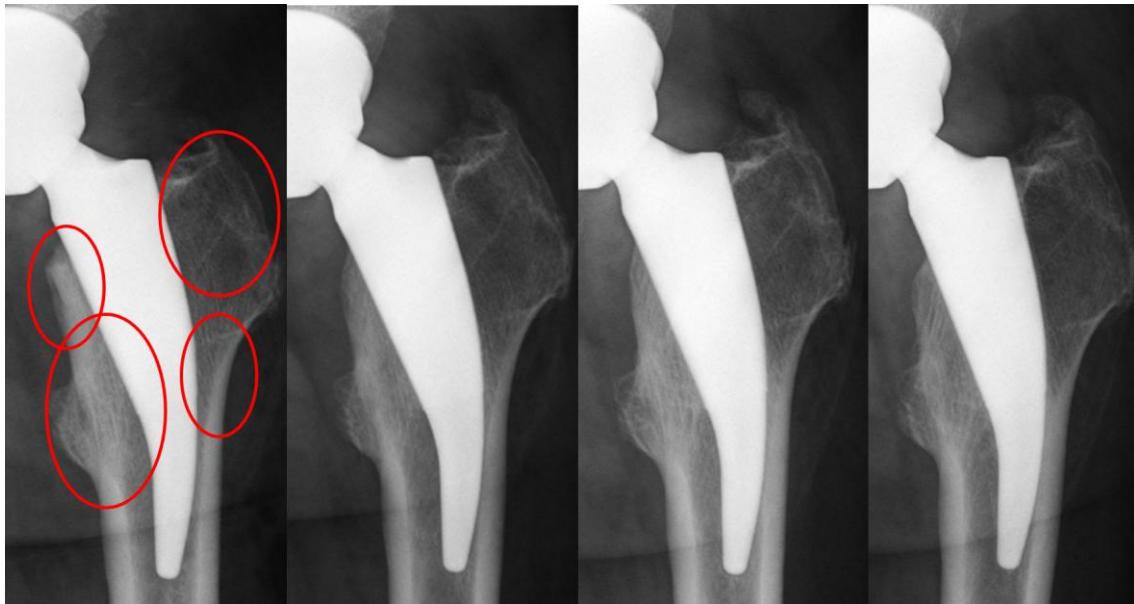


Abbildung 23: Röntgenologische Veränderungen der Knochendichte, von links nach rechts (v. l. n. r.): Postoperativ, 6 Monate postoperativ, 1 Jahr postoperativ, 7 Jahre postoperativ.

Quelle: Angepasstes Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.

4.5.4 Dual-Röntgen-Absorptiometrie (DXA)

Die Knochendichtemessungen wurden mit einem Lunar Prodigy Primo (General Electric, Boston, Massachusetts, USA) durchgeführt. Zur Auswertung wurde enCORE® in der Version 13.31 von GE Medical Systems Lunar verwendet (Madison, Wisconsin, USA). Bei allen eingeschlossenen Patienten wurde sowohl dasselbe Gerät für die Messung als auch dieselbe Software und Softwareversion für die Auswertung genutzt. Die enCORE®-Software ist in der Lage, die Prothese zu erkennen und für die Knochendichtemessung herauszurechnen. Die automatische Erkennung wurde manuell überprüft und in fehlerhaften Fällen korrigiert. Tagesaktuell wurde zur Kalibrierung des Knochendichtemessgerätes eine Phantom-Messung nach Herstellerangaben durchgeführt.

Die Knochendichteuntersuchung wurde am zentral in Untersuchungsposition liegenden Patienten durchgeführt, der keine röntgenabschirmenden Kleidungsstücke an sich hatte. Der Fuß war dabei senkrecht zur Auflagefläche sicher an einen Lagerungskeil gesichert und die Kniescheibe zeigte, mithilfe eines weiteren Lagerungspolsters, nach oben (Abbildung 24, Abbildung 25). Der Messarm wurde über dem Patienten in Position gefahren. Dabei half ein Laserstrahl, der in der Schenkelmitte etwa drei bis vier

Zentimeter unterhalb der Spitze des Implantats positioniert wurde (Abbildung 25). Die Messung wurde nach etwa drei Scan-Sequenzen, die oberhalb des *Trochanter major* gemessen wurden, beendet.



Abbildung 24: Messung der Knochendichte der operierten Seite mit Prothese. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.



Abbildung 25: Positionierung der Ladekontrollleuchte etwa 3-4 cm unterhalb der Implantat-Spitze. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.

Eine ausgewertete Messung findet sich beispielhaft in Abbildung 26. Die Längsachse, zu deren beiden Seiten die *ROIs* orthogonal entspringen, wurde vom distalen Prothesenpol zur lateralen Prothesenschulter gelegt. Die Einteilung der *ROIs* entspricht den an Kurzschaftprothesen adaptierten Gruen-Zonen, wie in Abschnitt 3.4.4 beschrieben [Gruen et al. 1979]. Zusätzlich wurde darauf geachtet, dass die einzelnen *ROIs* keine Knochenanteile des Beckens umfassen und dass keine Knochenanteile des Femurs außerhalb der *ROIs* liegen. Alle Anpassungen der *ROIs* wurden von einem Untersucher durchgeführt, da die Präzision bei mehreren in die Auswertung involvierten Personen nach Niinimäki und Jalovaara sinkt [Niinimäki & Jalovaara 1995].



Abbildung 26: Ausgewertete Knochendichtemessung mit den *ROIs*. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.

Die abgegebene Energiedosis lag je nach Scanmodus, der wiederum von der Patientenkonfiguration abhängig ist und vom Programm vorgeschlagen wird, zwischen 9,0-83,0 μGy pro gemessenes Femur.

4.6 Statistische Methoden

Für die statistische Auswertung wurde SPSS® in der Version 29.0 (IBM, New York, USA), SAS® (SAS Institute, Cary, USA) sowie Microsoft® 365 (Microsoft Corporation, Redmond, USA) verwendet.

Deskriptiv wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen sowie das erste, zweite und dritte Quartil berechnet. 75 % der Werte liegen über dem Wert des ersten (unteren) Quartils und 25 % der Werte darunter, beim dritten (oberen) Quartil liegen 75 % der Werte darunter und 25 % darüber. Beim zweiten Quartil sind jeweils 50 % der Werte darüber und darunter, was dem Median entspricht. Die Komponentenjahre wurden durch Multiplikation der Anzahl an Patienten mit der durchschnittlichen Beobachtungsdauer pro Patient berechnet, woraus die Berechnung der Anzahl an Revisionen pro 100 Komponentenjahren folgt [Australian Orthopaedic Association National Joint Replacement Registry 2003].

Mittels SPSS® wurde eine Varianzanalyse (*analysis of variance*, ANOVA) als gemischtes Modell durchgeführt. Das gemischte Modell wurde gewählt, da das gemischte Modell mittels zufälliger und fester Effekte die wiederholten Beobachtungen berücksichtigt. Dabei wurden drei Modelle verglichen: ein einfaches „*Repeated Model*“, ein „*Random Intercept Model*“ und ein „*Random Slope, Random Intercept Model*“. Da das „*Random Slope, Random Intercept Model*“ die beste Residuenverteilung zeigte, wurde dieses in der Auswertung verwendet. Alle paarweisen Vergleiche sind innerhalb der Vergleiche Bonferroni-adjustiert.

Die Kaplan-Meier-Analyse ist eine grafische Darstellung der Überlebensrate und wird häufig in der Pharmakologie und Onkologie genutzt. Auf der x-Achse wird die Zeit und auf der y-Achse die Überlebensrate aufgetragen. Die Kaplan-Meier-Analyse wurde nach Meyers in SAS® durchgeführt [Meyers 2014]. In unserer Studie ist die Überlebensrate der Hüft-TEP auf der y-Achse aufgetragen.

Für die Bildbearbeitung, die Bilderstellung sowie Zeichnungen wurden GIMP (GNU Image Manipulation Program, Free Software Foundation), Microsoft Paint (Microsoft Corporation, Redmond, USA), Fotos (Apple Inc., Cupertino, USA) und Notability (Ginger Labs Inc., San Francisco, USA) verwendet.

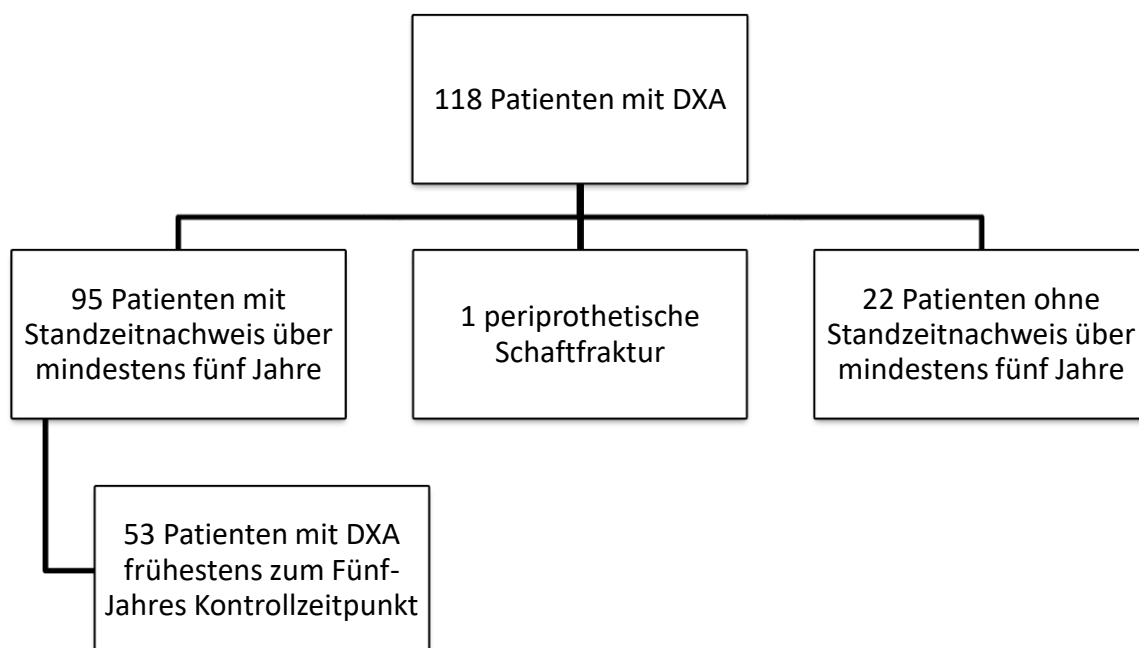
5 Ergebnisse

5.1 Patientenkollektiv

Zwischen dem 29.10.2009 und dem 31.01.2017 wurden 192 Patienten, die das 60. Lebensjahr vollendet hatten, im Universitätsklinikum Gießen und Marburg (UKGM), Standort Gießen, operativ mit einer Metha[®]-Kurzschafthprothese versorgt. 118 der 192 Patienten waren einverstanden an der Studie zu partizipieren und erhielten innerhalb von zwei Wochen postoperativ eine Messung der Knochendichte (Diagramm 3). Wegen einer periprothetischen Fraktur und folgendem Schaftwechsel wurde die Studienteilnahme bei einem Patienten vorzeitig beendet. Von den restlichen 117 Patienten wurde bei 95 Patienten der Prothesenstatus nach mindestens fünf Jahren erhoben. Zusätzlich konnten 53 Patienten einer Knochendichtemessung zum Fünf-Jahres-Kontrollzeitpunkt oder einem späteren Zeitpunkt unterzogen werden.

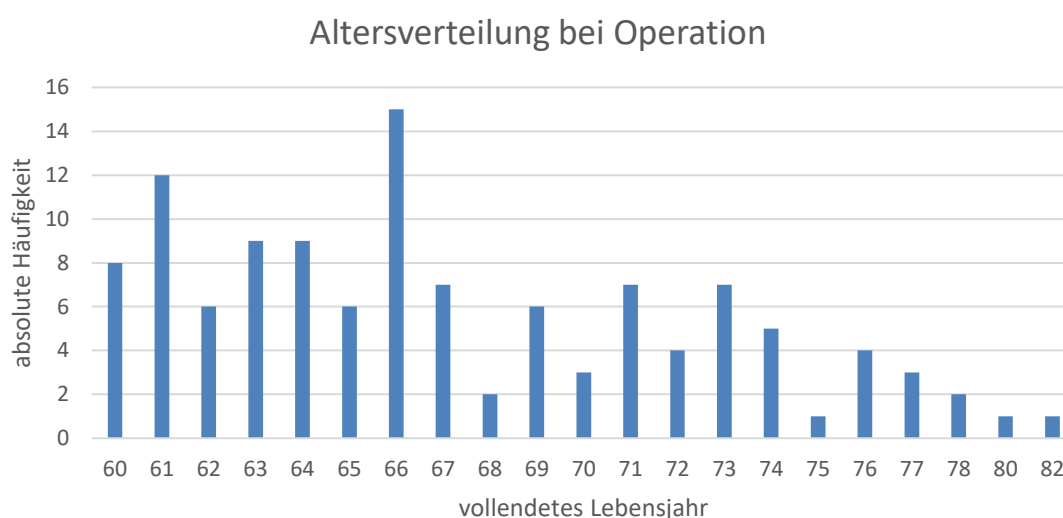
Bei 22 Patienten steht ein Standzeitznachweis von mindestens fünf Jahren aus, da sie entweder verstorben waren oder nicht erreicht werden konnten.

Diagramm 3: Das Patientenkollektiv



Von den 118 eingeschlossenen Patienten sind 59 Patienten weiblich und 59 Patienten männlich. Der *Body Mass Index* (BMI) beträgt bei Operation im Durchschnitt 27,7 kg/m² (mindestens 18,8 kg/m², maximal 41,0 kg/m²). 63 (53,4 %) der untersuchten 118 Implantate sind auf der linken Hüftseite, 55 (46,6 %) auf der rechten Hüftseite implantiert. Das mittlere Alter bei Operation beträgt 67,7 Jahre, mindestens 60,1 und maximal 82,4 Jahre. Die Altersverteilung ist in Diagramm 4 abgebildet:

Diagramm 4: Altersverteilung, absolute Häufigkeit bei Implantation, n = 118



5.1.1 Indikationen im Kollektiv

Eine Übersicht über die Indikationen für die Implantation einer Hüft-Kurzschaftprothese in diesem Kollektiv ist in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Indikationen für die Operation im Kollektiv

Indikationen	Anzahl (n = 118)	% *
Primäre Koxarthrose	103	87,3 %
Dysplasie-Koxarthrose	10	8,5 %
Hüftkopfnekrose	2	1,7 %
Residualdysplasie-Koxarthrose	1	0,9 %
Posttraumatische Koxarthrose	1	0,9 %
Morbus Perthes	1	0,9 %

* Aufgrund von Rundungen weicht die Summe der Prozentwerte geringfügig von 100 % ab.

Die häufigste Indikation für die Implantation einer Hüft-Kurzschafthprothese in diesem Kollektiv ist mit 87,3 % die primäre Koxarthrose. Im linken Teil der Abbildung 27 ist der präoperative Zustand der Patientin abgebildet: Der Gelenkspalt zeigt sich nahezu aufgehoben, eine subchondrale Sklerosierung ist zu beobachten und osteophytäre Anbauten zu erkennen. In der Mitte ist die unmittelbare postoperative Versorgung dargestellt, rechts die 10,5-Jahres-Kontrolle. In beiden Bildern sieht man eine regelrecht einliegende Metha®- Kurzschafthprothese.



Abbildung 27: Primäre Koxarthrose, rechte Hüfte führend, v. l. n. r.: Unmittelbar präoperativ, 2 Tage postoperativ, 10,5-Jahre postoperativ. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.

Die zweithäufigste Indikation mit 8,5 % der operativen Versorgungungen ist die Dysplasie-Koxarthrose (Abbildung 28).

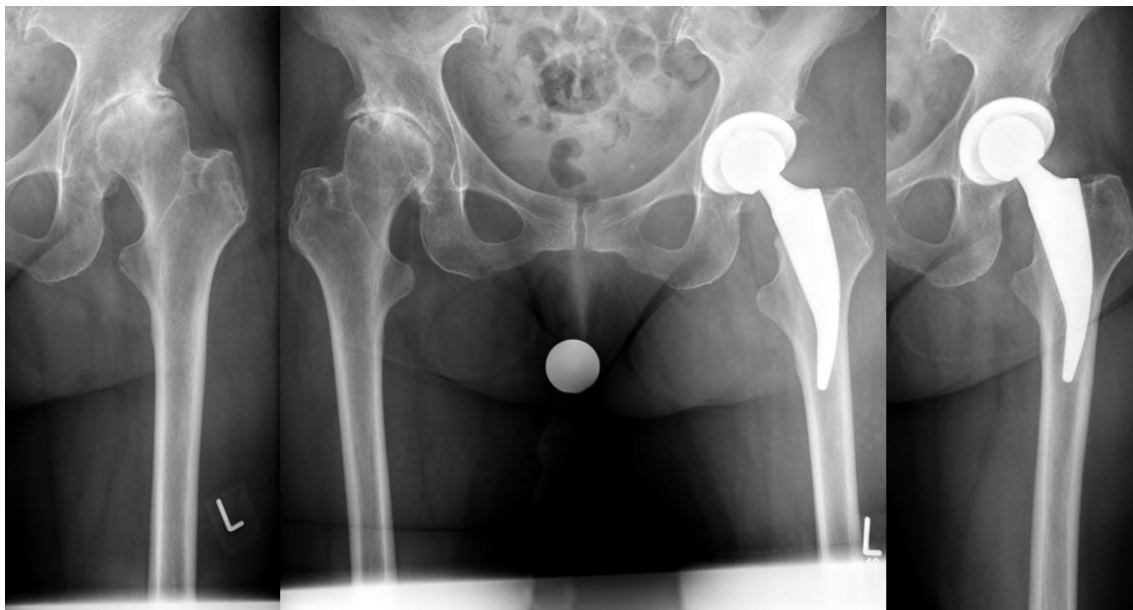


Abbildung 28: Dysplasie-Koxarthrose linkes Femur, v. l. n. r.: Präoperativ, 2 Tage postoperativ, 8,2 Jahre postoperativ. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.

Die operative Versorgung der Residualdysplasie-Koxarthrose (0,9 % der Fälle) ist in Abbildung 29 abgebildet.



Abbildung 29: Residualdysplasie-Koxarthrose in der rechten Hüfte, v. l. n. r.: Präoperativ, 2 Tage postoperativ, 5 Jahre postoperativ. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.

Die Hüftkopfnekrose ist in 1,7 % für die Implantation ursächlich. Links in Abbildung 30 ist das a.-p. Röntgenbild einer magnetresonanztomografisch gesicherten Hüftkopfnekrose mit Zustand nach Anbohrung gezeigt. Der Anlass für die operative Versorgung mit einer Metha[®]-Prothese (mittig und rechts in Abbildung 30) war eine seit über einem Jahr persistierende Schmerzsymptomatik ohne Möglichkeit der kopferhaltenden Therapie.



Abbildung 30: Hüftkopfnekrose der linken Hüfte, v. l. n. r.: Präoperativ, 1 Tag postoperativ, 1 Jahr postoperativ. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.

Ein Beispielbild einer posttraumatischen Koxarthrose, in 0,9 % der Fälle in dieser Studie Implantationsindikation, wird in Abbildung 31 gezeigt. Bei einer konservativ therapierten medialen Schenkelhalsfraktur kam es etwa zwei Monate vor Operationsdatum zu einer sekundären Dislokation.

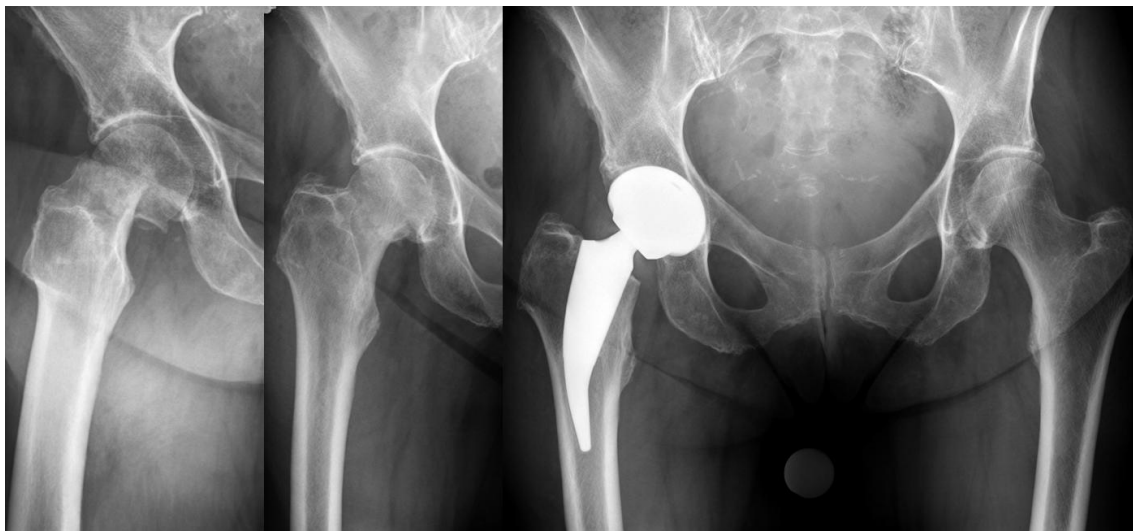


Abbildung 31: Posttraumatische Koxarthrose rechtes Femur, v. l. n. r.: Lauenstein präoperativ, a.-p. präoperativ, a.-p. 1,1 Jahre postoperativ. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.

Die Diagnose des Morbus Perthes macht 0,9 % der Fälle aus. Der im linken Röntgenbild abgebildete präoperative Zustand vor der Implantation der Metha[®]-Prothese ist der nach sekundärer Umstellungsosteotomie. Da hier unter Einbeziehung der alten Operationsnarbe operiert wurde, wurde in diesem Fall der Zugang nach Bauer gewählt. Die nach sieben Jahren postoperativ regelrecht einliegende Metha[®]-Prothese ist im rechten Bild der Abbildung 32 gezeigt.



Abbildung 32: Morbus Perthes des linken Femurs, v. l. n. r.: Präoperativ, 3 Tage postoperativ, 7,1 Jahre postoperativ. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.

5.2 Die Operation

5.2.1 Operateure

Alle Operateure waren erfahrene Fach- und Oberärzte für Orthopädie und Unfallchirurgie des UKGM (Standort Gießen). Vier verschiedene Operateure führten die Operationen durch: B.I. operierte in 81,4 % (96 Operationen) der Fälle, G.A. in 13,6 % (16 Operationen), O.B. und J.S. jeweils in 2,5 % (drei Operationen).

5.2.2 Operationstechnik

In 117 Fällen (99,2 %) wurde der ALMIS (*anterolateral minimally invasive surgery*) nach Bertin und Röttinger gewählt [Bertin & Röttinger 2004]. In einem Fall (0,8 %) wurde unter Einbeziehung der Narbe einer vorhergegangenen Operation mittels lateralem transglutealen Zugang nach Bauer operiert [Bauer et al. 1979].

Verwendetes Material

Im Folgenden werden die verwendeten Materialien tabellarisch dargestellt. Insgesamt sind jeweils 118 Prothesen betrachtet. Aufgrund von Rundungen kann die Summe der Prozentwerte geringfügig von 100 % abweichen. Die acht verschiedenen Größen des Metha[®]-Schaftes wurden in folgender Häufigkeit (Tabelle 6) verwendet:

Tabelle 6: Prothesengröße

Prothesengröße	Häufigkeit absolut	Häufigkeit in Prozent %
0	1	0,9 %
1	3	2,5 %
2	13	11,0 %
3	23	19,5 %
4	22	18,6 %
5	34	28,8 %
6	10	8,5 %
7	12	10,2 %

Der 120° Caput-Collum-Diaphysen-Winkel wird 49-mal (41,5 %), der 130°-Winkel 65-mal (55,1 %) und der 135°-Winkel 4-mal (3,4 %) verwendet.

Pfannen werden drei verschiedene genutzt: Die Plasmacup®-Hüftpfanne 13-mal (11,0 %), die Allofit®-Hüftpfanne 41-mal (34,8 %) und die Plasmafit®-Hüftpfanne 64-mal (54,2 %). Die implantierten Pfannengrößen sind in Tabelle 7 dargestellt:

Tabelle 7: Pfannengrößen

Pfannengrößen	Häufigkeit absolut	Häufigkeit in Prozent % *
44	2	1,7 %
46	4	3,4 %
48	33	28,0 %
50	19	16,1 %
52	28	23,7 %
54	19	16,1 %
56	7	5,9 %
58	3	2,5 %
60	1	0,9 %
62	1	0,9 %
64	1	0,9 %

* Aufgrund von Rundungen weicht die Summe der Prozentwerte geringfügig von 100 % ab.

Das Inlay besteht in 67 Fällen (56,8 %) aus BIOLOX®-Keramik, in 40 Fällen aus Durasul® (33,9 %) und in 11 Fällen aus Vitelene® (9,3 %). Die Größe des Inlays beträgt in 7 Fällen 28 mm (5,9 %), in 51 Fällen 32mm (43,2 %) und in 60 Fällen 36mm (50,9 %).

Als Kopf wird in 102 Fällen (86,4 %) BIOLOX®*delta* und in 16 Fällen (13,6 %) BIOLOX®*forte* verwendet. In 90 Fällen ist die Größe des Kopfes (76,3 %) S, in 21 Fällen (17,8 %) M und in 7 Fällen (5,9 %) L.

5.3 Komplikationen und Revisionen

Im gesamten Kollektiv kommt es über den Nachbeobachtungszeitraum zu einer sturzbedingten Revisionsoperation mit Implantat-Wechsel (Tabelle 8).

Tabelle 8: Revision mit Schaftwechsel

56 Tage postoperativ	Sturz des Patienten, darauf Fissur im proximalen Femur mit Lockerung der Kurzschaftprothese
----------------------	---

59 Tage nach der Metha[®]-Implantation wurde die Revision mit Schaftwechsel auf einen Brehm[®]-Revisionsschaft durchgeführt. Die postoperativ regelrecht einliegende Prothese ist in Abbildung 33 links, die posttraumatische Fraktur mittig und das Revisionsergebnis rechts dargestellt.

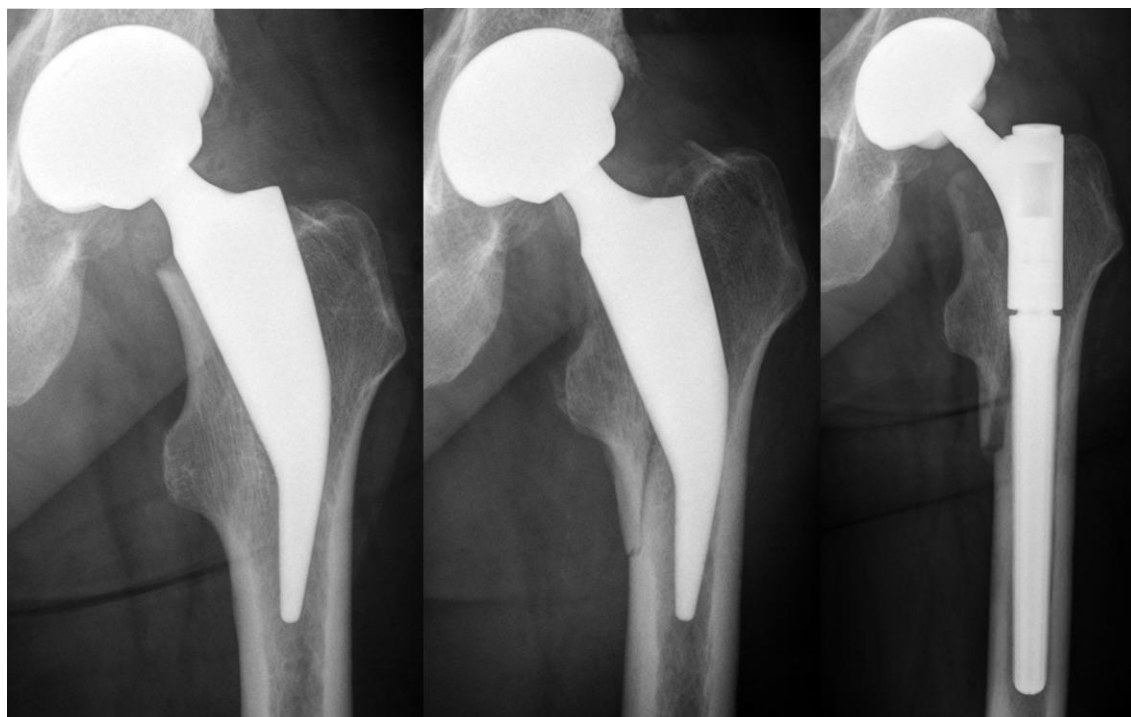


Abbildung 33: v. l. n. r.: 2 Tage postoperativ, nach Trauma 56 Tage postoperativ, nach Revisionsoperation und Wechsel auf Brehm-Schaft. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.

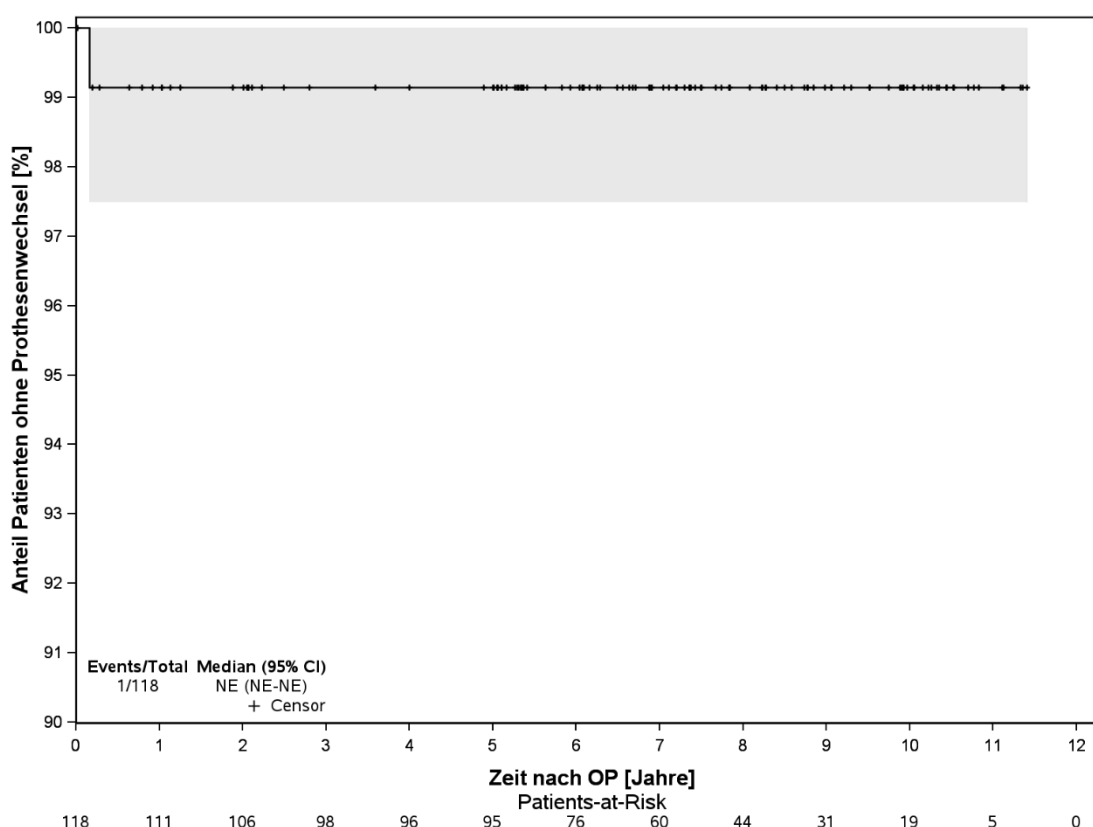
Zudem gibt es vier weitere Komplikationen, die jedoch ohne Schaftwechsel behandelt wurden (Tabelle 9):

Tabelle 9: Revision ohne Schaftwechsel

5 Tage postoperativ	Postoperatives Hämatom, Hämatomausräumung
20 Tage postoperativ	Tief reichendes Serom bei Wundheilungsstörung
149 Tage postoperativ	Subkutane Granulome, Wundheilungsstörung
1073 Tage postoperativ	Infizierte Hüftendoprothese

Die insgesamt fünf Revisionseingriffe wurden von drei erfahrenen Operateuren als erster Operateur durchgeführt, zweimal B.I., zweimal C.F., einmal D.S.

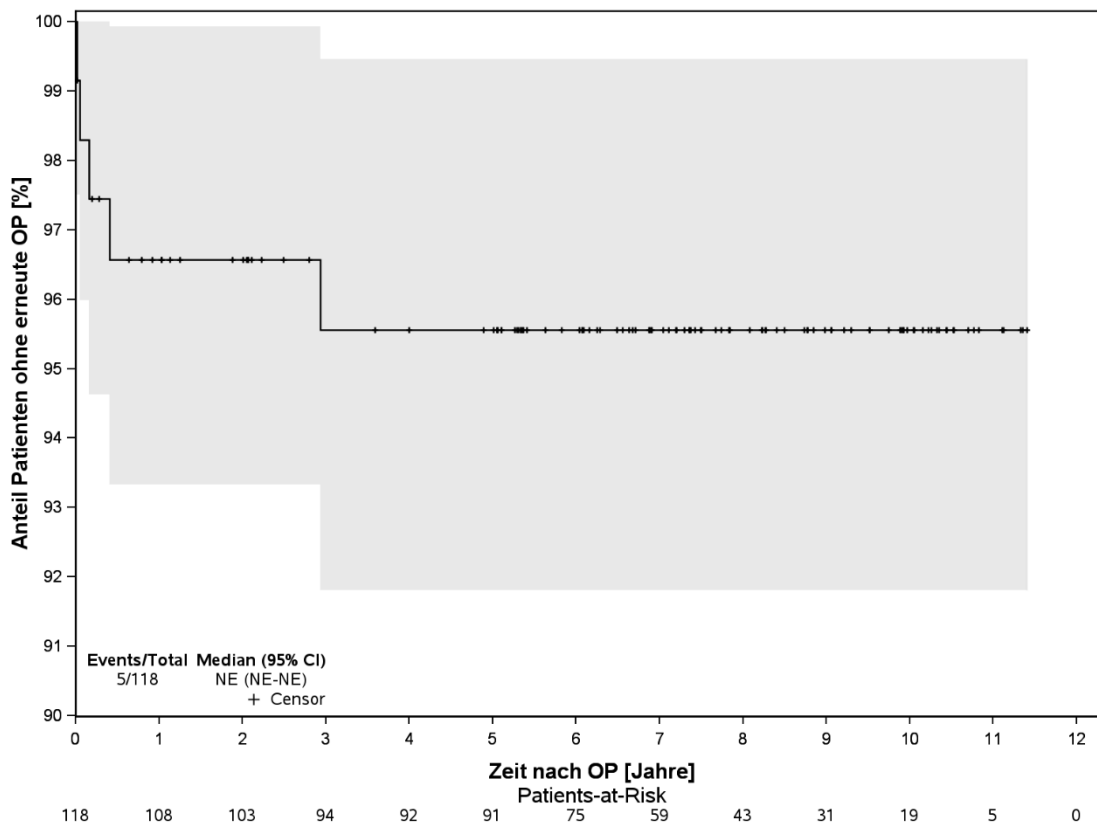
Die Kaplan-Meier-Analyse mit dem Endpunkt Schaftüberleben zeigt eine Überlebensrate von 99,2 % (mittlere Beobachtungsdauer von 6,7 Jahren über alle 118 Patienten) und ist in Diagramm 5 dargestellt:

Diagramm 5: Kaplan-Meier-Analyse für den Metha®-Schaft, Endpunkt Schaftüberleben

Auf der y-Achse ist die Überlebensrate in Prozent dargestellt, auf der x-Achse die seit der Operation vergangene Zeit in Jahren mit Anzahl der zum jeweiligen Zeitpunkt in der Beobachtung verbliebenen Patienten (*patients at risk*).

Revisionen aufgrund von Materialwechsel inklusive Schaftwechsel liegen in 2 Fällen (1,7 %) vor. Jegliche Art von Revision inklusive Schaftwechsel gibt es bei 5 Patienten (4,2 %). Dementsprechend kommen 95,8 % der Patienten ohne erneuten operativen Eingriff aus, was die Kaplan-Meier-Kurve in Diagramm 6 mit dem Endpunkt „jegliche Revisionsoperation“ – inklusive Schaftwechsel – zeigt:

Diagramm 6: Kaplan-Meier Analyse mit dem Endpunkt „jegliche Revisionsoperation“

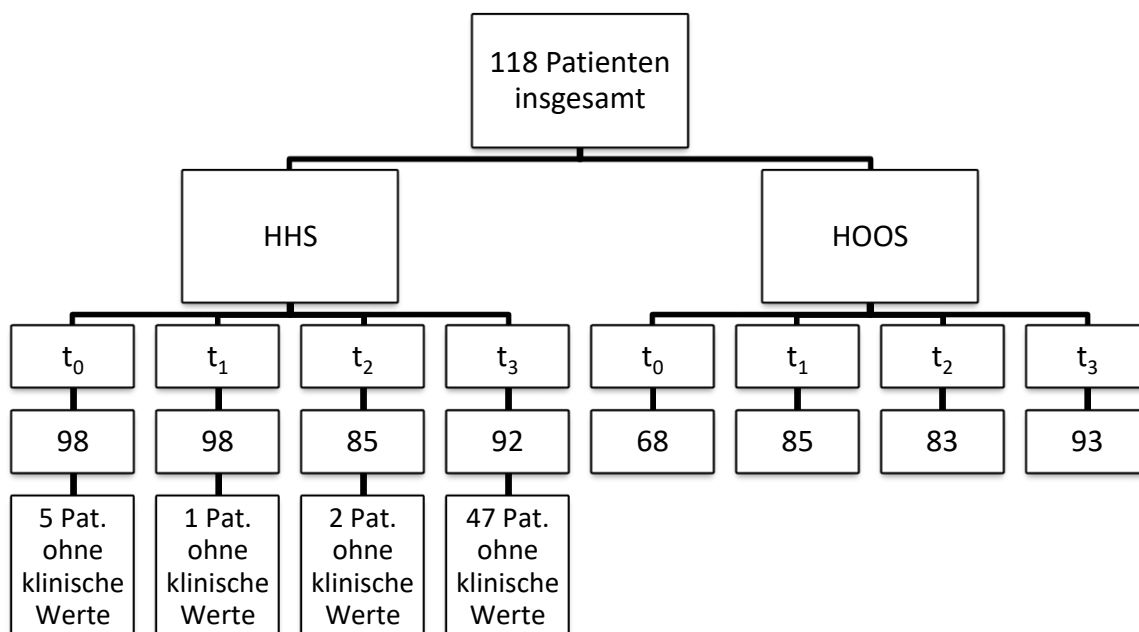


Damit sind pro 100 Prothesenjahre 0,1 Schaftrevisionen notwendig oder auch eine Schaftrevision pro 790,6 Jahre. Für einen Wechsel jeglichen Materials liegt die Rate bei 0,3 Eingriffen pro 100 Prothesenjahre oder ein Eingriff pro 395,3 Jahre und für jeglichen operativen Folgeeingriff bei 0,6 Eingriffen pro 100 Prothesenjahre oder ein Eingriff pro 158,1 Jahre.

5.4 Klinische Ergebnisse

Das klinische Ergebnis wird mit zwei etablierten Fragebögen erhoben. Sind zu einem Messzeitpunkt keine Daten vorhanden, werden keine Daten in die Berechnung einbezogen. Diagramm 7 zeigt die Anzahl an Patienten mit Datenauswertung am jeweiligen Untersuchungszeitpunkt. Für den HHS-Score sind zusätzlich die Anzahl an Patienten aufgezählt, bei denen der Score ohne die Subkategorie Bewegungsausmaß erhoben ist. Dies sind zu t_0 fünf, zu t_1 ein, zu t_2 zwei und zu t_3 47 Patienten.

Diagramm 7: Patientenzahlen der klinischen Auswertung



Die klinischen Nachuntersuchungszeiträume sind in Tabelle 10 dargestellt. Das durchschnittliche Alter bei Operation aller Patienten ist 67,7 Jahre. Klinisch werden 93 Patienten zum Nachuntersuchungspunkt t_3 nach durchschnittlich 8,0 Jahren kontrolliert. Der längste Beobachtungszeitraum liegt bei 11,4 Jahren:

Tabelle 10: Klinische Nachuntersuchungszeiträume

Ereignis	n	Mittelwert	SD	Min.	Q ₁	Median	Q ₃	Max.
Alter bei Operation	118	67,7	5,3	60,1	63,3	66,6	71,7	82,4
Alter bei letzter Kontrolle	118	74,4	5,5	61,2	70,6	74,4	78,0	87,5
Zeitdifferenz von t ₀ -t ₁	99	0,5	0,1	0,2	0,5	0,5	0,6	0,8
Zeitdifferenz von t ₀ -t ₂	88	1,8	0,6	1,0	1,1	2,0	2,1	3,2
Zeitdifferenz von t ₀ -t ₃	93	8,0	1,9	5,0	6,3	7,8	9,9	11,4
Zeitdifferenz von t ₁ -t ₂	83	1,3	0,6	0,3	0,6	1,5	1,6	2,6
Zeitdifferenz von t ₂ -t ₃	73	6,3	2,0	3,0	4,6	6,6	8,0	10,4
Zeitdifferenz Operation bis zum letzten Röntgenbild	118	4,6	3,1	0,0	2,0	5,0	7,1	10,7
Zeitdifferenz von Operation bis zur letzten Kontrolle	118	6,7	3,1	0,0	5,1	7,1	9,1	11,4

Zeitangabe in Jahren

5.4.1 Harris Hip Score (HHS)

Der *Harris Hip Score* (HHS) steigert sich deutlich in der Verlaufsbeobachtung. So verbessert sich der präoperative Mittelwert von „mangelhaft“ mit 55,3 Punkten auf ein „exzellentes“ Ergebnis mit 95,3 Punkten in der letzten Kontrolle nach Harris [Harris 1969]. Die statistischen Parameter sind in Tabelle 11 aufgeführt:

Tabelle 11: HHS im Verlauf

t	n	Mittelwert	SD	Min.	Q ₁	Median	Q ₃	Max.
t ₀	98	55,3	11,5	29,7	47,0	54,5	63,0	79,0
t ₁	98	90,4	11,0	52,0	85,0	95,0	99,0	100
t ₂	85	92,4	10,0	60,0	91,0	96,0	99,0	100
t ₃	92	95,3	8,6	57,1	95,6	98,0	100	100

p-Werte: t₀-t₁: p < 0.001, t₁-t₂: p = 0.912, t₂-t₃: p = 0.131

Die Einzelbetrachtung der erzielten Ergebnisse zeigt ein ähnliches Bild (Tabelle 12): „Mittelmäßige“ oder „Mangelhafte“ klinische Ergebnisse liegen präoperativ bei allen Patienten vor, bei t_1 sind es 14,4 %, zu t_2 11,8 % und zu Messzeitpunkt t_3 4,4 %.

Tabelle 12: HHS mit klinischer Bewertung

t	Exzellent		Gut		Mittelmäßig		Mangelhaft	
	(≥90 Punkte)		(80-89 Punkte)		(70-79 Punkte)		(<70 Punkte)	
t_0 (n = 98)	0	0 %	0	0 %	11	11,2 %	87	88,8 %
t_1 (n = 98)	67	68,0 %	17	17,5 %	6	6,2 %	8	8,2 %
t_2 (n = 85)	66	77,6 %	9	10,6 %	4	4,7 %	6	7,1 %
t_3 (n = 92)	79	85,9 %	9	9,8 %	0	0 %	4	4,4 %

Die PASS-Schwellenwerte nach Galea et al. werden wie folgt erreicht [Galea et al. 2020]: Zu t_1 erreichen den Schwellenwert von 76 Punkten 87,8 % (86 Patienten) und den Schwellenwert von 89 Punkten 70,4 % (69 Patienten). Zu t_2 erreichen den Schwellenwert von 89 Punkten 78,8 % (67 Patienten) und 68,2 % (58 Patienten) den Schwellenwert von 93 Punkten. Zu t_3 erreichen 83,7 % (77 Patienten) den Schwellenwert von 93 Punkten.

In der statistischen Untersuchung kann zwischen t_0 und allen postoperativen Kontrollpunkten (t_1 - t_3) ein deutlicher Hinweis auf Beeinflussung gefunden werden ($p < 0,001$). Zwischen Geschlecht und den Ergebnissen kann keine Beeinflussung festgestellt werden ($p = 0,752$), ebenso wie die Wechselwirkung zwischen Zeit und Geschlecht ($p = 0,403$).

5.4.2 Hip disability and osteoarthritis outcome score (HOOS)

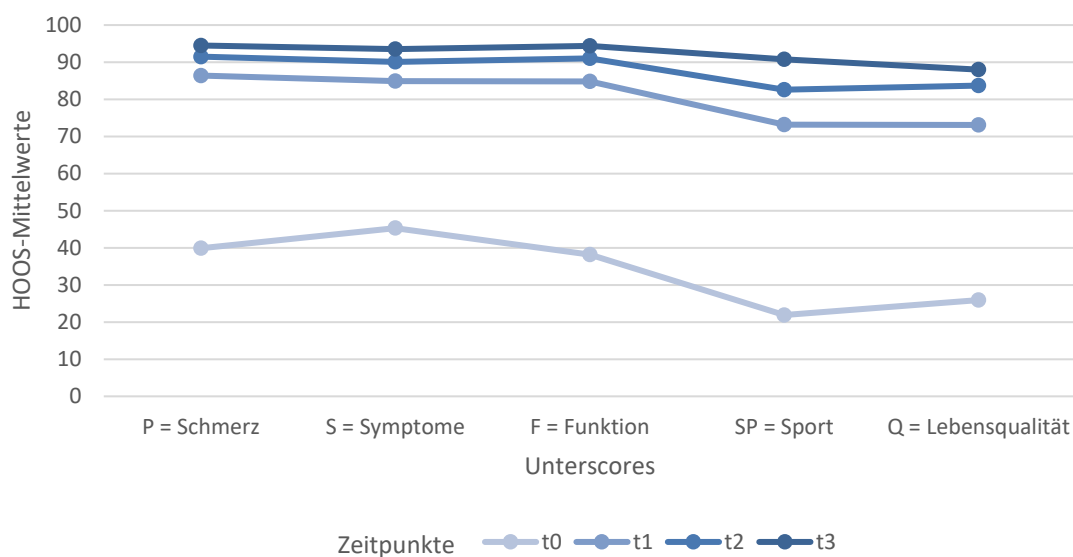
Der HOOS verbessert sich in allen Subskalen, wie in Tabelle 13 dargestellt:

Tabelle 13: HOOS-Ergebnisse

t	n	Mittelwert	SD	Min.	Q ₁	Median	Q ₃	Max.
t ₀ P/ S/ F/ SP/ Q	68/ 67/ 66/ 65/ 67	39,9/ 45,3/ 38,2/ 21,9/ 25,9	17,7/ 20,0/ 17,6/ 20,4/ 17,9	7,5/ 5,0/ 4,7/ 0,0/ 0,0	27,5/ 31,3 28,1/ 6,3/ 18,8	37,5/ 40,0/ 35,9/ 18,8/ 25,0	47,5/ 55,0/ 46,9/ 31,3 33,3	95,0/ 100/ 87,5/ 75,0/ 83,3
t ₁ P/ S/ F/ SP/ Q	85/ 85/ 82/ 77/ 83	86,4/ 84,9/ 84,8/ 73,2/ 73,1	15,2/ 14,8/ 15,1/ 22,2/ 20,5	32,5/ 45,0/ 42,2/ 12,5/ 18,8	77,5/ 80,0/ 75,0/ 58,3/ 62,5	92,5/ 85,0/ 90,6/ 75,0/ 75,0	97,5/ 100/ 98,4/ 91,7/ 87,5	100/ 100/ 100/ 100/ 100
t ₂ P/ S/ F/ SP/ Q	82/ 83/ 81/ 82/ 82	91,5/ 90,1/ 91,0/ 82,6/ 83,7	10,9/ 10,5/ 11,9/ 17,4/ 16,7	60,0/ 58,3 48,4/ 25,0/ 50,0	87,5/ 85,0/ 85,9/ 75,0/ 75,0	96,3/ 95,0/ 95,3/ 87,5/ 93,8	100/ 100/ 100/ 100/ 100	100/ 100/ 100/ 100/ 100
t ₃ P/ S/ F/ SP/ Q	93/ 93/ 93/ 93/ 93	94,5/ 93,5/ 94,4/ 90,8/ 88,0	12,0/ 9,8/ 10,6/ 15,0/ 16,4	30,0/ 50,0/ 46,9/ 33,3/ 25,0	95,0/ 90,0/ 95,0/ 83,3/ 81,3	100/ 100/ 98,4/ 100/ 93,8	100/ 100/ 100/ 100/ 100	100/ 100/ 100/ 100/ 100
p-Werte Mittelwert	P: t ₀ -t ₁ : p < 0,001, t ₁ -t ₂ : p = 0,059, t ₂ -t ₃ : p = 0,582 S: t ₀ -t ₁ : p < 0,001, t ₁ -t ₂ : p = 0,073, t ₂ -t ₃ : p = 0,356 F: t ₀ -t ₁ : p < 0,001, t ₁ -t ₂ : p = 0,012, t ₂ -t ₃ : p = 0,250 SP: t ₀ -t ₁ : p < 0,001, t ₁ -t ₂ : p = 0,003, t ₂ -t ₃ : p = 0,002 Q: t ₀ -t ₁ : p < 0,001, t ₁ -t ₂ : p < 0,001, t ₂ -t ₃ : p = 0,240							

Legende: P = Schmerz, S = Symptome, F = Funktion, SP = Sport, Q = Lebensqualität

Die grafisch dargestellte Veränderung der Mittelwerte ist zu den jeweiligen Zeitpunkten in Abhängigkeit zur jeweiligen Subkategorie in Diagramm 8 gezeigt:

Diagramm 8: HOOS-Mittelwerte für jede Subkategorie mit Zeitpunkt

In Tabelle 14 wird das Gesamtergebnis von allen bewerteten Fragen dargestellt (tx gesamt) und die Anzahl an beantworteten Fragebögen (n) mit der Anzahl beantworteter Fragen zu jedem Zeitpunkt (tx n) aufgeführt.

Tabelle 14: HOOS-Gesamtergebnis (ges.) und Anzahl beantworteter Fragen (n)

t	n	Mittelwert	SD	Min.	Q ₁	Median	Q ₃	Max.
t ₀ ges.	68	36,6	15,6	7,1	26,6	34,2	43,3	79,7
t ₁ ges.	85	83,1	14,9	38,5	73,1	85,8	96,5	100,0
t ₂ ges.	83	89,4	11,3	55,4	84,0	94,1	98,0	100,0
t ₃ ges.	93	93,3	10,5	44,7	92,3	97,4	99,4	100,0
p-Werte	HOOS-Gesamtergebnis: t ₀ -t ₁ : p < 0,001, t ₁ -t ₂ : p = 0,003, t ₂ -t ₃ : p = 0,093							
t ₀ n	68	37,7	3,2	24	38	39	39	39
t ₁ n	85	37,0	4,0	19	37	39	39	39
t ₂ n	83	37,8	2,9	24	38	39	39	39
t ₃ n	93	38,2	1,2	33	38	39	39	39

Die Schätzungen des p-Wertes mittels Random-Slope, Random-Intercept-Model sind in Tabelle 15 abgebildet.

Tabelle 15: p-Werte des HOOS

Kategorien	Zeit	Geschlecht	Wechselwirkung Zeit und Geschlecht
P = Schmerz	$p < 0,001$	$p = 0,331$	$p = 0,592$
S = Symptome	$p < 0,001$	$p = 0,033$	$p = 0,851$
F = Funktion	$p < 0,001$	$p = 0,652$	$p = 0,134$
SP = Sport	$p < 0,001$	$p = 0,828$	$p = 0,329$
Q = Lebensqualität	$p < 0,001$	$p = 0,396$	$p = 0,024$
Gesamtergebnis	$p < 0,001$	$p = 0,543$	$p = 0,259$

In allen Subkategorien wie im Gesamtergebnis wird zwischen präoperativ und allen postoperativen Punkten (t_1) ein deutlicher Hinweis auf Beeinflussung gefunden ($p < 0,001$). Zusätzlich zeigen sich zwischen folgenden Zeitpunkten Hinweise auf Beeinflussung: In Subskala Schmerz zwischen t_1 und t_3 ($p < 0,001$), in Subskala Symptome zwischen t_1 und t_3 ($p < 0,001$), in Subskala Funktion zwischen t_1 und t_2 ($p = 0,012$) und zwischen t_1 und t_3 ($p < 0,001$), in Subskala Sport zwischen t_1 und t_2 ($p = 0,003$) und t_1 und t_3 ($p < 0,001$) sowie t_2 und t_3 ($p = 0,002$), in Subskala Lebensqualität zwischen t_1 und t_2 ($p < 0,001$) und zwischen t_1 und t_3 ($p < 0,001$) und im Gesamtergebnis zwischen t_1 und t_2 ($p = 0,003$) und zwischen t_1 und t_3 ($p < 0,001$).

5.5 Röntgen-Auswertung

Die Zeitpunkte (siehe „5.6 Osteodensitometrische Ergebnisse (DXA)“) der Röntgenbilder stimmen bis auf folgende Ausnahmen mit denen der DXA-Untersuchungen überein: In einem Fall wurde wegen eines Datenbankfehlers das Röntgen zu t_1 nicht übertragen, weshalb das nach drei Monaten postoperativ vorliegende Röntgenbild ausgewählt wurde. Zu t_3 wurde aus Strahlenschutzgründen zweimal auf eine erneute Röntgenaufnahme verzichtet, da die Voruntersuchungen erst drei beziehungsweise sechs Monate alt waren und klinisch keine Hinweise auf eine Veränderung vorlagen. So liegen zu t_1 44, zu t_2 41 und zu t_3 53 Röntgenbilder vor – ebenso viele wie Knochendichtemessungen. In allen ausgewerteten Bildern zeigt sich zu jedem Zeitpunkt eine regelrecht einliegende Prothese ohne Hinweise auf Materialversagen. Ebenfalls gibt es keine Zeichen für eine unzureichende Fixierung und keine röntgendurchlässigen Linien. Endosteale Kavitationen treten bei vier Patienten auf. Bei drei dieser Patienten liegen endosteale Kavitationen jeweils zu t_1 , t_2 und t_3 in der *ROI* 1 vor, einmal zu t_3 in den *ROIs* 1 und 5 (Abbildung 34).

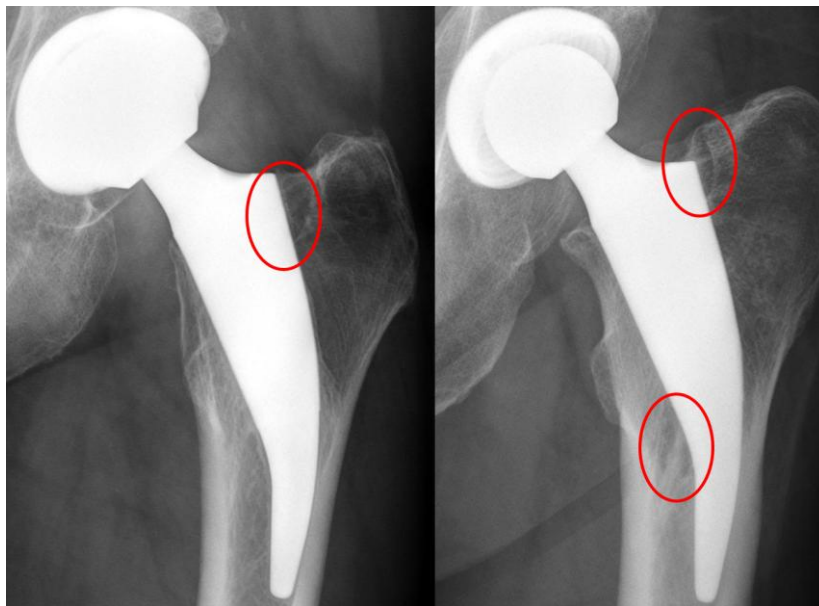


Abbildung 34: Links (6 Jahre postoperativ): Endosteale Kavitationen in der *ROI* 1. Rechts (7 Jahre postoperativ): Endosteale Kavitationen in den *ROIs* 1 und 5. Quelle: Angepasstes Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.

Heterotope Ossifikationen nach Brooker liegen in Grad I und Grad II vor, wobei Grad II nur bei einem Patienten zu allen drei Untersuchungszeitpunkten nachzuweisen ist. Grad

I kann zu t_1 bei fünf (11,4 %), zu t_2 bei sechs (14,6 %) und zu t_3 bei neun von 53 Patienten (17,0 %) nachgewiesen werden.

Eine Resorption der Femurdiaphyse ist nicht zu beobachten, Hypertrophien der Diaphyse treten zu t_1 und t_2 bei jeweils zwei Patienten in den *ROIs* 3 und 4 auf, zu t_3 sind acht Patienten (15,1 %) betroffen – einmal in den *ROIs* 2 und 3, sieben Mal in den *ROIs* 3 und 4. Ein Beispiel einer beobachteten kortikalen Hypertrophie findet sich in Abbildung 35, sowohl auf der nicht operierten Seite in der Femur-Diaphyse als auch auf der operierten Seite in den *ROIs* 3 und 4.



Abbildung 35: Kortikale Hypertrophie der rechten Diaphyse in den *ROIs* 3, 4; kortikale Hypertrophie der Femur-Diaphyse links ohne Operation. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.

Das *Calcar femoris* verändert sich wie in Tabelle 16 dargestellt. So treten deskriptiv Resorptionen und Hypertrophien auf, es kommt aber auch zu keinen Veränderungen am *Calcar femoris*.

Tabelle 16: Veränderung des *Calcar femoris*

<i>Calcar femoris</i>	t ₁		t ₂		t ₃	
Hypertrophie	1	2,3 %	2	4,9 %	3	5,7 %
Resorption	40	90,9 %	37	90,2 %	48	90,6 %
Keine Veränderung	3	6,8 %	2	4,9 %	2	3,8 %
Ausgewertete Bilder	44	100 %	41	100 %	53	100 %

* Aufgrund von Rundungen weicht die Summe der Prozentwerte geringfügig von 100 % ab.

Die deskriptiven Zunahmen der trabekulären Strukturen sowie die Abnahmen der Knochendichte folgen in Tabelle 17. Von t₀ bis t₃ gibt es an der lateralen Prothesenseite zwischen der Kortikalis der ROI 3 und den beschichteten Bereichen der Prothese (bis in die distale ROI 2 reichend) in fast allen Fällen eine Zunahme der Knochendichte. Ähnlich häufig kommt es zu einer Zunahme der Knochendichte auf der medialen Seite in Höhe des *trochanter minors*, eingeschlossen der proximalen ROI 5 und der distalen ROI 7. Auch am distalen Pol der Prothese, betreffend die ROI 4 inklusive der distalen ROIs 3 und 5 nimmt die Knochendichte zu.

Eine deskriptive Abnahme der Knochendichte liegt im Bereich des *Trochanter major* (in den ROIs 1 und 2) und am *Calcar femoris* (in der ROI 7) vor.

Tabelle 17: Deskriptive Veränderungen der Knochendichte

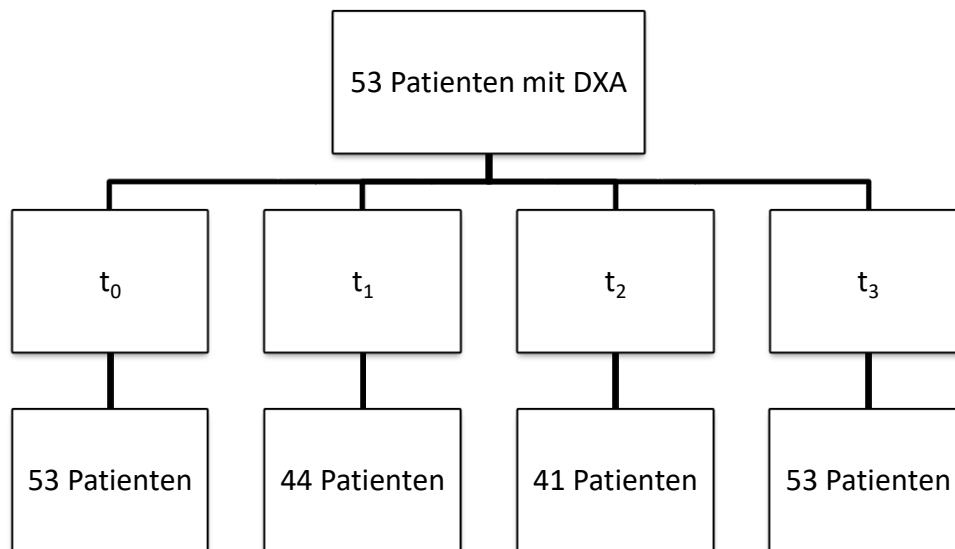
Zunahme	t ₁		t ₂		t ₃	
ROI 3 (2)	36	81,8 %	41	100 %	52	98,1 %
ROI 4 (3, 5)	4	9,1 %	10	24,4 %	14	26,4 %
ROI 6 (5, 7)	29	65,9 %	40	97,6 %	52	98,1 %

Abnahme	t ₁		t ₂		t ₃	
ROI 1 (2)	8	18,2 %	15	36,6 %	27	50,9 %
ROI 7	29	65,9 %	29	70,7 %	36	67,9 %

5.6 Osteodensitometrische Ergebnisse (DXA)

Für die Untersuchung der Knochendichte werden die Knochendichtemessungen von 53 Patienten zu t_0 mit denselben 53 Patienten zu t_3 verglichen. Zu t_1 können von den 53 Patienten 44 Patienten und zu t_2 41 Patienten eingeschlossen werden (Diagramm 9). Von den 53 Patienten sind 23 männlich und 30 weiblich.

Diagramm 9: Patientenzahlen Knochendichte



Die Untersuchungszeitpunkte der Knochendichtemessungen sind in Tabelle 18 dargestellt:

Tabelle 18: Osteodensitometrische Nachuntersuchungszeiträume in Jahren

Ereignis	n	Mittelwert	SD	Min.	Q1	Median	Q3	Max.
Zeitdifferenz Operation zu DXAt ₀ *	118	6,1*	2,0*	0*	5*	6*	7*	12*
Zeitdifferenz Operation zu DXAt ₁	44	0,5	0,1	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7
Zeitdifferenz Operation zu DXAt ₂	41	2,0	0,6	0,9	2,0	2,0	2,1	3,5
Zeitdifferenz Operation zu DXAt ₃	53	7,1	1,6	4,9	5,6	7,0	8,1	10,7
Zeitdifferenz DXAt ₀ zu DXAt ₁	44	0,5	0,1	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7
Zeitdifferenz DXAt ₁ zu DXAt ₂	40	1,4	0,6	0,3	1,4	1,5	1,6	3,0
Zeitdifferenz DXAt ₂ zu DXAt ₃	41	5,3	1,9	1,8	3,4	5,0	6,5	8,7
Alter der Patienten zur Operation, die DXA zu t ₃ erhalten haben	53	65,7	4,5	60,1	62,3	64,2	68,2	78,5
Alter der Patienten bei DXAt ₃	53	72,8	5,0	66,3	69,3	71,7	75,1	87,1

* Zeitangaben in Tagen, restliche Angaben in Jahren

Die Knochendichte verändert sich über den Beobachtungszeitraum in den *ROIs* wie in Tabelle 19 gezeigt: Von t₀ zu t₁ gibt es in der *ROI* 3 zunächst eine Abnahme der Knochendichte und anschließend eine Zunahme, die zu t₃ den initialen Knochenverlust übersteigt. In der *ROI* 6 kommt es zu t₁ und t₂ jeweils zu einer Knochendichtezunahme. Zu t₃ kommt es im Vergleich zu t₂ zu einer Knochendichteabnahme, der Wert liegt aber weiterhin höher als zu t₀. In den anderen *ROIs* kommt es zu einer Abnahme der Knochendichte, die in der *ROI* 7 mit -23,7 % zu t₃ im Vergleich zu t₀ am stärksten ausfiel. Neben der in Tabelle 19 gezeigten p-Werte geben die Veränderungen zwischen folgenden Zeitpunkten einen Hinweis auf einen Zusammenhang: In der *ROI* 1 zwischen t₂ und t₃ (p = 0,003), in der *ROI* 3 von t₁ zu t₃ (p = 0,010) und in der *ROI* 7 sowohl zwischen t₁ und t₃ (p < 0,001).

Tabelle 19: Ergebnisse der Knochendichtemessungen, BMD in g/cm²

	t0	t1			t2					t3				
ROI	BMD	BMD	% zu t ₀	p-Wert zu t ₀	BMD	% zu t ₀	p- Wert zu t ₀	% zu t ₁	p- Wert zu t ₁	BMD	% zu t ₀	p- Wert zu t ₀	% zu t ₂	p-Wert zu t ₂
1	0,855	0,765	- 10,5	<0,001	0,782	- 8,5	<0,001	+ 2,2	0,425	0,767	- 10,3	<0,001	- 1,9	0,003
2	1,500	1,396	- 6,9	0,001	1,405	- 6,3	0,045	+ 0,6	1,000	1,353	- 9,8	<0,001	- 3,7	0,004
3	2,193	2,116	- 3,5	0,031	2,152	- 1,9	1,0	+ 1,7	0,707	2,202	+ 0,4	1,0	+ 2,3	0,310
4	2,085	1,956	- 6,2	<0,001	1,958	- 6,1	<0,001	+ 0,1	1,000	1,974	- 5,3	<0,001	+ 0,8	0,374
5	1,942	1,834	- 5,6	<0,001	1,856	- 4,4	<0,001	+ 1,2	1,000	1,876	- 3,4	<0,001	+ 1,1	1,000
6	1,452	1,511	+ 4,1	0,004	1,573	+ 8,3	<0,001	+ 4,1	0,077	1,494	+ 2,9	0,500	- 5,0	<0,001
7	1,486	1,270	- 14,5	<0,001	1,249	- 15,9	<0,001	- 1,7	1,000	1,143	- 23,1	<0,001	- 8,5	<0,001

Die Schätzungen des p-Wertes mittels Random Slope, Random Intercept Model sind in Tabelle 20 abgebildet.

Tabelle 20: Schätzungen der p-Werte der ROIs

ROI	Zeit	Geschlecht	Wechselwirkung Zeit und Geschlecht
ROI 1	p < 0,001	p < 0,001	p = 0,118
ROI 2	p < 0,001	p < 0,001	p = 0,211
ROI 3	p = 0,007	p < 0,001	p = 0,763
ROI 4	p < 0,001	p < 0,001	p = 0,008
ROI 5	p < 0,001	p < 0,001	p = 0,337
ROI 6	p < 0,001	p < 0,001	p = 0,940
ROI 7	p < 0,001	p < 0,001	p = 0,318

Die in Tabelle 19 gezeigten Veränderungen der Kontrollzeitpunkte im Vergleich zu t₀ sind in Abbildung 36 grafisch dargestellt:

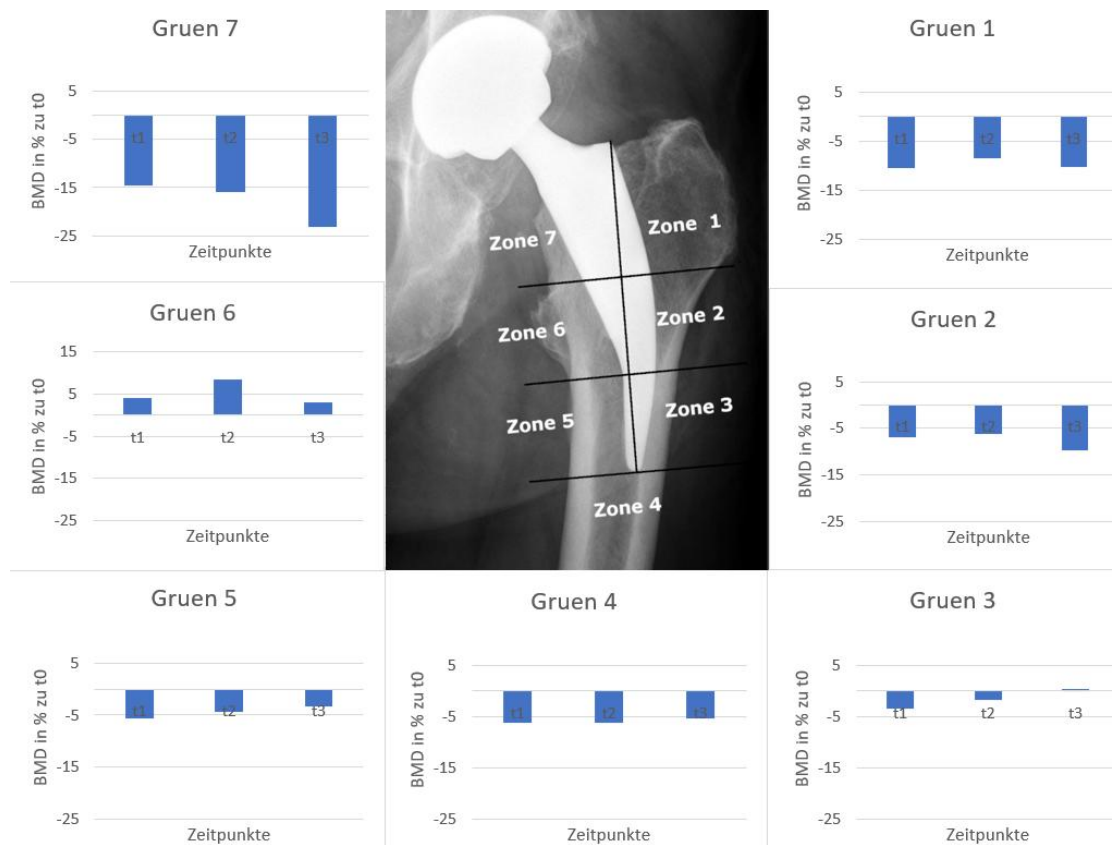


Abbildung 36: Veränderung der Knochendichte zu t_0 schematisch auf einem a.-p. Röntgenbild in den ROIs, v. l. n. r.: t_1 , t_2 , t_3 . Quelle: Angepasstes Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.

6 Diskussion

6.1 Diskussion der Methoden und Ergebnisse dieser Studie

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, ist die Implantation einer Endoprothese eine der häufigsten Operationen in Deutschland. Mehr als drei Viertel aller Implantationen finden bei Patienten in einem Alter von über 60 Jahren statt. Die Definition des älteren Patienten erfolgt gemäß der Weltgesundheitsorganisation, die diesen mit „sechzig Jahre oder älter“ definiert [WHO 2002]. Der primäre Zielparameter unserer Studie ist das mittel- bis langfristige Ergebnis der periprothetischen Knochendichteveränderungen der Metha®-Kurzschaffprothese im älteren Patientenkollektiv. Anhand der aufgestellten Hypothesen (Tabelle 21) werden jeweils nach der Methodik die Ergebnisse der älteren Patienten im Vergleich mit der bisherigen Literatur diskutiert.

Tabelle 21: Hypothesen

1. Die Überlebensrate der Kurzschaffprothese im älteren Kollektiv für den gewählten Schaff ist zu im Literaturvergleich beschriebenen jüngeren Kollektiven nicht herabgesetzt.

2. Das klinische Ergebnis (*Harris Hip Score* (HHS) und *Hip disability and osteoarthritis outcome score* (HOOS)) ist über den gewählten Nachbeobachtungszeitraum mit im Literaturvergleich beschriebenen jüngeren Kollektiven und einer Referenzbevölkerung vergleichbar.

3. Das Geschlecht hat einen Einfluss auf die klinischen Ergebnisse.

4. Die radiografischen Ergebnisse sind mit im Literaturvergleich beschriebenen jüngeren Kollektiven vergleichbar.

5. Die osteodensitometrisch evaluierte periprothetische Knochendichte ist über den gewählten Nachbeobachtungszeitraum mit im Literaturvergleich beschriebenen Kollektiven vergleichbar.

6. Das Geschlecht hat einen Einfluss auf die osteodensitometrisch beobachteten Knochen-Umbauprozesse.

7. Die osteodensitometrisch evaluierte periprothetische Knochendichte persistiert nach den unmittelbar stattfindenden postoperativen Umbauprozessen.
8. Die radiografischen und osteodensitometrischen Kontrollen über den gewählten Zeitraum im Patientenkollektiv geben Hinweise auf eine metaphysäre Krafteinleitung der Metha®-Kurzschafthprothese.
9. Der Knochendichteverlust ist mit im Literaturvergleich beschriebenem Knochenverlust in Standardschäften vergleichbar.

6.1.1 Klinische Ergebnisse dieser Studie

Zur klinischen Evaluation in dieser Studie wird der *Harris Hip Score* (HHS) und der *Hip disability and osteoarthritis outcome score* (HOOS) verwendet. Der HHS ist einer der am häufigsten genutzten Evaluationsparameter nach Hüft-TEP-Implantation, obwohl ein ausgeprägter Deckeneffekt beschrieben wird und der HHS daher am besten für kurzfristige Studien geeignet ist [Sivaloganathan et al. 2020; Nilsson & Bremander 2011; Galea et al. 2020]. Um dem Deckeneffekt entgegenzuwirken, haben Galea et al. die Auswertung des HHS mittels *Patient Acceptable Symptom State* (PASS) aktualisiert [Galea et al. 2020]. Der HOOS eignet sich gut für Langzeitbeobachtungen und wird bis ins hohe Alter verwendet, obwohl er eine bessere Ansprechbarkeit bei jüngeren Patienten zeigt [Nilsson et al. 2003; Nilsson & Bremander 2011].

Erschwert wird die Anwendung klinischer Evaluationsparameter durch eine niedrige Studienadhärenz und Studienpräsenz älterer Patientenkollektive, was unter anderem an erhöhten Komorbiditäten, Pflegebedürftigkeit und logistischen Problemen liegt [Shenoy & Harugeri 2015]. In dieser Studie liegt das Einbestellen der Patienten zudem in der COVID-19-Pandemie, die besonders die ältere Patientengruppe betrifft. Um das Risiko einer Attrition-Bias zu senken, werden in dieser Studie mittels standardisierter telefonischer Befragung nicht erreichte Patienten eingeschlossen. Sharma et al. berichten, dass die telefonische Erhebung des HHS keinen signifikanten Unterschied zu den innerklinisch vollständig erhobenen Ergebnissen hat [Sharma et al. 2005]. Für den WOMAC, dessen Fragen die Mehrheit des HOOS stellen, liegt eine ähnliche Untersuchung vor [Nilsson et al. 2003; López Alonso et al. 2009].

6.1.1.1 Überlebensrate und 1. Hypothese

Zunächst gilt es zu überprüfen, ob „[d]ie Überlebensrate der Kurzschaftprothese im älteren Kollektiv für den gewählten Schaft [...] zu im Literaturvergleich beschriebenen jüngeren Kollektiven nicht herabgesetzt [ist]“. Wittenberg et al. finden bei 204 untersuchten Hüften nach durchschnittlich 4,9 Jahren bei Patienten zwischen 27 und 73 Jahren (durchschnittlich 60) eine Fünf-Jahres-Kaplan-Meier-Überlebensrate inklusive Materialversagen von 92 % – ohne liegt diese bei 96,7 % [Wittenberg et al. 2013]. Zu Materialversagen (Metha®-Konusbrüche) kommt es in der vom Markt genommenen modularen Version des Metha®-Schafts, die in dieser Studie nicht implantiert wurde [Grupp et al. 2010; S. Kohler et al. 2010]. Bemerkenswert ist, dass in allen 18 revidierten Fällen der Wechsel auf einen Standardschaft möglich war [Wittenberg et al. 2013]. Drobniewski et al. revidieren in einer durchschnittlich 51,7-jährigen Patientengruppe nach 9,2 Jahren und 183 Hüften zwei Metha®-Schäfte – die Kaplan-Meier-Überlebensrate beträgt nach 5 Jahren 98,9 % (183 Hüften) und nach 10 Jahren 97,3 % (74 Hüften) [Drobniewski et al. 2021]. In beiden Revisionen wird der Patient mit einem Antega®-Schaft versorgt [Drobniewski et al. 2021]. Ähnliche Überlebensraten in der Kaplan-Meier-Analyse zeigen weitere Autoren: Thorey et al. mit 98 % nach durchschnittlichen 5,8 Jahren Beobachtungszeit, Lerch et al. (nach 24 Monaten) und Parchi et al. (nach 48 Monaten) berichten von keiner Revision [Thorey et al. 2013; Lerch et al. 2012; Parchi et al. 2017]. In einer Übersichtsarbeit von Plaumann und Horst, die die mittelfristigen Ergebnisse von Kurzschaftprothesen in der Literatur darstellt, liegt die Überlebensrate von 2700 über ein mittleres Follow-up von 4,9 Jahren untersuchten Metha®-Kurzschaften bei 98,7 % – exklusive der Konus-Brüche [Plaumann & Horst 2017]. In der Berechnung der Revisionsrate pro 100 Komponentenjahre für schaftspezifische Ursachen schließen Plaumann und Horst unter anderem „periprothetische Frakturen ohne klaren Bezug zur Erstoperation“ aus [Plaumann & Horst 2017]. Unter diesen Kriterien und ohne Metha®-Konusbrüche liegen 0,25 Revisionen pro 100 Komponentenjahre vor.

Diese Kriterien vorausgesetzt gibt es in unserer Studie keine Revision. Insgesamt liegen fünf Komplikationen unter den 118 untersuchten Patienten nach mittleren 6,7 Jahren Beobachtungszeit vor: Eine Revision des Schaftes nach Sturz und periprothetischer Fraktur, eine septische Prothese mit Wechsel des Kopfes und des Inlays ohne Schaftwechsel und drei weitere operative Revisionseingriffe ohne Materialwechsel. Die

Überlebensrate des Metha[®]-Schafts beträgt 99,2 %. Hinweise auf ein Materialversagen gibt es weder klinisch noch radiografisch.

Obwohl in allen eingeschlossenen Publikationen das Durchschnittsalter des Kollektivs niedriger ist, zeigt sich für die ältere Patientenkohorte in unserer Studie keine schlechtere Überlebenszeit. Die einzige Schaftrevision in dieser Studie folgt einem traumatischen Sturz und die Revisionsrate ist gering. Die erste Hypothese („[d]ie Überlebensrate der Kurzschaftprothese im älteren Kollektiv für den gewählten Schaft ist zu im Literaturvergleich beschriebenen jüngeren Kollektiven nicht herabgesetzt“) kann bestätigt werden.

6.1.1.2 Klinisches Ergebnis und 2. Hypothese

Im Folgenden soll geprüft werden, ob „[d]as klinische Ergebnis (*Harris Hip Score* (HHS) und *Hip disability and osteoarthritis outcome score* (HOOS)) [...] über den gewählten Nachbeobachtungszeitraum mit im Literaturvergleich beschriebenen jüngeren Kollektiven und einer Referenzbevölkerung vergleichbar [ist]“.

Lerch et al., Parchi et al., Wittenberg et al. und Thorey et al. berichten von signifikanten Zunahmen des HHS zwischen 46 und 64 Punkten präoperativ auf 90 bis 97 Punkte nach zwei, vier und fünf Jahren postoperativ [Lerch et al. 2012; Parchi et al. 2017; Wittenberg et al. 2013; Thorey et al. 2013]. Drobniewski et al. verwenden für die klinische Beobachtung die nach Charnley modifizierte Merle-d'Aubigné - und Postel-Klassifikation und zusätzlich eine visuelle Analogskala für Schmerzen. Sie berichten ebenfalls von sehr guten Ergebnissen mit diesen Evaluationswerkzeugen [Drobniewski et al. 2021]. In einer Referenzbevölkerung ohne frühere Gelenkersatzoperationen und ohne Beschwerden der unteren Extremitäten liegt der durchschnittliche HHS bei Patienten im Durchschnittsalter von 69 Jahren in der telefonischen Befragung bei $94 \pm 8,2$ [Lieberman et al. 2001]. In unserer Studie verbessert sich der *Harris Hip Score* (HHS) zu allen Kontrollzeitpunkten: Präoperativ liegt er bei 55,3 Punkten, zu t_3 nach durchschnittlich 8,0 Jahren um 40,0 Punkte höher ($p < 0,001$). Damit erreichen gemäß der originalen und etablierten Bewertung von Harris 95,6 % der Patienten zu t_3 ein „hervorragendes“ oder „gutes“ Ergebnis und die postoperativen Ergebnisse sind denen einer Referenzbevölkerung im fortgeschrittenen Alter ähnlich [Harris 1969; Lieberman et al. 2001]. Wegen der beschriebenen Deckeneffekte des HHS werden zusätzlich die von Galea et al. vorgeschlagene Bewertung nach „PASS“-Schwellenwerten bestimmt

[Wamper et al. 2010; Galea et al. 2020]. Zu beachten ist, dass sich die Zeitpunkte in unserer Studie mit denen von Galea et al. unterscheiden: Der Schwellenwert für ein klinisch signifikantes Ergebnis liegt nach Galea et al. bei 93 Punkten nach sieben Jahren. Diesen erreichen in unserer Studie zu t_3 (durchschnittlich acht Jahre) 83,7 % der Patienten. Daher ist nach der von Galea et al. vorgeschlagenen Einteilung in der Mehrheit auf ein klinisch signifikantes Ergebnis zu schließen [Galea et al. 2020].

Der HOOS wird in der Literatur von Thorey et al. erhoben (Schmerz: 92, Symptome: 92, Sport: 91, Funktion: 89, Lebensqualität: 89) [Thorey et al. 2013]. Referenzwerte für den HOOS-LK 1.0 einer zufälligen Stichprobe ohne Ausschluss von Vorerkrankungen publizierten Sundén et al., die wegen vergleichbarem Inhalt und erreichbarer Höchstpunktzahl auch für die hier verwendete Version anwendbar sind [Sundén et al. 2018]. Die Patienten werden nach Geschlecht und Alter in Gruppen unterteilt. Die älteste (75 – 84 Jahre) und die zweitälteste Altersgruppe (55 – 74 Jahre) schließen die Altersverteilung in unserer Studie am ehesten ein und erzielen lediglich zu t_1 in den Subskalen Sport und Lebensqualität bessere Ergebnisse [Sundén et al. 2018]. Zu t_2 und t_3 sind die erreichten Werte der Teilnehmer unserer Studie in jeder Subskala besser als die der Referenzgruppe [Sundén et al. 2018].

Wie bereits bei der Einordnung der Überlebenszeit angemerkt, ist in den für die klinischen Ergebnisse ausgewählten Studien das Patientenkollektiv heterogener und die Einschlusskriterien differieren: Teilweise werden Patienten bereits mit 17 Jahren eingeschlossen oder Implantationen nur bis etwa 70 Jahre durchgeführt, teilweise sind 77 % der beobachteten Hüften bei Männern implantiert [Drobniewski et al. 2021; Wittenberg et al. 2013; Epinette et al. 2017]. Lediglich Boller et al. untersuchen eine ältere Gruppe von 28 Patienten mit einem Alter über 60 Jahren [Boller et al. 2019]. In der kürzeren Beobachtungszeit von zwei Jahren werden keine klinisch signifikanten Unterschiede zu einer jüngeren Kohorte berichtet und es gibt keine Revisionsoperation [Boller et al. 2019]. Insgesamt ist trotz des höheren Alters unseres Kollektivs die Zufriedenheit groß und das klinische Ergebnis mit bisher publizierten Studien und Referenzbevölkerungen vergleichbar. Die zweite Hypothese („[d]as klinische Ergebnis (*Harris Hip Score* (HHS) und *Hip disability and osteoarthritis outcome score* (HOOS)) ist über den gewählten Nachbeobachtungszeitraum mit im Literaturvergleich beschriebenen jüngeren Kollektiven und einer Referenzbevölkerung vergleichbar“), kann für die Metha[®]-Kurzschafthprothese bestätigt werden.

In der heterogenen Gruppe der Kurzschaftprothesen vergleichen Gkagkalis et al. die schenkelhalsteilerhaltende Optimys®-Kurzschaftprothese in einer geriatrischen Gruppe (mindestens 75 Jahre) mit einer jüngeren Gruppe (unter 60 Jahre) [Gkagkalis et al. 2019]. Ein signifikanter Unterschied der Überlebenszeit wird nicht gefunden. Doch die Revisionsgründe unterschieden sich: In der jüngeren Gruppe treten alle Revisionen wegen aseptischer Lockerung auf, in der älteren Gruppe sind periprothetische Frakturen die häufigste Ursache für Revisionen. In der Literatur gibt es Hinweise, dass zementierte Hüft-TEPs seltener periprothetische Frakturen zeigen als unzementierte Hüft-TEPs [Zhang et al. 2017]. In unserer Studie ist die Ursache der einzigen Schaftrevision eine periprothetische Fraktur. Ob der traumatisch bedingte Sturz bei einer zementierten Hüft-TEP zu keiner Fraktur geführt hätte, ist unklar. Jakubowitz et al. finden in ihrer biomechanischen Studie keinen signifikanten Unterschied bezüglich des Risikos für periprothetische Frakturen bei einem unzementierten Standardschaft im Vergleich zu einer unzementierten Kurzschaftprothese [Jakubowitz et al. 2009].

Klinisch zeigen bei Gkagkalis et al. sowohl die jüngere als auch die ältere Gruppe eine deutliche Verbesserung des HHS, die bei der jüngeren Gruppe um 5,8 Punkte höher ist. Dies erklären Gkagkalis et al. durch weniger Komorbiditäten in der jüngeren Gruppe [Gkagkalis et al. 2019]. In Bezug auf die Zufriedenheit, Schmerzen in der visuellen Analogskala und dem radiografischen Ergebnis werden keine signifikanten Unterschiede festgestellt [Gkagkalis et al. 2019]. Der Unterschied in der verwendeten Prothese, die beim HHS vorhandenen Deckeneffekte oder das noch höhere Alter der geriatrischen Gruppe könnten erklären, warum Boller et al. keinen Unterschied zwischen der älteren und der jüngeren Kohorte beim HHS finden, Gkagkalis et al. aber schon [Gkagkalis et al. 2019; Boller et al. 2019; Wamper et al. 2010]. Ob jüngere Patienten tatsächlich bessere Ergebnisse als ältere Patienten erreichen, könnte in zukünftigen Studien mit dem zusätzlichen Faktor der PASS-Schwellenwerte nach Galea et al. oder anderen Evaluierungswerkzeugen mit geringer ausgeprägtem Deckeneffekt geklärt werden. Festzuhalten ist, dass die klinische Zufriedenheit im älteren Kollektiv hoch und der in Referenzgruppen nicht unterlegen ist.

6.1.1.3 Auswirkungen des Geschlechts auf klinische Ergebnisse und 3. Hypothese

Ob „[d]as Geschlecht [...] einen Einfluss auf die klinischen Ergebnisse [hat]“, wird im Folgenden diskutiert. Sundén et al. zeigen, dass im HOOS höheres Alter und weibliches

Geschlecht mit schlechteren Werten assoziiert sind [Sundén et al. 2018]. In unserer Studie gibt es Hinweise der Beeinflussung der Subkategorie „Symptome“ durch die Variable Geschlecht ($p = 0,033$). Eine Wechselwirkung von Zeit und Geschlecht zeigt sich nur bei der Lebensqualität ($p = 0,024$), nicht aber in anderen Subkategorien oder im Gesamtscore. Für eine bessere Vergleichbarkeit müsste jedoch die Altersverteilung homogener sein und die Referenzgruppe Informationen über Erkrankungen des Bewegungsapparates der unteren Extremitäten enthalten. Für den HHS zeigt sich beim Geschlecht kein Einfluss auf das Ergebnis und im HOOS gibt es einen Hinweis auf eine Beeinflussung in lediglich einer Subkategorie, die sich trotz der Anwendung der Bonferroni-Korrektur zufällig hätte ergeben können. Damit ist die dritte Hypothese („[d]as Geschlecht hat einen Einfluss auf die klinischen Ergebnisse“) abzulehnen, obwohl nicht auszuschließen ist, dass einzelne Subkategorien des HOOS vom Geschlecht abhängig sind.

6.1.2 Radiografische Ergebnisse dieser Studie

6.1.2.1 Röntgenologisches Ergebnis und 4. Hypothese

Die Auswertung von Röntgenbildern ist subjektiv. Zur Objektivierung und besseren Vergleichbarkeit erfolgt die Auswertung der Röntgenbilder in dieser Studie angelehnt an das etablierte Auswertungsschema von Johnston et al. und Brooker et al. [Johnston et al. 1990; Brooker et al. 1973; Gruen et al. 1979]. Die vierte Hypothese, „[d]ie radiografischen Ergebnisse sind mit im Literaturvergleich beschriebenen jüngeren Kollektiven vergleichbar“, wird im weiteren Verlauf diskutiert.

Die folgenden Studien vergleichen den Metha[®]-Schaft mit Standardschäften: Shin et al. paaren homogen 50 Metha[®]-Hüften mit 50 Bicontact[®]-Standardschäften in Bezug auf Alter, Geschlecht, BMI, Größe, operativen Zugangsweg und Chirurg [Shin et al. 2016]. Epinette et al. paaren homogen 100 Metha[®]-Schäfte mit 100 gekürzten ABG-II[®]-Standardschäften und 100 Omnifit[®]-Standardschäften in Bezug auf Alter, Geschlecht, BMI und Operationsindikation [Epinette et al. 2017]. Shin et al. berichten über die mittleren 3,1 Jahre Beobachtungszeit von sieben Komplikationen, Revisionen des Metha[®]-Schafts werden wie bei Epinette et al. nach mittleren 4,1 Beobachtungsjahren keine berichtet. In beiden Studien gibt es zwischen den verschiedenen Schaft-Gruppen klinisch keinen signifikanten Unterschied und die Ergebnisse sind mit denen in unserer Studie vergleichbar. Radiografisch ist bei Epinette et al. die Metha[®]-Prothese signifikant besser als der gekürzte Standardschaft, der wiederum signifikant besser als der

Standardschaft ist [Epinette et al. 2017]. Shin et al. finden radiografisch keinen signifikanten Unterschied [Shin et al. 2016]. Die röntgenologische Auswertung wird bei Shin et al. in Anlehnung an Gruen et al. durchgeführt, Epinette et al. werten nach eigenem Schema in Anlehnung an Engh et al. aus und Wittenberg et al., bereits in der ersten Hypothese zitiert, nach Engh et al. [Shin et al. 2016; Epinette et al. 2017; Wittenberg et al. 2013].

In der genaueren Betrachtung zeigen alle Metha[®]-Patienten bei Shin et al. eine Zunahme der knöchernen Strukturen in den *ROIs* (*regions of interest*, angelehnt an die Gruen-Zonen) 2 und 6 als Hinweis für ein knöchernes Einwachsen [Shin et al. 2016; Gruen et al. 1979]. Wittenberg et al. berichten von einer Hypertrophie in der *ROI* 6 (und 5) bei fast allen Patienten, in den *ROIs* 2 und 3 in 61 % der Fälle [Wittenberg et al. 2013]. Endosteale Ossifikationen, die am ehesten den Zunahmen an trabekulärem Knochen nach Johnston et al. entsprechen, finden Epinette et al. in 90 % der Hüften nach Metha[®]-Implantation [Johnston et al. 1990; Epinette et al. 2017]. In unserer Studie zeigt sich in fast allen Fällen (98,1 %) eine Zunahme der knöchernen Strukturen in den *ROIs* 3 (inklusive der distalen *ROI* 2) und 6 (inklusive der proximalen *ROI* 5 und der distalen *ROI* 7).

Brooker et al. berichten von 21 % heterotopen Ossifikationen nach 6 Monaten bei mit Hüftprothesen versorgten Patienten [Brooker et al. 1973]. In Metha[®]-Patienten treten diese in 2 % (Grad I oder II) der Fälle bei Shin et al. und zu 6,9 % in Grad I und 1,3 % in Grad II bei Wittenberg et al. auf [Wittenberg et al. 2013; Shin et al. 2016]. In dieser Studie werden Brooker I beziehungsweise II zu t_3 in 17,0 % beziehungsweise 1,9 % der Fälle beobachtet.

Kortikale Hypertrophien, die nach Epinette et al. einen abnormalen Druck in der Region anzeigen und am besten nicht vorhanden sind, treten bei Epinette et al. in 5 % und bei Wittenberg et al. in 3,5 % auf [Epinette et al. 2017; Wittenberg et al. 2013]. In unserer Studie treten kortikale Hypertrophien zu t_2 in 5 % auf, zu t_3 in 15,1 %.

Atrophien des *Calcar femoris* treten bei Epinette et al. in 71 % der Fälle, bei Wittenberg et al. in 2,5 % der Fälle auf [Epinette et al. 2017; Wittenberg et al. 2013]. In unserer Studie sind die Atrophien des *Calcar femoris* mit 90,6 % zu t_3 häufiger.

Aushöhlungen/Osteolysen beschreiben Epinette et al. in 2 % der Fälle [Epinette et al. 2017]. Röntgendurchlässige Linien von 1-2mm treten bei Wittenberg et al. in den *ROIs* 1 und 4 zu jeweils 0,5 % auf [Wittenberg et al. 2013]. Häufiger als bei Epinette et al. (2 %)

zeigen sich in dieser Studie endosteale Kavitationen (7,5 %), röntgendurchlässige Linien dagegen wurden nicht beobachtet.

Letztlich sind diese Studien untereinander wegen verschiedener Auswertungsschemata, Patientenkollektive und Beobachtungszeiträume nur bedingt zu vergleichen. Zudem ist die Auswertung von Röntgenbildern subjektiv, trotz des Objektivierungsversuchs durch Auswertungsschemata. Dennoch zeigt sich im Vergleich mit den genannten Studien ein ähnliches Bild bezüglich der beschriebenen Knochendichtezunahmen in den *ROIs* 2 (beziehungsweise 3) und 6. Nach Brooker et. al. liegt in keiner der Studien ein Grad an heterotopen Ossifikationen vor, der das klinische Ergebnis für den Patienten beeinträchtigt [Brooker et al. 1973]. Die berichtete Atrophie am *Calcar femoris* differiert zwischen den Studien. Damit sind die radiografischen Ergebnisse nur teilweise mit denen in anderen Studien vergleichbar. Die vierte Hypothese („[d]ie radiografischen Ergebnisse sind mit im Literaturvergleich beschriebenen jüngeren Kollektiven vergleichbar“) ist abzulehnen. Zusammenfassend zeigen sich röntgenologisch meta-diaphysäre Knochendichtezunahmen und eine Atrophie am *Calcar femoris*. Hinweise auf klinisch relevante Osteolysen oder Ossifikationen, wie Brooker III oder IV liegen nicht vor.

6.1.2.2 Osteodensitometrisches Ergebnis und 5./ 6. Hypothese

In der konventionellen Röntgenaufnahme müssen zur sicheren Erkennung Knochendichteunterschiede von über 30 % vorliegen [Reiter et al. 1997]. Für den primären Zielparameter dieser Studie, die Evaluation der Knochendichteveränderung, ist eine genauere Methode notwendig. Die Dual-Röntgen-Absorptiometrie (DXA) gilt zur Bestimmung und Verlaufskontrolle der Knochendichte nach Cavalli und Brandi als verlässlichste Messmethode und erkennt bereits geringe Knochendichteunterschiede [Cavalli & Brandi 2013; Martini et al. 1996]. Spezielle apparative Untersuchungen wie die DXA sind über lange Einschlusszeiträume und Beobachtungszeiten wegen wechselnder Teams und personeller Engpässe eine Herausforderung. Die initiale Knochendichtemessung mittels DXA als Einschlusskriterium stellt eine Hürde dar, ist jedoch zur Setzung des Referenzwertes für die folgenden Knochendichtemessungen nötig [Kröger et al. 1996; Venesmaa et al. 2001]. Weitere Herausforderungen entstehen wegen einer fehlenden einheitlichen Definition der *ROIs* in der Literatur bei Kurzschaftprothesen. Während Lerch et al. bereits in der *ROI* 7 Teile des *Trochanter minors* einschließen, zeigen beispielsweise Thorey et al., Kim et al. oder der

systematische Review von Yan et al. den *Trochanter minor* der *ROI* 6 zugehörig [Lerch et al. 2012; Thorey et al. 2013; Kim et al. 2020; Yan et al. 2018]. Aus dieser unterschiedlichen Festlegung der *ROIs* resultieren andere Betrachtungszonen: Umso weiter die *ROI* 7 den *Trochanter minor* umschließt, desto geringer ist der gemessene Knochenverlust in *ROI* 7. Dies liegt an den radiografisch und osteodensitometrisch beobachtbaren Knochenaufbauprozessen um den *Trochanter minor*. Daher ist beim Vergleich von Studien untereinander die Kenntnis über die Festlegung der *ROIs* essenziell. In dieser Studie werden die *ROIs* so gewählt, dass diese von einer orthogonalen Linie zwischen lateraler Prothesenschulter und Spitze der Prothese entspringen und die *ROI* 6 den *Trochanter minor* umfasst. Ob unter den erschwerten Bedingungen „[d]ie osteodensitometrisch evaluierte periprothetische Knochendichte [...] über den gewählten Nachbeobachtungszeitraum mit im Literaturvergleich beschriebenen Kollektiven vergleichbar [ist]“ und ob „[d]as Geschlecht [...] einen Einfluss auf die osteodensitometrisch beobachteten Knochen-Umbauprozesse [hat]“ soll im Folgenden evaluiert werden.

Kurzfristige Ergebnisse von Knochendichtemessungen um die Metha®-Kurzschaffprothese sind publiziert: Studien mit einem Beobachtungszeitraum von einem Jahr sind die von Jahnke et al., Synder et al. und Brinkmann et al. [Jahnke et al. 2014; Synder et al. 2015; Brinkmann et al. 2015]. Zwei Jahre beobachten Lerch et al. und Boller et al., drei Jahre Augustin et al., vier Jahre Parchi et al. [Lerch et al. 2012; Boller et al. 2019; Augustin et al. 2019; Parchi et al. 2017]. Die nach einem Jahr gemittelten Knochendichteveränderungen von fünf eingeschlossenen Studien präsentieren Yan et al. in einem systematischen Review [Yan et al. 2018]. In den *ROIs* 1 und 7 kommt es zu einem deutlichen Knochendichteverlust (-7,7 % und -12,5 %), während in der *ROI* 6 die BMD um 5,7 % zunimmt [Yan et al. 2018]. Das Durchschnittsalter in diesen Studien liegt zwischen 50,4 und 58,9 Jahren [Yan et al. 2018]. Die proximale Resorption in den *ROIs* 1 und 7 und die Zunahme der Knochendichte in der *ROI* 6 entspricht etwa den in unserer Studie zu t_1 und t_2 erhobenen Werten.

Osteodensitometrische Zwei-Jahres-Ergebnisse der Metha®-Kurzschaffprothese präsentieren Lerch et al. [Lerch et al. 2012]. Von 25 eingeschlossenen Patienten in einem Altersspektrum von 35 bis 70 Jahren werden nach zwölf Monaten sechs Patienten ausgeschlossen. Die Einschlusskriterien von Lerch et al. exkludieren beispielsweise Patienten mit einem BMI über 30 oder Patienten mit Voroperationen [Lerch et al. 2012].

Darüber hinaus sind die *ROIs* anders gewählt: Die *ROI* 1 umfasst die gesamte Region des *Trochanter majors*. Die gegenüberliegende *ROI* 7 umfasst etwa die Hälfte des *Trochanter minors*, in unserer Studie schließt die *ROI* 7 den *Trochanter* nicht ein [Lerch et al. 2012]. Dies könnte die Unterschiede in den Ergebnissen erklären: Lerch et al. berichten nach zwei Jahren postoperativ einen Knochenzuwachs in den *ROIs* 6 und 7, signifikant in 6 und einen Knochenverlust in den *ROIs* 1 bis 5, signifikant in 1 und 3 [Lerch et al. 2012]. In unserer Studie gibt es zum Zwei-Jahres-Untersuchungszeitpunkt einen deutlichen Zuwachs in der *ROI* 6 verglichen mit t_0 ($p < 0,001$), in den *ROIs* 1, 2, 4, 5 und 7 kommt es zu einem deutlichen Abbau (*ROI* 1, 4, 5, 7: $p < 0,001$; *ROI* 2: $p = 0,05$).

Boller et al. vergleichen die Knochendichteunterschiede einer älteren im Vergleich zu einer jüngeren Kohorte bis zwei Jahre nach der Operation. Die Unterschiede zwischen den Gruppen sind nicht signifikant, doch in der älteren Gruppe ist bis auf in den *ROIs* 6 und 7 der Knochendichteverlust höher und die Knochendichtezunahme geringer [Boller et al. 2019]. Die Ergebnisse sind mit denen unserer Studie bis auf einen geringeren Knochendichteverlust in der *ROI* 7 bei Boller et al. vergleichbar [Boller et al. 2019]. Parchi et al., die eine kleinere Kohorte (20 Patienten) im durchschnittlichen Alter von 54 über vier Jahre untersuchen, berichten von einer geringeren Knochendichteabnahme in der *ROI* 7 nach 4 Jahren (-4,7 %) als in unserer Studie [Parchi et al. 2017]. In den *ROIs* 1 bis 6 kommt es zu einer Knochendichtezunahme [Parchi et al. 2017]. Augustin et al. geben die Knochendichte mittels eines Quotienten an, weshalb die Werte nicht direkt vergleichbar sind. In den *ROIs* 1 und 7 kommt es bei 43 eingeschlossenen Patienten im Alter zwischen 33 bis 78 Jahren nach 6 Monaten zu einer signifikanten Knochendichteabnahme. Anschließend nimmt die Knochendichte bis zum 36-Monats-Zeitpunkt zu, bleibt aber weiterhin unterhalb des Ausgangswertes [Augustin et al. 2019]. In unserer Studie nimmt die Knochendichte in der *ROI* 1 nach einem initialen Rückgang bis zum Zwei-Jahres-Kontrollpunkt ebenfalls zu, fällt zu t_3 aber erneut ab. In der *ROI* 7 kommt es zu einer durchgängigen Abnahme der Knochendichte. Falez et al., die den Metha[®]-Schaft mit einem SMF[®]-Schaft vergleichen, führen die Referenzmessung vor der Operation aus und wählen die Einteilung der *ROIs* nicht angelehnt an Gruen et al., weshalb die Ergebnisse nicht vergleichbar sind [Falez et al. 2020]. Unter diesen Voraussetzungen werden Knochendichtezunahmen in allen Regionen mit Ausnahme der Region unterhalb der Prothesenspitze gesehen [Falez et al. 2020].

Zusammenfassend zeigen die Studien eine proximale Resorption in den *ROIs* 1 und 7 und eine Zunahme der Knochendichte in der *ROI* 6. Die proximale Resorption und die Zunahme der Knochendichte in der *ROI* 6 zeigt sich auch in unserer Studie, insbesondere in der *ROI* 7 ist die Knochendichteabnahme in unserer Studie jedoch größer. Die fünfte Hypothese („[d]ie osteodensitometrisch evaluierte periprothetische Knochendichte ist über den gewählten Nachbeobachtungszeitraum mit im Literaturvergleich beschriebenen Kollektiven vergleichbar“) kann eingeschränkt bestätigt werden. Gründe für die vermehrte Knochendichteabnahme, vor allem in der *ROI* 7, könnten die uneinheitliche Einteilung der *ROIs* und weniger strenge Einschlusskriterien unserer Studie sein. Zudem ist das Durchschnittsalter zum Operationszeitpunkt mit 65,7 Jahren in unserer Studie erhöht. Boller et al. fanden in der Gruppe der Älteren geringere Knochendichtezunahmen und stärkere Knochendichteverluste, die sich über den längeren Untersuchungszeitraum unserer Studie verstärkt haben könnten [Boller et al. 2019]. Im Alter kommt es zu einem physiologischen Verlust von Knochenmasse, was die longitudinale Framingham-Osteoporose-Studie eindrucksvoll präsentiert: In der Altersgruppe der 67- bis 70-Jährigen zeigen Frauen über den Untersuchungszeitraum von vier Jahren einen Verlust von etwa drei Prozent an Knochenmasse, Männer von etwa zwei Prozent [Hannan et al. 2000]. In unserer Studie liegt die mittlere Untersuchungsdauer der periprothetischen Knochendichte bei über sieben Jahren. Eine Referenzbevölkerung hätte wahrscheinlich einen höheren Knochendichteverlust als zwei beziehungsweise drei Prozent aufgewiesen.

Im Einklang mit der Framingham-Osteoporose-Studie gibt es in unserer Studie in allen *ROIs* deutliche Hinweise ($p < 0,001$) auf einen Einfluss des Geschlechts auf die Knochendichte. Einen Hinweis auf eine Wechselwirkung zwischen Zeit und Geschlecht, wie es nach den Daten der Framingham-Studie ebenfalls zu erwarten wäre, gibt es lediglich in der *ROI* 4 ($p = 0,008$). Das Geschlecht scheint einen Einfluss auf die Knochendichte zu haben, Hinweise auf Umbauprozesse gibt es nur in einer *ROI*. Mit dieser Datengrundlage ist die sechste Hypothese für unsere Studie („[d]as Geschlecht hat einen Einfluss auf die osteodensitometrisch beobachteten Knochen-Umbauprozesse“) abzulehnen. Klinisch ist die niedrigere Knochendichte von Frauen dennoch relevant: Das Frakturrisiko könnte erhöht sein, was folglich die Mobilität und Lebensqualität reduzieren könnte.

6.1.2.3 Osteodensitometrisches Ergebnis und 7./ 8./ 9. Hypothese

Anschließend werden die osteodensitometrischen Ergebnisse in Bezug auf postoperative Umbauprozesse, eine metaphysäre Krafteinleitung und den Knochendichteverlust in Standardschäften diskutiert. Dabei gilt es zu beantworten, ob „[d]ie osteodensitometrisch evaluierte periprotehetische Knochendichte [...] nach den unmittelbar stattfindenden postoperativen Umbauprozessen [persistiert]“, „[d]ie radiografischen und osteodensitometrischen Kontrollen über den gewählten Zeitraum im Patientenkollektiv [...] Hinweise auf eine metaphysäre Krafteinleitung der Metha®-Kurzschafthprothese [geben] und ob „[d]er Knochendichteverlust [...] mit im Literaturvergleich beschriebenem Knochenverlust in Standardschäften vergleichbar [ist].“

Über den Beobachtungszeitraum verändern sich sowohl die radiografischen als auch die osteodensitometrischen Befunde. Radiografisch häufen sich zu t_3 Atrophien des *Calcar femoris*, kortikale Hypertrophien, heterotope Ossifikationen nach Brooker, kortikale Hypertrophien, endostale Kavitationen und Verdichtungen in den *ROIs* 2 (beziehungsweise 3) und 6. Osteodensitometrisch kommt es von t_0 zu t_3 zu einer Knochendichtezunahme in den *ROIs* 3 und 6 und zu einer Knochendichteabnahme in den restlichen *ROIs*. Primär verringert sich von t_0 zu t_1 die Knochendichte in allen *ROIs* mit Ausnahme von *ROI* 6 (*region of interest*). Sekundär steigt die Knochendichte von t_1 zu t_2 in den *ROIs* 1 bis 6 an. Zu t_3 nimmt die Knochendichte im Vergleich zu t_2 in den distalen *ROIs* 3, 4, 5 zu, während sie in den proximalen *ROIs* 1, 2, 6, 7 abnimmt. Ob die distale Knochendichtezunahme nach der hier untersuchten Zeit weiter zunimmt und sich Hinweise auf eine zunehmende diaphysäre Krafteinleitung finden, sollte in zukünftigen Studien geklärt werden. Die siebte Hypothese („[d]ie osteodensitometrisch evaluierte periprotehetische Knochendichte persistiert nach den unmittelbar stattfindenden postoperativen Umbauprozessen“) ist abzulehnen. Die röntgenologischen Daten sind mit diesen osteodensitometrischen Beobachtungen vereinbar: Die *ROI* 6 zeigt radiografisch eine Zunahme an trabekulären Strukturen (in 98,1 % der Fälle zu t_3), osteodensitometrisch zeigt sich die größte Knochendichtezunahme. Radiografisch und osteodensitometrisch zeigt sich eine Knochendichteabnahme in der *ROI* 1 und der proximalen *ROI* 2. Radiografisch ist in der distalen *ROI* 2 und in der *ROI* 3 eine Zunahme an trabekulärem Knochen sichtbar, osteodensitometrisch liegt in der *ROI* 3 ein leichter Zuwachs vor und in der *ROI* 2 eine Abnahme. Dies könnte durch ein Überwiegen der Resorption in der proximalen *ROI* 2 im Vergleich zur distalen Zunahme an trabekulärem Knochen

begründet sein. Die stärkste Abnahme an Knochendichte von -23,1 % im Vergleich zum postoperativen Basiswert in der *ROI 7* ist in der radiografischen Analyse nachvollziehbar, da deskriptiv in den meisten Fällen sowohl eine Resorption als auch eine Abnahme der Knochendichte vorliegt. Eine epiphysäre Einleitung findet wegen der signifikanten Knochendichteverluste im Bereich des *Calcar femoris* nicht statt. Insgesamt sprechen die osteodensitometrischen im Zusammenspiel mit den radiografischen Befunden für eine meta-diaphysäre Einleitung. Die achte Hypothese („[d]ie radiografischen und osteodensitometrischen Kontrollen über den gewählten Zeitraum im Patientenkollektiv geben Hinweise auf eine metaphysäre Krafteinleitung der Metha®-Kurzschafthprothese“) ist teilweise zu bestätigen. Zusammenfassend bestätigt sich osteodensitometrisch die radiografisch beobachtete proximale Knochendichteabnahme und meta-diaphysäre Knochendichtezunahme. Insbesondere das höhere Patientenalter trägt wahrscheinlich zu den stärkeren proximalen Knochendichteverlusten bei. Damit hebt sich unsere Studie von bisherigen Untersuchungen ab, die überwiegend jüngere Kollektive einschließen.

Den Knochendichteverlauf eines Bi-Metric® Standardschaft untersuchen Bodén et al. bei 14 Patienten mit einem mittleren Alter von 57 Jahren zum Implantationszeitpunkt nach 0,5, 1, 2, und 10 Jahren [Bodén et al. 2006]. Die Knochendichte nimmt nach 2 Jahren in den *ROIs 1* und *7* um über 25 %, und um über 35 % nach 10 Jahren im Vergleich zum Ausgangswert ab. In den *ROIs 2* und *6* liegt nach 10 Jahren ein Knochendichteverlust von über 15 % beziehungsweise über 10 % vor. Dies spricht für einen relevanten epi- und metaphysären Knochendichteverlust. Zu einer Zunahme an Knochendichte kommt es nach 10 Jahren lediglich in der *ROI 5*, was auf eine diaphysäre Krafteinleitung schließen lässt [Bodén et al. 2006]. Brodt et al. untersuchen drei Standardschäfte (CLS®, Vision 2000®, AlphaFit®) und einen Kurzschafth (Mayo®) bei 81 Patienten mit einem mittleren Alter von 56,9 Jahren zum Implantationszeitpunkt nach durchschnittlich 13,3 Jahren [Brodt et al. 2020]. Zwischen den Standardschäften gibt es deutliche Unterschiede, so weist der Vision 2000®-Schafth in der *ROI 6* einen deutlich größeren Knochendichteverlust auf als der AlphaFit®-Schafth [Brodt et al. 2020]. Dennoch sind Muster zu erkennen: Alle Standardschäfte zeigen Knochendichtezunahmen oder geringe Knochendichteverluste in den distalen *ROI 3-5* [Brodt et al. 2020]. Die Mayo®-Prothese zeigt im Gegensatz eine proximalere Lasteinleitung wegen der geringsten Knochendichteabnahme in der *ROI 7* und einer Knochendichtezunahme in der *ROI 6* als einzige Prothese in dieser Studie [Brodt et al. 2020]. Insgesamt sprechen die

Knochendichteverluste der Standardprothesen bis über 40% im proximalen Femur und distale Knochendichtezunahmen oder geringe Knochendichteverluste für eine diaphysäre Lasteinleitung [Bodén et al. 2006; Brodt et al. 2020]. Eine distale Lasteinleitung kann zu proximaler Spannungsabschirmung führen, die das Risiko für periprothetische Frakturen und aseptische Lockerungen erhöht [Feyen & Shimmin 2014; Eidel et al. 2018]. Die Masse an Femur, die die einzelnen *ROI* umfassen, differiert je nach Prothesengröße und ist bei Brodt in den Standardschäften größer als bei der Kurzschaftprothese [Brodt et al. 2020]. Neben der fehlenden einheitlichen Definition der *ROIs* in der Literatur bei Kurzschaftprothesen sind in Standardschäften die *ROIs* nach Gruen eingeteilt [Gruen et al. 1979]. Dies erschwert wie längere Untersuchungszeiträume und schaftspezifische Unterschiede die direkte Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen in unserer Studie.

Zusammenfassend zeigt die Studie von Bodén et al. 2006 einen relevanten epi- und metaphysären Knochendichteverlust [Bodén et al. 2006]. Brodt et al. zeigen für Standardschäfte eine distalere Krafteinleitung als beim Kurzschaft und einen größeren Anteil des Femurs, der Knochenumbauprozesse umfasst [Brodt et al. 2020]. Die Lasteinleitung der Metha[®]-Kurzschaftprothese ist meta-diaphysär und proximaler als die der Standardprothesen. Die neunte Hypothese, („[d]er Knochendichteverlust ist mit im Literaturvergleich beschriebenem Knochenverlust in Standardschäften vergleichbar“) ist damit abzulehnen. Ältere Patienten mit erhöhtem Sturzrisiko könnten von geringeren proximalen Knochendichteabnahmen, einem kürzeren Bereich der Knochenumbauprozesse und einem geringeren Risiko für Revisionsoperationen wegen aseptischer Lockerungen profitieren.

6.2 Limitationen dieser Studie

Das Einverständnis in Studienteilnahme, Knochendichtemessungen und Befragungen sowie die Eignung für eine Kurzschaftprothese sind limitierend. In dieser Studie müssen die Teilnehmer zum Operationszeitpunkt das 60. Lebensjahr vollendet haben. Das Durchschnittsalter liegt zum Zeitpunkt der letzten Kontrolluntersuchung bei über 74 Jahren. In der Untersuchung älterer Patienten sind multiple Schwierigkeiten bekannt, die sich durch die COVID-19-Pandemie und apparative Untersuchungen zusätzlich verschärften [Shenoy & Haruger 2015]. Trotz des hohen Alters und der genannten Schwierigkeiten werden 93 Patienten klinisch nach durchschnittlich acht Jahren und 53 Patienten nach durchschnittlich sieben Jahren osteodensitometrisch und radiografisch

anhand von 191 Knochendichtemessungen und 191 Röntgenbildern evaluiert. Keine Studie zuvor observierte die Knochendichte der Metha[®]-Prothese bei älteren Patienten – oder bei Patienten im Allgemeinen – über einen so langen Zeitraum wie diese. Da am letzten Untersuchungszeitpunkt Knochenumbauprozesse bestehen sind über die Untersuchungszeit hinausgehende Aussagen nicht möglich. Die Daten wurden prospektiv erhoben, das Studiendesign ist retrospektiv. Eine Randomisierung oder Verblindung erfolgte nicht und es gibt keine Kontrollgruppe. Die Implantationen wurden von wenigen erfahrenen Operateuren durchgeführt und die Lernkurve des Chirurgen ist zu beachten. Insbesondere in den Anfangsstadien treten intraoperative Komplikationen häufiger auf [Jahnke et al. 2023]. Letztlich ist eine direkte Übertragung der Ergebnisse dieser Studie auf die Allgemeinbevölkerung nicht gegeben. Eine direkte Übertragung auf die heterogene Gesamtheit der Kurzschaftendoprothesen ist aufgrund der Unterschiede in der Biomechanik nicht möglich.

6.3 Fazit dieser Studie

Die Metha[®]-Kurzschaftprothese zeigt in der Literatur klinisch eine hohe Zufriedenheit und in der Überlebenszeitanalyse eine geringe Anzahl an Revisionen [Drobniewski et al. 2021; Wittenberg et al. 2013; Boller et al. 2019; Lerch et al. 2012; Parchi et al. 2017; Plaumann & Horst 2017; Thorey et al. 2013]. Diese Ergebnisse können für ältere Patienten mit über 60 Jahren zum Implantationszeitpunkt für einen mittel- bis langfristigen Zeitraum bestätigt werden. Die radiografischen Kontrollen geben keine Hinweise auf Prothesenlockerungen oder Materialversagen. Osteodensitometrisch kommt es nach durchschnittlich 7,1 Jahren in den *ROIs* 3 und 6 (*region of interest*) zu einer Knochendichtezunahme und in den restlichen *ROIs* zu einem Knochendichteverlust. Im Literaturvergleich ist der Knochendichteverlust insbesondere in der *Calcar femoris* Region in diesem älteren Kollektiv größer [Augustin et al. 2019; Boller et al. 2019; Lerch et al. 2012; Parchi et al. 2017; Yan et al. 2018]. Die Vergleichbarkeit ist wegen der uneinheitlichen Einteilung der *ROIs* erschwert und ein Knochendichteverlust im Alter steht im Einklang mit der Framingham Studie [Hannan et al. 2000]. Die Lasteinleitung der Metha[®]-Kurzschaftprothese ist nach osteodensitometrischer und radiografischer Auswertung meta-diaphysär. Im Vergleich zu ausgewählten Standardschäften ist die Lasteinleitung der Metha[®]-Kurzschaftprothese proximaler [Bodén et al. 2006; Brodt et al. 2020]. Das Patientenalter allein stellt kein Ausschlusskriterium für die Implantation

einer Metha®-Kurzschafthprothese dar. Unter Beachtung der dokumentierten funktionellen und biomechanischen Vorteile von unzementierten Kurzschafthprothesen und der hier gezeigten ausgezeichneten Langzeitergebnisse könnten Kurzschafthprothesen als die Hüftendoprothese der Wahl erwogen werden – selbst bei älteren Patienten.

7 Zusammenfassung

Die Implantation einer Kurzschaftprothese wird in der Literatur für jüngere und aktivere Patienten empfohlen [Gallart et al. 2018; Huo et al. 2016; Learmonth et al. 2007; Sivaloganathan et al. 2020]. Kurzschaftprothesen sind knochensparend, erzeugen ein physiologischeres Belastungsmuster und erlauben minimalinvasive Operationstechniken, die das Weichteilgewebe schonen; bei Revisionen ist oft der Wechsel auf einen Standardschaft möglich und in klinischen Studien zeigen sich Vorteile gegenüber dem Standardschaft [Huo et al. 2016; Ishaque 2022; Plaumann & Horst 2017; Migliorini et al. 2020]. Da die Implantation einer Endoprothese an der Hüfte eine häufig durchgeführte Operation ist, die hauptsächlich bei über 60-Jährigen durchgeführt wird, stellt sich die Frage, ob auch ältere Patienten von diesen genannten Vorteilen profitieren können und welche periprothetischen Knochenumbauprozesse stattfinden [IQTIG 2019, Statistisches Bundesamt 2023]. Zur Beantwortung erhielten 118 Patienten mit Vollendung des 60. Lebensjahres innerhalb von zwei Wochen nach Implantation einer zementfreien Metha®-Kurzschaftprothese eine Knochendichtemessung. Die klinische Untersuchung erfolgte mittels *Harris Hip Score* (HHS) und *Hip disability and osteoarthritis outcome score* (HOOS), die radiografische Untersuchung mittels Dual-Röntgen-Absorptiometrie-Verfahren (DXA) und anterior-posterior-Röntgenbildern. Kontrolluntersuchungen finden zu vier Zeitpunkten statt: Präoperativ und postoperativ (t_0), nach etwa sechs Monaten (t_1), etwa zwei Jahren (t_2) und nach etwa fünf Jahren oder später (t_3). Klinisch erfolgt im gesamten Beobachtungszeitraum bei allen 118 Patienten über durchschnittlich 6,7 Jahren eine Schaftrevision wegen eines Sturzes, womit die Überlebensrate des Schaftes 99,2% beträgt. Der HHS verbessert sich von 55,3 zu t_0 auf 95,3 zu t_3 ($p < 0,001$). Der HOOS verbessert sich sowohl in allen Subkategorien auf folgende Punktzahlen zu t_3 : Schmerz: 94,5, Symptome: 93,5, Funktion: 94,4, Sport: 90,8, Lebensqualität: 88,0 (jeweils zwischen t_0 und t_3 : $p < 0,001$). Radiografisch und osteodensitometrisch zeigen sich meta-diaphysäre Knochendichtezunahmen, die Krafteinleitung ist meta-diaphysär. Die Knochendichteabnahme am *Calcar femoris* zeigt sich im Vergleich zu anderen Studien größer, was am höheren Alter sowie uneinheitlich definierten *ROIs* (*regions of interest*) liegen könnte. Durch das hohe Implantationsalter hebt sich unsere Studie von bisherigen Untersuchungen ab, die überwiegend jüngere Kollektive einschließen. Knochendichteveränderungen bestehen über die gesamte Beobachtungszeit, zwischen t_0 und t_3 gibt es in den *ROIs* 3 und 6 (+0,4 %/ +2,9 %) Knochendichtezunahmen ($p \geq 0,5$)

und in den *ROIs* 1, 2, 4, 5, 7 (-10,3 %/ -9,8 %/ -5,3 %/ -3,4 %/ -23,1 %) Knochendichteabnahmen ($p < 0,001$). Im Vergleich zu ausgewählten Standardschäften ist die Lasteinleitung proximaler [Bodén et al. 2006; Brodt et al. 2020]. Zusammenfassend zeigt die Metha[®]-Kurzschafthprothese auch bei älteren Patienten sehr gute klinische Ergebnisse mit hoher Zufriedenheit, in der Überlebenszeitanalyse eine geringe Revisionsrate und eine meta-diaphysäre Lasteinleitung. Alter sollte daher kein Ausschlusskriterium für die Implantation einer Metha[®]-Kurzschafthprothese darstellen. Vielmehr können unzementierte Kurzschafthprothesen – unter Berücksichtigung ihrer zahlreichen Vorteile – als Hüftendoprothese der Wahl in Betracht gezogen werden.

8 Abstract

The implantation of a short-stem prosthesis is recommended in the literature for younger and more active patients [Gallart et al. 2018; Huo et al. 2016; Learmonth et al. 2007; Sivaloganathan et al. 2020]. Short-stem prostheses are bone-sparing, create a more physiological loading pattern and allow minimally invasive surgical techniques that protect the soft tissue; in revisions, switching to a standard stem is often possible and clinical studies show advantages over the standard stem [Huo et al. 2016; Ishaque 2022; Plaumann & Horst 2017; Migliorini et al. 2020]. Since the implantation of a hip endoprosthesis is a frequently performed operation, which is mainly performed on people aged 60 and above, the question arises whether elderly patients can also benefit from these advantages and which periprosthetic bone remodeling processes take place [IQTIG 2019, Statistisches Bundesamt 2023]. To answer this question, 118 patients aged 60 years and over received a bone density measurement within two weeks after implantation of a cementless short-stem prosthesis. Clinical examination was performed using the Harris Hip Score (HHS) and the Hip disability and osteoarthritis outcome score (HOOS), radiographic examination using dual X-ray absorptiometry (DXA) and anterior-posterior X-ray images. Follow-up intervals are carried out preoperatively and postoperatively (t_0), after about six months(t_1), about two years (t_2) and after about five years or later (t_3). Clinically one stem revision occurs among all 118 patients due to a fall during the entire observation period averaging 6.7 years, resulting in a stem survival rate of 99.2%. The HHS improves from 55.3 at t_0 to 95.3 at t_3 ($p < 0.001$). The HOOS improves in all subcategories to the following scores at t_3 : pain: 94.5, symptoms: 93.5, function in activities of daily living: 94.4, function in sport and recreation: 90.8, hip-related quality of life: 88.0 (respectively between t_0 and t_3 : $p < 0.001$). Radiographically and osteodensitometrically, meta-diaphyseal bone density increases are shown, the force introduction is meta-diaphyseal. The bone density loss at the *calcar femoris* is greater compared to other studies, which could be due to the older age and inconsistently defined the ROIs (regions of interest). Due to the advanced age of implantation our study differs from previous studies, which predominantly include younger groups. Bone density changes persist throughout the entire observation period; between t_0 and t_3 the bone density increases ($p \geq 0.5$) in the ROIs 3 and 6 (+0.4 %/ +2.9 %) and decreases ($p < 0.001$) in the ROIs 1, 2, 4, 5, 7 (-10.3 %/ -9.8 %/ -5.3 %/ -3.4 %/ -23.1 %)). Compared to selected standard stems, the load introduction is more proximal [Bodén et al. 2006; Brodt et al.

2020]. In summary, the Metha[®] short-stem prosthesis demonstrates even in elderly patients excellent clinical results with high levels of satisfaction, a low revision rate in the survival analysis, and meta-diaphyseal load transfer. Therefore, age should not be an exclusion criterion for the implantation of a Metha[®] short-stem prosthesis. Rather, uncemented short-stem prostheses – considering their numerous advantages – can be considered the hip endoprosthesis of choice.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Links: Standardprothese Excia® T Größe 14 (8-20 verfügbar). Rechts: Kurzschaftprothese Metha® Größe 3 (0-7 verfügbar) 130°. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.....	1
Abbildung 2: Das erste Modell des Schenkelhalsnagels aus Acryl der Judet Brüder. Quelle: Mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Ishaque.....	4
Abbildung 3: Metaphysär verankernde Druckscheibenprothese® (DSP®). Quelle: Mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Ishaque.	6
Abbildung 4: Die schenkelhalserhaltende CUT®-Prothese. Quelle: Mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Ishaque.	7
Abbildung 5: Links: Schenkelteilerhaltende Mayo®-Prothese. Rechts: Schenkelhalsresezierende Fitmore®-Prothese. Quelle: Mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Ishaque.	8
Abbildung 6: Nativröntgenbild einer primären Koxarthrose, links führend. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.	9
Abbildung 7: Sekundäre Koxarthrose durch eine Hüftdysplasie (links) und Morbus Perthes (rechts), jeweils im linken Hüftgelenk. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.	10
Abbildung 8: Sekundäre Dislokation einer konservativ therapierten medialen Schenkelhalsfraktur. Röntgen links in a.-p., rechts Lauensteinaufnahme. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.	11
Abbildung 9: Links: Brooker Grad I. Mitte: Brooker II. Rechts: Brooker III-IV. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.	17
Abbildung 10: Lunar Prodigy Primo, Knochendichtemessgerät. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.	19
Abbildung 11: Die ROIs in Anlehnung an Gruen et al. 1979. Quelle: Angepasstes Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.....	20
Abbildung 12: Schemazeichnung Zugangswege zur Hüfte, Ansicht von dorsoventral, rechte Hüfte. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.....	22
Abbildung 13: Metha®-Prothese mit BIOLOX® delta Kopf, links Fotografie, rechts Schemazeichnung. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.....	27
Abbildung 14: Links: Hautschnitt. Rechts: Darstellung Fascia lata nach Präparation. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.	29
Abbildung 15: Links: Darstellung der Muskulatur. Rechts: Darstellung der Kapselzirkumferenz nach intermuskulärem Eingehen. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.	30

<i>Abbildung 16: Links: Abtragen der Kapselzirkumferenz. Rechts: Osteotomie des Schenkelhalses. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.</i>	<i>31</i>
<i>Abbildung 17: Links: Entfernter Hüftkopf. Rechts: Fräsen für die Hüftpfanne. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.</i>	<i>32</i>
<i>Abbildung 18: Links: Einschlagen der press-fit Pfanne in das Pfannenbett. Rechts: Positionierte Pfanne vor Inlay-Einsatz. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.</i>	<i>33</i>
<i>Abbildung 19: Links: Schenkelhalsring mit geschlossenem Markraum. Mitte: Öffnen des Markraums. Rechts: Schenkelhalsring mit geöffnetem Markraum. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.</i>	<i>34</i>
<i>Abbildung 20: Links: Original Metha®-Prothese mit BIOLOX®delta Steckkopf. Rechts: Blick auf die reponierte Kurzschaftprothese. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.</i>	<i>35</i>
<i>Abbildung 21: Links: Nach Einlage der Drainage Wundverschluss. Rechts Fasziennaht. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.</i>	<i>35</i>
<i>Abbildung 22: Reizlose Narbe nach Wundheilung. Quelle: Mit freundlicher Genehmigung von Herrn Prof. Dr. Ishaque.</i>	<i>36</i>
<i>Abbildung 23: Röntgenologische Veränderungen der Knochendichte, von links nach rechts (v. l. n. r.): Postoperativ, 6 Monate postoperativ, 1 Jahr postoperativ, 7 Jahre postoperativ. Quelle: Angepasstes Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.</i>	<i>40</i>
<i>Abbildung 24: Messung der Knochendichte der operierten Seite mit Prothese. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.</i>	<i>41</i>
<i>Abbildung 25: Positionierung der Ladekontrollleuchte etwa 3-4 cm unterhalb der Implantat-Spitze. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.</i>	<i>41</i>
<i>Abbildung 26: Ausgewertete Knochendichtemessung mit den ROIs. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen, Max Brandl.</i>	<i>42</i>
<i>Abbildung 27: Primäre Koxarthrose, rechte Hüfte führend, v. l. n. r.: Unmittelbar präoperativ, 2 Tage postoperativ, 10,5-Jahre postoperativ. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.</i>	<i>46</i>
<i>Abbildung 28: Dysplasie-Koxarthrose linkes Femur, v. l. n. r.: Präoperativ, 2 Tage postoperativ, 8,2 Jahre postoperativ. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.</i>	<i>47</i>
<i>Abbildung 29: Residualdysplasie-Koxarthrose in der rechten Hüfte, v. l. n. r.: Präoperativ, 2 Tage postoperativ, 5 Jahre postoperativ. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen.</i>	<i>47</i>

- Abbildung 30: Hüftkopfnekrose der linken Hüfte, v. l. n. r.: Präoperativ, 1 Tag postoperativ, 1 Jahr postoperativ. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen. 48*
- Abbildung 31: Posttraumatische Koxarthrose rechtes Femur, v. l. n. r.: Lauenstein präoperativ, a.-p. präoperativ, a.-p. 1,1 Jahre postoperativ. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen..... 49*
- Abbildung 32: Morbus Perthes des linken Femurs, v. l. n. r.: Präoperativ, 3 Tage postoperativ, 7,1 Jahre postoperativ. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen. 49*
- Abbildung 33: v. l. n. r.: 2 Tage postoperativ, nach Trauma 56 Tage postoperativ, nach Revisionsoperation und Wechsel auf Brehm-Schaft. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen. 52*
- Abbildung 34: Links (6 Jahre postoperativ): Endosteale Kavitationen in der ROI 1. Rechts (7 Jahre postoperativ): Endosteale Kavitationen in den ROIs 1 und 5. Quelle: Angepasstes Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen..... 61*
- Abbildung 35: Kortikale Hypertrophie der rechten Diaphyse in den ROIs 3, 4; kortikale Hypertrophie der Femur-Diaphyse links ohne Operation. Quelle: Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen..... 62*
- Abbildung 36: Veränderung der Knochendichte zu t_0 schematisch auf einem a.-p. Röntgenbild in den ROIs, v. l. n. r.: t_1 , t_2 , t_3 . Quelle: Angepasstes Bildmaterial der Klinik für Orthopädie und orthopädischen Chirurgie des UKGM Gießen..... 67*

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Unterpunktzahlen des HHS</i>	13
<i>Tabelle 2: Subkategorien des HOOS</i>	15
<i>Tabelle 3: Heterotope Ossifikation nach Brooker</i>	16
<i>Tabelle 4: Auswertungsschema Röntgenbilder</i>	38
<i>Tabelle 5: Indikationen für die Operation im Kollektiv</i>	45
<i>Tabelle 6: Prothesengröße</i>	50
<i>Tabelle 7: Pfannengrößen</i>	51
<i>Tabelle 8: Revision mit Schaftwechsel</i>	52
<i>Tabelle 9: Revision ohne Schaftwechsel</i>	53
<i>Tabelle 10: Klinische Nachuntersuchungszeiträume</i>	56
<i>Tabelle 11: HHS im Verlauf</i>	56
<i>Tabelle 12: HHS mit klinischer Bewertung</i>	57
<i>Tabelle 13: HOOS-Ergebnisse</i>	58
<i>Tabelle 14: HOOS-Gesamtergebnis (ges.) und Anzahl beantworteter Fragen (n)</i>	59
<i>Tabelle 15: p-Werte des HOOS</i>	60
<i>Tabelle 16: Veränderung des Calcar femoris</i>	63
<i>Tabelle 17: Deskriptive Veränderungen der Knochendichte</i>	63
<i>Tabelle 18: Osteodensitometrische Nachuntersuchungszeiträume in Jahren</i>	65
<i>Tabelle 19: Ergebnisse der Knochendichtemessungen, BMD in g/cm²</i>	66
<i>Tabelle 20: Schätzungen der p-Werte der ROIs</i>	66
<i>Tabelle 21: Hypothesen</i>	68

Diagrammverzeichnis

<i>Diagramm 1: Ursprüngliches Studiendesign</i>	24
<i>Diagramm 2: Ausgewertete Kontrolltermine</i>	25
<i>Diagramm 3: Das Patientenkollektiv</i>	44
<i>Diagramm 4: Altersverteilung, absolute Häufigkeit bei Implantation, n = 118</i>	45
<i>Diagramm 5: Kaplan-Meier-Analyse für den Metha®-Schafft, Endpunkt Schafftüberleben</i>	53
<i>Diagramm 6: Kaplan-Meier Analyse mit dem Endpunkt „jegliche Revisionsoperation“</i>	54
<i>Diagramm 7: Patientenzahlen der klinischen Auswertung</i>	55
<i>Diagramm 8: HOOS-Mittelwerte für jede Subkategorie mit Zeitpunkt</i>	59
<i>Diagramm 9: Patientenzahlen Knochendichte</i>	64

Abkürzungsverzeichnis

a.-p.-Projektion	anterior posterior Projektion
ALMIS	anterolateral minimally invasive surgery
AVN	avaskuläre Nekrose
BMD	bone mineral density
BMI	Body-Mass-Index
CCD-Winkel	Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel
DXA oder DEXA	dual-energy X-ray absorptiometry
ECF	Epiphysiolysis capitis femoris
ges.	gesamt
HHS	Harris Hip Score
HOOS	Hip disability and osteoarthritis outcome score
kg	Kilogramm
m	Meter
max.	maximal
min.	minimal
M.	Musculus
μ Gy	Mikrogray
μ m	Mikrometer
n	Anzahl
PASS	Patient Acceptable Symptom State
PTA	post-traumatische Arthrose
Quartil, oberes	Q ₃
Quartil, unteres	Q ₁
ROI	region of interest
SD	Standardabweichung (standard deviation)

t	Zeitpunkt
TEP	Totalendoprothese
UKGM	Universitätskliniken Gießen Marburg
v. l. n. r.	von links nach rechts
WOMAC	Western Ontario and McMaster universities Osteoarthritis Index

Literatur

- Aesculap AG a:* Aesculap Patienteninformation: Metha® Kurzschaftprothesensystem, <https://www.bbraun.de/de/products/b/metha-kurzschaft-hueftendoprothese.html>; Zugriff am 15.04.2022.
- Aesculap AG b:* AESCULAP® Metha®: Kurzschaft-Hüftendoprothesensystem, <https://www.bbraun.de/de/products/b/metha-kurzschaft-hueftendoprothese.html>; Zugriff am 28.12.2021.
- Aggarwal, V. K.; Suh, Y. M.; Hutzler, L.; Moscona, L.; Castañeda, P.:* Total Hip Arthroplasty for Secondary Causes of Arthritis An Increase in Time and Money. *Bulletin of the Hospital for Joint Disease* (2013) 77 (2019), 4, pp. 233–237.
- Altmeyer:* Prospektive Analyse von Lebensqualität, funktionellem Ergebnis sowie radiologischen Umbauprozessen nach Implantation der Metha® - Kurzschaftprothese (2014).
- American Joint Replacement Registry:* Annual Report 2016: Third AJRR Annual Report on Hip and Knee Arthroplasty Data, <https://www.aaos.org/registries/publications/ajrr-annual-report/>; Zugriff am 05.04.2022.
- Augustin, L.; Boller, S.; Bobach, C.; Jahnke, A.; Ahmed, G. A.; Rickert, M.; Ishaque, B. A.:* Development of periprosthetic bone mass density around the cementless Metha® short hip stem during three year follow up-a prospective radiological and clinical study. *International Orthopaedics* 43 (2019), 9, pp. 2031–2037.
- Australian Orthopaedic Association National Joint Replacement Registry:* Annual Report 2003. Australian Orthopaedic Association National Joint Replacement Registry - <https://aoanjrr.sahmri.com/annual-reports-2003>; Zugriff am 14.02.2023.
- Babisch:* Kann man mit Kurzschaftprothesen besser planen und rekonstruieren? In: Jerosch, J. (Hrsg.): Kurzschaftendoprothesen an der Hüfte. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2017, S. 32–45.
- Basad, E.; Ishaque, B.; Stürz, H.; Jerosch, J.:* The anterolateral minimally invasive approach for total hip arthroplasty: technique, pitfalls, and way out. *The Orthopedic clinics of North America* 40 (2009), 4, 473–8, viii.
- Bauer, R.; Kerschbaumer, F.; Poisel, S.; Oberthaler, W.:* The transgluteal approach to the hip joint. *Archives of orthopaedic and traumatic surgery. Archiv für orthopaedische und Unfall-Chirurgie* 95 (1979), 1-2, pp. 47–49.
- Bertin, K. C.; Röttinger, H.:* Anterolateral Mini-incision Hip Replacement Surgery. *Clinical orthopaedics and related research* 429 (2004), S. 248–255.
- Blake, G. M.; Harrison, E. J.; Adams, J. E.:* Dual X-ray absorptiometry: cross-calibration of a new fan-beam system. *Calcified tissue international* 75 (2004), 1, pp. 7–14.
- Bodén, H. S. G.; Sköldenberg, O. G.; Salemyr, M. O. F.; Lundberg, H.-J.; Adolphson, P. Y.:* Continuous bone loss around a tapered uncemented femoral stem: a long-term evaluation with DEXA. *Acta orthopaedica* 77 (2006), 6, pp. 877–885.
- Boller, S.; Jahnke, A.; Augustin, L.; Ahmed, G.; Rickert, M.; Ishaque, B. A.:* Age-related osseointegration of a short hip stem: a clinical and radiological 24 months follow-up. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery* 139 (2019), 3, pp. 405–410.

- Brandl, M.; Jahnke, A.; Fölsch, C.; Rickert, M.; Ishaque, B. A.: Mid- to long-term periprosthetic bone density changes after cementless short stem hip arthroplasty in elderly: A clinical and radiological analysis. *Journal of Orthopaedics* 57 (2024), pp. 17–22.
- Brinkmann, V.; Radetzki, F.; Delank, K. S.; Wohlrab, D.; Zeh, A.: A prospective randomized radiographic and dual-energy X-ray absorptiometric study of migration and bone remodeling after implantation of two modern short-stemmed femoral prostheses. *Journal of Orthopaedics and Traumatology* 16 (2015), 3, pp. 237–243.
- Brodth, S.; Matziolis, G.; Buckwitz, B.; Zippelius, T.; Strube, P.; Roth, A.: Long-term follow-up of bone remodelling after cementless hip arthroplasty using different stems. *Scientific reports* 10 (2020), 1, p. 10143.
- Brooker, A. F.; Bowerman, J. W.; Robinson, R. A.; Riley, L. H.: Ectopic ossification following total hip replacement. Incidence and a method of classification. *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 55 (1973), 8, pp. 1629–1632.
- Caton, J.; Prudhon, J. L.: Over 25 years survival after Charnley's total hip arthroplasty. *International Orthopaedics* 35 (2011), 2, pp. 185–188.
- Cavalli, L.; Brandi, M. L.: Periprosthetic bone loss: diagnostic and therapeutic approaches. *F1000Research* 2 (2013), p. 266.
- Charnley, J.: Total hip replacement by low-friction arthroplasty. *Clinical orthopaedics and related research* 72 (1970), pp. 7–21.
- Cheng, T.; Feng, J. G.; Liu, T.; Zhang, X. L.: Minimally invasive total hip arthroplasty: a systematic review. *International Orthopaedics* 33 (2009), 6, pp. 1473–1481.
- Clesham, K.; Sheridan, G. A.; Greidanus, N. V.; Masri, B. A.; Garbuz, D. S.; Duncan, C. P.; Howard, L. C.: Minimally Invasive Intermuscular Approaches versus Conventional Approaches in Total Hip Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Journal of arthroplasty* (2022).
- Connolly, K. P.; Kamath, A. F.: Direct anterior total hip arthroplasty: Literature review of variations in surgical technique. *World Journal of Orthopedics* 7 (2016), 1, pp. 38–43.
- Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie e.V. (DGO): Evidenz- und konsensbasierte Indikationskriterien zur Hüfttotalendoprothese bei Coxarthrose (EKIT-Hüfte), <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/187-001.html>; Zugriff am 02.10.2025.
- Diehl, P.; Haenle, M.; Bergschmidt, P.; Gollwitzer, H.; Schauwecker, J.; Bader, R.; Mittelmeier, W.: Zementfreie Hüftendoprothetik: eine aktuelle Übersicht / Cementless total hip arthroplasty: a review. *1862-278X* 55 (2010), 5, S. 251–264.
- Drobniewski, M.; Synder, M.; Synder, M. A.; Krasinska, M.; Olewnik, L.; Borowski, A.: Future of total hip arthroplasty with the Metha short stem in modern surgeries. *Scientific reports* 11 (2021), 1, p. 21763.
- Eidel, B.; Gote, A.; Ohrndorf, A.; Christ, H.-J.: How can a short stem hip implant preserve the natural, pre-surgery force flow? A finite element analysis on a collar cortex compression concept (CO4). *Medical engineering & physics* (2018).
- Epinette, J.-A.; Brax, M.; Chammaï, Y.: A predictive radiological analysis of short stems versus both shortened and long stems in primary hip replacement: A case-control

- study of 100 cases of Metha versus ABG II and Omnifit HA at 2-8years' follow-up. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 103 (2017), 7, pp. 981–986.
- Falez, F.; Casella, F.; Panegrossi, G.; Favetti, F.; Barresi, C.*: Perspectives on metaphyseal conservative stems. *Journal of Orthopaedics and Traumatology* 9 (2008), 1, pp. 49–54.
- Falez, F.; Casella, F.; Papalia, M.*: Current concepts, classification, and results in short stem hip arthroplasty. *Orthopaedics* 38 (2015), 3 Suppl, S6-13.
- Falez, F.; Papalia, M.; Granata, G.; Longo, D.; Ciompi, A.; Casella, F.; Mazzotta, G.; Favetti, F.*: Bone remodelling and integration of two different types of short stem: a dual-energy X-ray - absorptiometry study. *International Orthopaedics* 44 (2020), 5, pp. 839–846.
- Feyen, H.; Shimmin, A. J.*: Is the length of the femoral component important in primary total hip replacement? *The bone & joint journal* 96-B (2014), 4, pp. 442–448.
- Frndak, P. A.; Mallory, T. H.; Lombardi, A. V.*: Translateral surgical approach to the hip. The abductor muscle „split“. *Clinical orthopaedics and related research* (1993), 295, pp. 135–141.
- Fröber, R.*: Funktionelle Anatomie des proximalen Femur. *OP-Journal* 18 (2002), 2, S. 86–90.
- Galea, V. P.; Florissi, I.; Rojanasopondist, P.; Connelly, J. W.; Ingelsrud, L. H.; Bragdon, C.; Malchau, H.; Troelsen, A.*: The Patient Acceptable Symptom State for the Harris Hip Score Following Total Hip Arthroplasty: Validated Thresholds at 3-Month, 1-, 3-, 5-, and 7-Year Follow-Up. *The Journal of arthroplasty* 35 (2020), 1, 145-152.e2.
- Gallart, X.; Riba, J.; Fernández-Valencia, J. A.; Bori, G.; Muñoz-Mahamud, E.; Combalia, A.*: Hip prostheses in young adults. Surface prostheses and short-stem prostheses. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología (English Edition)* 62 (2018), 2, S. 142–152.
- Gkagkalis, G.; Goetti, P.; Mai, S.; Meinecke, I.; Helmy, N.; Bosson, D.; Kutzner, K. P.*: Cementless short-stem total hip arthroplasty in the elderly patient - is it a safe option?: a prospective multicentre observational study. *BMC geriatrics* 19 (2019), 1, p. 112.
- Gluck*: Die Invaginationsmethode der osteo-und arthroplastik, 1890.
- Glyn-Jones, S.; Palmer, A. J. R.; Agricola, R.; Price, A. J.; Vincent, T. L.; Weinans, H.; Carr, A. J.*: Osteoarthritis. *The Lancet* 386 (2015), 9991, pp. 376–387.
- Grimberg et al.*: Endoprothesenregister Deutschland (EPRD) Jahresbericht 2016.
- Gruen, T. A.; McNeice, G. M.; Amstutz, H. C.*: „Modes of failure“ of cemented stem-type femoral components: a radiographic analysis of loosening. *Clinical orthopaedics and related research* (1979), 141, pp. 17–27.
- Grupp, T. M.; Weik, T.; Bloemer, W.; Knaebel, H.-P.*: Modular titanium alloy neck adapter failures in hip replacement—failure mode analysis and influence of implant material. *BMC musculoskeletal disorders* 11 (2010), p. 3.
- Haboush, E. J.*: A new operation for arthroplasty of the hip based on biomechanics, photoelasticity, fast-setting dental acrylic, and other considerations. *Bulletin of the Hospital for Joint Diseases* 14 (1953), 2, pp. 242–277.

- Haddad, R. J.; Cook, S. D.; Brinker, M. R.*: A comparison of three varieties of noncemented porous-coated hip replacement. *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 72 (1990), 1, pp. 2–8.
- Hall, M. L.; Heavens, J.; Ell, P. J.*: Variation between femurs as measured by dual energy X-ray absorptiometry (DEXA). *European Journal of Nuclear Medicine* 18 (1991), 1, pp. 38–40.
- Hannan, M. T.; Felson, D. T.; Dawson-Hughes, B.; Tucker, K. L.; Cupples, L. A.; Wilson, P. W.; Kiel, D. P.*: Risk factors for longitudinal bone loss in elderly men and women: the Framingham Osteoporosis Study. *Journal of bone and mineral research the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research* 15 (2000), 4, pp. 710–720.
- Harris, W. H.*: Traumatic arthritis of the hip after dislocation and acetabular fractures: treatment by mold arthroplasty. An end-result study using a new method of result evaluation. *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 51 (1969), 4, pp. 737–755.
- Holt, G.; Murnaghan, C.; Reilly, J.; Meek, R. M. D.*: The biology of aseptic osteolysis. *Clinical orthopaedics and related research* 460 (2007), pp. 240–252.
- Howell, J. R.; Garbuz, D. S.; Duncan, C. P.*: Minimally invasive hip replacement: rationale, applied anatomy, and instrumentation. *The Orthopedic clinics of North America* 35 (2004), 2, pp. 107–118.
- Huo, S.-C.; Wang, F.; Dong, L.-J.; Wei, W.; Zeng, J.-Q.; Huang, H.-X.; Han, Q.-M.; Duan, R.-Q.*: Short-stem prostheses in primary total hip arthroplasty: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Medicine* 95 (2016), 43, e5215.
- IQTIG: Bundesauswertung nach QSKH-RL 2019: Hüftendoprothesenversorgung*, https://iqtig.org/downloads/auswertung/2019/hep/QSKH_HEP_2019_BUAW_V02_2020-07-14.pdf; Zugriff am 05.04.2022.
- Ishaque, B. A.; Donle, E.; Gils, J.; Wienbeck, S.; Basad, E.; Stürz, H.*: 8-Jahres-Resultate der Schenkelhalsprothese ESKA-CUT. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* 147 (2009), 2, S. 158–165.
- Ishaque*: Indikationen für die Kurzschaftendoprothetik. In: Jerosch, J. (Hrsg.): *Kurzschaftendoprothesen an der Hüfte*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2017, S. 45–59.
- Ishaque, B. A.*: Short Stem for Total Hip Arthroplasty (THA) - Overview, Patient Selection and Perspectives by Using the Metha® Hip Stem System. *Orthopedic research and reviews* 14 (2022), pp. 77–89.
- Jacob, H. A. C.*: *Biomechanical Principles and Design Details of the Thrust Plate Prosthesis: The Thrust Plate Hip Prosthesis*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1997, pp. 25–47.
- Jahnke, A.; Engl, S.; Altmeyer, C.; Jakubowitz, E.; Seeger, J. B.; Rickert, M.; Ishaque, B. A.*: Changes of periprosthetic bone density after a cementless short hip stem: a clinical and radiological analysis. *International Orthopaedics* 38 (2014), 10, pp. 2045–2050.
- Jahnke, A.; Köther-Herrmann, J.; Fonseca Ulloa, C. A.; Harz, T.; Rickert, M.; Ishaque, B. A.*: Retrospective clinical and X-ray-based outcome analysis of a short-stem hip arthroplasty taking into account the operative learning curve over 7 years in the 3-

- year control course. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery* 143 (2023), 11, pp. 6589–6597.
- Jakubowitz, E.; Seeger, J. B.; Lee, C.; Heisel, C.; Kretzer, J. P.; Thomsen, M. N.*: Do short-stemmed-prostheses induce periprosthetic fractures earlier than standard hip stems? A biomechanical ex-vivo study of two different stem designs. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery* 129 (2009), 6, pp. 849–855.
- Jankowski, L. G.; Warner, S.; Gaither, K.; Lenchik, L.; Fan, B.; Lu, Y.; Shepherd, J.*: Cross-calibration, Least Significant Change and Quality Assurance in Multiple Dual-Energy X-ray Absorptiometry Scanner Environments: 2019 ISCD Official Position. *Journal of clinical densitometry the official journal of the International Society for Clinical Densitometry* 22 (2019), 4, pp. 472–483.
- Jerosch, J.*: Ist kürzer wirklich besser? Philosophie der Kurzschaftendoprothesen. *Der Orthopäde* 40 (2011), 12, S. 1075–1083.
- Jerosch, J.*: Stabilität von Kurzschaftendoprothesen. In: *Jerosch, J. (Hrsg.): Kurzschaftendoprothesen an der Hüfte. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2017, S. 89–94.*
- Jerosch, J.; Engelhardt, L. V.* von: Kurzschaft ist nicht gleich Kurzschaft – wo liegen die Unterschiede in der Verankerung und der Biomechanik? *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* 157 (2019), 5, pp. 548–557.
- Johnston, R. C.; Fitzgerald, R. H.; Harris, W. H.; Poss, R.; Müller, M. E.; Sledge, C. B.*: Clinical and radiographic evaluation of total hip replacement. A standard system of terminology for reporting results. *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 72 (1990), 2, pp. 161–168.
- Judet, J.; Judet, R.*: The use of an artificial femoral head for arthroplasty of the hip joint. *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 32-B (1950), 2, pp. 166–173.
- K. Mahalingam; D. Reidy*: Smith-Petersen vitallium mould arthroplasty: a 45-year follow-up. undefined (1996).
- Kennon, R.; Keggi, J.; Zatorski, L. E.; Keggi, K. J.*: Anterior approach for total hip arthroplasty: beyond the minimally invasive technique. *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 86-A Suppl 2 (2004), pp. 91–97.
- Kim, S. S.; Kim, H. J.; Kim, K. W.; Jung, Y. H.; Heo, S. Y.*: Comparative Analysis between Short Stem and Conventional Femoral Stem in Patients with Osteonecrosis of Femoral Head: Metha Stem and Excia Stem. *Orthopaedic surgery* 12 (2020), 3, pp. 819–826.
- Klässbo, M.; Larsson, E.; Mannevik, E.*: Hip disability and osteoarthritis outcome score. An extension of the Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index. *Scandinavian journal of rheumatology* 32 (2003), 1, pp. 46–51.
- Köster und Poulidis*: BreXis. In: *Jerosch, J. (Hrsg.): Kurzschaftendoprothesen an der Hüfte. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2017, S. 243–254.*
- Kröger, H.; Miettinen, H.; Arnala, I.; Koski, E.; Rushton, N.; Suomalainen, O.*: Evaluation of periprosthetic bone using dual-energy x-ray absorptiometry: precision of the method and effect of operation on bone mineral density. *Journal of bone and mineral research the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research* 11 (1996), 10, pp. 1526–1530.

- Learmonth, I. D.; Young, C.; Rorabeck, C.*: The operation of the century: total hip replacement. *The Lancet* 370 (2007), 9597, S. 1508–1519.
- Lepri, A. C.; Villano, M.; Matassi, F.; Carulli, C.; Innocenti, M.; Civinini, R.*: „Anterolateral“ approach to the hip: a systematic review of the correct definition of terms. *Hip international the journal of clinical and experimental research on hip pathology and therapy* 30 (2020), 2_suppl, pp. 13–19.
- Lerch, M.; Haar-Tran, A. von der; Windhagen, H.; Behrens, B. A.; Wefstaedt, P.; Stukenborg-Colsman, C. M.*: Bone remodelling around the Metha short stem in total hip arthroplasty: a prospective dual-energy X-ray absorptiometry study. *International Orthopaedics* 36 (2012), 3, pp. 533–538.
- Lieberman, J. R.; Hawker, G.; Wright, J. G.*: Hip function in patients 55 years old: population reference values. *The Journal of arthroplasty* 16 (2001), 7, pp. 901–904.
- Lina Holm Ingelsrud*: HOOS scoring info, <http://koos.nu/HOOSscoringinfo2013.pdf>; Zugriff am 10.04.2023.
- López Alonso, S. R.; Martínez Sánchez, C. M.; Romero Cañadillas, A. B.; Navarro Casado, F.; González Rojo, J.*: Propiedades métricas del cuestionario WOMAC y de una versión reducida para medir la sintomatología y la discapacidad física. *Atencion Primaria* 41 (2009), 11, S. 613–620.
- Markatos, K.; Savvidou, O. D.; Foteinou, A.; Kosmadaki, S.; Trikoupi, I.; Goumenos, S. D.; Papagelopoulos, P. J.*: Hallmarks in the History and Development of Total Hip Arthroplasty. *Surgical innovation* 27 (2020), 6, pp. 691–694.
- Martini, F.; Sell, S.; Kremling, E.; Küsswetter, W.*: Determination of periprosthetic bone density with the DEXA method after implantation of custom-made uncemented femoral stems. *International Orthopaedics* 20 (1996), 4, pp. 218–221.
- Martini, F.; Leberherz, C.; Mayer, F.; Leichtle, U.; Kremling, E.; Sell, S.*: Precision of the measurements of periprosthetic bone mineral density in hips with a custom-made femoral stem. *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 82 (2000), 7, pp. 1065–1071.
- Meyers, J.*: Kaplan-Meier Survival Plotting Macro %NEWSURV (2014).
- Migliorini, F.; Driessen, A.; Colarossi, G.; El Mansy, Y.; Gatz, M.; Tingart, M.; Eschweiler, J.*: Short stems for total hip replacement among middle-aged patients. *International Orthopaedics* 44 (2020), 5, pp. 847–855.
- Moore, A. T.*: The self-locking metal hip prosthesis. *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 39-A (1957), 4, pp. 811–827.
- Morrey, B. F.*: Short-stemmed uncemented femoral component for primary hip arthroplasty. *Clinical orthopaedics and related research* (1989), 249, pp. 169–175.
- Niinimäki, T.; Jalovaara, P.*: Bone loss from the proximal femur after arthroplasty with an isoelastic femoral stem. BMD measurements in 25 patients after 9 years. *Acta Orthopaedica Scandinavica* 66 (1995), 4, pp. 347–351.
- Nilsdotter, A. K.; Lohmander, L. S.; Klässbo, M.; Roos, E. M.*: Hip disability and osteoarthritis outcome score (HOOS)--validity and responsiveness in total hip replacement. *BMC musculoskeletal disorders* 4 (2003), p. 10.
- Nilsdotter, A.; Bremander, A.*: Measures of hip function and symptoms: Harris Hip Score (HHS), Hip Disability and Osteoarthritis Outcome Score (HOOS), Oxford Hip Score

- (OHS), Lequesne Index of Severity for Osteoarthritis of the Hip (LISOH), and American Academy of Orthopedic Surgeons (AAOS) Hip and Knee Questionnaire. *Arthritis care & research* 63 Suppl 11 (2011), S200-7.
- Njeh, C. F.; Fuerst, T.; Hans, D.; Blake, G. M.; Genant, H. K.*: Radiation exposure in bone mineral density assessment. *Applied Radiation and Isotopes* 50 (1999), 1, S. 215–236.
- Özgir, S.; Droste, P.; Echtermeyer, V.*: Wann wird zementiert? *Trauma und Berufskrankheit* 9 (2007), S3, S351-S358.
- Pan, H.-L.; Akiyama, H.; Kawanabe, K.; Goto, K.; So, K.; Nakamura, T.*: Long-term survivorship analysis of hip arthroplasty with vitallium mold cup. *Journal of orthopaedic science official journal of the Japanese Orthopaedic Association* 15 (2010), 4, pp. 459–462.
- Parchi, P. D.; Ciapini, G.; Castellini, I.; Mannucci, C.; Nucci, A. M.; Piolanti, N.; Maffei, S.; Lisanti, M.*: Evaluation of the Effects of the Metha® Short Stem on Periprosthetic Bone Remodelling in Total Hip Arthroplasties: Results at 48 Months. *Surgical technology international* 30 (2017), pp. 346–351.
- Petheram, T. G.; Whitehouse, S. L.; Kazi, H. A.; Hubble, M. J. W.; Timperley, A. J.; Wilson, M. J.; Howell, J. R.*: The Exeter Universal cemented femoral stem at 20 to 25 years: A report of 382 hips. *The bone & joint journal* 98-B (2016), 11, pp. 1441–1449.
- Petis, S.; Howard, J. L.; Lanting, B. L.; Vasarhelyi, E. M.*: Surgical approach in primary total hip arthroplasty: anatomy, technique and clinical outcomes. *Canadian journal of surgery. Journal canadien de chirurgie* 58 (2015), 2, pp. 128–139.
- Pilliar, R. M.; Lee, J. M.; Maniopoulos, C.*: Observations on the effect of movement on bone ingrowth into porous-surfaced implants. *Clinical orthopaedics and related research* (1986), 208, pp. 108–113.
- Pipino, F.; Keller, A.*: Tissue-sparing surgery: 25 years' experience with femoral neck preserving hip arthroplasty. *Journal of Orthopaedics and Traumatology* 7 (2006), 1, S. 36–41.
- Plaumann, T.; Horst, F.*: Mittelfristige Ergebnisse in der Literatur. In: Jerosch, J. (Hrsg.): *Kurzschafendoprothesen an der Hüfte*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2017, S. 67–79.
- Reiter, A.; Sabo, D.; Simank, H. G.; Büchner, T.; Seidel, M.; Lukoschek, M.*: Periprosthetische Mineralisationsdichte zementfreier Hüftendoprothetik. *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete* 135 (1997), 6, S. 499–504.
- S. Kohler; H. Ratayski; J. Zacher*: Implantatbedingte Brüche des Schenkelhals-Konusadapters einer modularen Kurzschaf-Hüftendoprothese – Patientenmanagement und OP-Technik. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* (2010), S. 185–190.
- Salemyr, M.; Muren, O.; Ahl, T.; Bodén, H.; Eisler, T.; Stark, A.; Sköldenberg, O.*: Lower periprosthetic bone loss and good fixation of an ultra-short stem compared to a conventional stem in uncemented total hip arthroplasty. *Acta orthopaedica* 86 (2015), 6, pp. 659–666.

- Sharma, S.; Shah, R.; Draviraj, K. P.; Bhamra, M. S.: Use of telephone interviews to follow up patients after total hip replacement. *Journal of telemedicine and telecare* 11 (2005), 4, pp. 211–214.
- Shenoy, P.; Harugeri, A.: Elderly patients' participation in clinical trials. *Perspectives in clinical research* 6 (2015), 4, pp. 184–189.
- Shi, H.-Y.; Mau, L.-W.; Chang, J.-K.; Wang, J.-W.; Chiu, H.-C.: Responsiveness of the Harris Hip Score and the SF-36: five years after total hip arthroplasty. *Quality of Life Research* 18 (2009), 8, pp. 1053–1060.
- Shin, Y.-S.; Suh, D.-H.; Park, J.-H.; Kim, J.-L.; Han, S.-B.: Comparison of Specific Femoral Short Stems and Conventional-Length Stems in Primary Cementless Total Hip Arthroplasty. *Orthopedics* 39 (2016), 2, e311-7.
- Sivaloganathan, S.; Maillot, C.; Harman, C.; Villet, L.; Rivière, C.: Neck-sparing short femoral stems: A meta-analysis. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 106 (2020), 8, pp. 1481–1494.
- Smith-Petersen, M. N.: Evolution of mould arthroplasty of the hip joint. *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 30B (1948), 1, pp. 59–75.
- Statistisches Bundesamt (Destatis): Bevölkerungspyramide, <https://service.destatis.de/bevoelkerungspyramide/index.html#!y=2018&a=20,60&v=2&g>; Zugriff am 05.02.2022.
- Statistisches Bundesamt (Destatis): Sterbetafeln, <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?sequenz=tabelleErgebnis&selectionname=I2621-0002&zeitscheiben=I6&sachmerkmal=ALT577&sachschluessel=ALTVOLL000,ALTVOLL020,ALTVOLL040,ALTVOLL060,ALTVOLL065,ALTVOLL080#abreadcrumb>; Zugriff am 05.04.2022.
- Statistisches Bundesamt (Destatis): Die 20 häufigsten Operationen insgesamt (OPS 5) (2023), <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Krankenhaeuser/Tabellen/drg-operationen-insgesamt.html>; Zugriff am 09.11.2024.
- Strahlenschutzkommission: Strahlenhygienische Aspekte bei Röntgenuntersuchungen zur Bestimmung der Körperzusammensetzung (insbesondere Knochendichtemessungen) mittels Dual X-ray Absorptiometry (DXA) (2015).
- Stryker: Stryker's Exeter hip stem turns 50 (2020), <https://www.stryker.com/ch/en/about/news/2020/stryker-s-exeter-hip-stem-turns-50.html>; Zugriff am 24.04.2022.
- Suckel, A.; Geiger, F.; Kinzl, L.; Wulker, N.; Garbrecht, M.: Long-term results for the uncemented Zweymuller/Alloclassic hip endoprosthesis. A 15-year minimum follow-up of 320 hip operations. *The Journal of arthroplasty* 24 (2009), 6, pp. 846–853.
- Sundén, A.; Lidengren, K.; Roos, E. M.; Lohmander, L. S.; Ekvall Hansson, E.: Hip complaints differ across age and sex: a population-based reference data for the Hip disability and Osteoarthritis Outcome Score (HOOS). *Health and quality of life outcomes* 16 (2018), 1, p. 200.
- Synder, M.; Krajewski, K.; Sibinski, M.; Drobniewski, M.: Periprosthetic bone remodeling around short stem. *Orthopedics* 38 (2015), 3 Suppl, S40-5.

- Thorey, F.; Hoefler, C.; Abdi-Tabari, N.; Lerch, M.; Budde, S.; Windhagen, H.: Clinical results of the metha short hip stem: a perspective for younger patients? *Orthopedic reviews* 5 (2013), 4, e34.
- Venesmaa, P. K.; Kröger, H. P.; Miettinen, H. J.; Jurvelin, J. S.; Suomalainen, O. T.; Alhava, E. M.: Monitoring of periprosthetic BMD after uncemented total hip arthroplasty with dual-energy X-ray absorptiometry—a 3-year follow-up study. *Journal of bone and mineral research the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research* 16 (2001), 6, pp. 1056–1061.
- Wamper, K. E.; Sierevelt, I. N.; Poolman, R. W.; Bhandari, M.; Haverkamp, D.: The Harris hip score: Do ceiling effects limit its usefulness in orthopedics? *Acta orthopaedica* 81 (2010), 6, pp. 703–707.
- Watson-Jones, R.: Fractures of the neck of the femur. *British Journal of Surgery* 23 (1936), 92, S. 787–808.
- Weigel, B.: Hüfte und Oberschenkel. In: Weigel, B.; Nerlich, M. L. (Hrsg.): *Praxisbuch Unfallchirurgie*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2011, S. 505–586.
- WHO: *Aktiv Altern: Rahmenbedingungen und Vorschläge für politisches Handeln*, 2002.
- WHO: *Surgical Safety Checklist* (2009).
- Wiles, P.: The surgery of the osteoarthritic hip. *British Journal of Surgery* 45 (1958), 193, pp. 488–497.
- Wittenberg, R. H.; Steffen, R.; Windhagen, H.; Bücking, P.; Wilcke, A.: Five-year results of a cementless short-hip-stem prosthesis. *Orthopedic reviews* 5 (2013), 1, e4.
- Wolff, J.: *Das Gesetz der Transformation der Knochen*. Hirschwald, Berlin, 1892.
- World Health Organization: *Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis: Report of a WHO study group*. World Health Organization, Geneva, 1994.
- Yan, S. G.; Weber, P.; Steinbrück, A.; Hua, X.; Jansson, V.; Schmidutz, F.: Periprosthetic bone remodelling of short-stem total hip arthroplasty: a systematic review. *International Orthopaedics* 42 (2018), 9, pp. 2077–2086.
- Zhang, C.; Yan, C. H.; Zhang, W.: Cemented or cementless fixation for primary hip arthroplasty—evidence from The International Joint Replacement Registries. *Annals of Joint* 2 (2017), 10, p. 57.
- Zweymüller, K.; Semlitsch, M.: Concept and material properties of a cementless hip prosthesis system with Al₂O₃ ceramic ball heads and wrought Ti-6Al-4V stems. *Archives of orthopaedic and traumatic surgery. Archiv für orthopädische und Unfall-Chirurgie* 100 (1982), 4, pp. 229–236.

Anhang

Patientenfragebogen für Patienten mit Metha[®]-Kurzschaffprothese:

Harris-Hip-Score (nach R.J. Haddad 1990 modifiziert):

I. Schmerz

A	Kein Schmerz oder Schmerz wird ignoriert	44
B	Leicht, gelegentlich, keine Aktivitätseinschränkung	40
C	Milde Schmerzen ohne Einfluss auf alltägliche Leben. Mäßige Schmerzen bei ungewohnter Belastung, u.U. Gebrauch von NSAR	30
D	Schmerz, erträglich, aber Zugeständnisse. Gewisse Einschränkung im Alltag, gelegentlich Gebrauch rezeptpflichtiger Analgetika	20
E	Starke Schmerzen. Deutliche Aktivitätseinschränkung	10
F	Komplette Aktivitätseinschränkung, Gehunfähigkeit, Bettlägerigkeit, Ruheschmerz	0

Gesamt I (max. 44):

II. Funktion

IIA Gangbild

1 Hinken

Kein	11
Leicht	8
Deutlich	6
Stark und gehunfähig	0

2 Gehhilfen

Keine	11
Stock für lange Strecken	7
Stock für die meiste Zeit	5
Eine Gehstütze	4
Zwei Stöcke	2
Zwei Gehstützen oder Gehunfähigkeit	0

3 Gehstrecke

Unbegrenzt	11
Ca. 1000 Meter	8
Ca. 400-500 Meter	5
Bett und Stuhl	0

Gesamt IIA (max. 33):

IIB Aktivitäten

1 Treppen

Normal ohne Geländerbenutzung	4
Normal mit Geländerbenutzung	2
Irgendwie möglich	1
Unmöglich	0

2 Schuhe und Strümpfe

Einfach	4
Mit Schwierigkeiten	2
Unmöglich	0

3 Sitzen

Bequem im normalen Stuhl für 1 Stunde	5
1/2 Std. in einem hohen Stuhl	3
1/2 Std. sitzen unmöglich	0

4 Einsteigen in öffentliche Verkehrsmittel

Möglich	1
Unmöglich	0

Gesamt IIB (max. 14):**III. A Kontrakturen/Fehlstellung**

Weniger als 10° fixierter Abduktion	1
Weniger als 10° fixierte IRO in Streckung	1
Weniger als 30° Beugekontraktur	1
Weniger als 2,3 cm Beinlängendifferenz	1

Gesamt III A (max. 4):**III. B Bewegungsausmaß**

rechts

links

Flexion	°	
Abduktion	°	+
Adduktion	°	+
ARO	°	+
IRO	°	+
Gesamtwinkel	°	
210 °-300 °	5	
160 °-209 °	4	
100 °-159 °	3	
60 °-99 °	2	
30 °-59 °	1	
0 °-29 °	0	

Gesamt III B (max. 5):**Gesamtzahl Harris-Hüft-Score (I bis IIIB): _____**

Name: _____

Datum: _____

Unterschrift: _____

HOOS Fragebogen für Hüftpatienten

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

Name: _____

ANLEITUNG: Dieser Fragebogen soll herausfinden, welchen Eindruck Sie von Ihrer Hüfte haben. Die Informationen helfen uns, Ihre Hüftbeschwerden und Ihre Möglichkeiten im täglichen Leben zu erfassen.

Bitte beantworten Sie jede Frage, indem Sie das für Sie Zutreffende markieren (nur ein Kreuz pro Frage). Sollten Sie unsicher sein, geben Sie bitte die bestmögliche Antwort.

Symptome

Die folgenden Fragen beziehen sich auf die Beschwerden und Symptome während der **letzten Woche**.

S1. Spüren Sie ein Reiben, hören Sie ein Klicken, Knirschen, Knacken oder ein anderes Geräusch in Ihrer Hüfte?

Nie Selten Manchmal Oft Immer

S2. Haben Sie Schwierigkeiten, die Beine zu spreizen?

Keine Wenig Mässige Grosse Sehr grosse

S3. Haben Sie Schwierigkeiten, beim Gehen grosse Schritte zu machen?

Keine Wenig Mässige Grosse Sehr grosse

Steifigkeit

Die folgenden Fragen betreffen die Steifigkeit im Hüftgelenk, die Sie in der **letzten Woche** wahrgenommen haben. Steifigkeit ist ein Gefühl von Einschränkung oder Langsamkeit in den Bewegungen („harzige“ Bewegungen) des Hüftgelenks.

S4. Wie ausgeprägt ist die Steifigkeit in Ihrem Hüftgelenk, wenn Sie morgens aufwachen?

Gar nicht Wenig Mässig Stark Sehr stark

S5. Wie ausgeprägt ist die Steifigkeit in Ihrem Hüftgelenk nach dem Sitzen, Liegen oder Ausruhen **im Verlauf des Tages**?

Gar nicht Wenig Mässig Stark Sehr stark

Schmerzen

P1. Wie oft haben Sie Schmerzen in der Hüfte?

Nie Monatlich Wöchentlich Täglich Immer

Wie starke Schmerzen verspürten Sie in der Hüfte **in der letzten Woche** während der folgenden Tätigkeiten?

P2. vollständiges Strecken der Hüfte (Aufrichten)

Keine Wenig Mässige Starke Sehr starke

Wie starke Schmerzen verspürten Sie in der Hüfte **in der letzten Woche** während der folgenden Tätigkeiten?

P3. Maximales Beugen der Hüfte

Keine Wenig Mässige Starke Sehr starke

P4. Gehen in ebenem Gelände

Keine Wenig Mässige Starke Sehr starke

P5. Treppen hinauf- oder hinuntersteigen

Keine Wenig Mässige Starke Sehr starke

P6. Nachts im Bett					
Keine	Wenig	Mässige	Starke	Sehr starke	
P7. Sitzen oder Liegen					
Keine	Wenig	Mässige	Starke	Sehr starke	
P8. Aufrecht stehen					
Keine	Wenig	Mässige	Starke	Sehr starke	
P9. Gehen auf hartem Boden (Asphalt, Beton, usw.)					
Keine	Wenig	Mässige	Starke	Sehr starke	
P10. Gehen in unebenem Gelände					
Keine	Wenig	Mässige	Starke	Sehr starke	

Funktion im täglichen Leben

Die folgenden Fragen beziehen sich auf Ihre körperliche Funktion, das heisst, Ihre Fähigkeit, sich zu bewegen und für sich zu sorgen.

Geben Sie bitte für jede der folgenden Tätigkeiten an, wie grosse Schwierigkeiten Ihnen Ihre Hüfte **während der letzten Woche** bereitet hat.

A1. Treppen hinuntersteigen

Keine	Wenig	Mässige	Grosse	Sehr grosse
-------	-------	---------	--------	-------------

A2. Treppen hinaufsteigen

Keine	Wenig	Mässige	Grosse	Sehr grosse
-------	-------	---------	--------	-------------

A3. Vom Sitzen aufstehen

Keine	Wenig	Mässige	Grosse	Sehr grosse
-------	-------	---------	--------	-------------

Geben Sie bitte für jede der folgenden Tätigkeiten an, wie grosse Schwierigkeiten Ihnen Ihre Hüfte **während der letzten Woche** bereitet hat:

A4. Stehen

Keine	Wenig	Mässige	Grosse	Sehr grosse
-------	-------	---------	--------	-------------

A5. Sich bücken / einen Gegenstand aufheben

Keine	Wenig	Mässige	Grosse	Sehr grosse
-------	-------	---------	--------	-------------

A6. Gehen in unebenem Gelände

Keine	Wenig	Mässige	Grosse	Sehr grosse
-------	-------	---------	--------	-------------

A7. Einsteigen in ein Auto / Aussteigen aus einem Auto

Keine	Wenig	Mässige	Grosse	Sehr grosse
-------	-------	---------	--------	-------------

A8. Einkaufen

Keine	Wenig	Mässige	Grosse	Sehr grosse
-------	-------	---------	--------	-------------

A9. Socken / Strümpfe anziehen

Keine	Wenig	Mässige	Grosse	Sehr grosse
-------	-------	---------	--------	-------------

A10. Vom Bett aufstehen

Keine	Wenig	Mässige	Grosse	Sehr grosse
-------	-------	---------	--------	-------------

A11. Socken / Strümpfe ausziehen

Keine	Wenig	Mässige	Grosse	Sehr grosse
-------	-------	---------	--------	-------------

A12. Im Bett liegen (Drehen mit Beibehalten der Hüftposition)

Keine Wenig Mässige Grosse Sehr grosse

A13. Einsteigen in die Badewanne / Aussteigen aus der Badewanne

Keine Wenig Mässige Grosse Sehr grosse

A14. Sitzen

Keine Wenig Mässige Grosse Sehr grosse

A15. Sich auf die Toilette setzen und wieder aufstehen

Keine Wenig Mässige Grosse Sehr grosse

Geben Sie bitte für jede der folgenden Tätigkeiten an, wie grosse Schwierigkeiten Ihnen Ihre Hüfte **während der letzten Woche** bereitet hat:

A16. Schwere Hausarbeiten (Kisten tragen, Böden schrubben, usw.) verrichten

Keine Wenig Mässige Grosse Sehr grosse

A17. Leichte Hausarbeiten (Kochen, Staubwischen, usw.) verrichten

Keine Wenig Mässige Grosse Sehr grosse

Sport und Freizeit

Die folgenden Fragen beziehen sich auf Ihre körperliche Funktion bei anspruchsvolleren Tätigkeiten.

Geben Sie bitte für jede der folgenden Tätigkeiten an, wie grosse Schwierigkeiten Ihnen Ihre Hüfte während der **letzten Woche** bereitet hat.

SP1. Kauern / in die Hocke gehen

Keine Wenig Mässige Grosse Sehr grosse

SP2. Rennen

Keine Wenig Mässige Grosse Sehr grosse

SP3. Drehen auf belastetem Bein

Keine Wenig Mässige Grosse Sehr grosse

SP4. Gehen in unebenem Gelände

Keine Wenig Mässige Grosse Sehr grosse

Lebensqualität

Q1. Wie oft sind Sie sich Ihres Hüftproblems bewusst?

Nie Monatlich Wöchentlich Täglich Immer

Q2. Haben Sie Ihren Lebensstil verändert, um Tätigkeiten zu vermeiden, die Ihrer Hüfte schaden könnten?

Gar nicht Wenig Mässig Stark Sehr stark

Q3. Wie sehr belastet Sie Ihr fehlendes Vertrauen in Ihre Hüfte?

Gar nicht Wenig Mässig Stark Sehr stark

Q4. Wie gross sind die Schwierigkeiten, die Sie im Allgemeinen mit Ihrer Hüfte haben?

Keine Wenig Mässige Grosse Sehr grosse

Vielen Dank, dass Sie sich die Zeit genommen haben, diesen Fragebogen auszufüllen!

Publikationsverzeichnis

„Mid- to long-term periprosthetic bone density changes after cementless short stem hip arthroplasty in elderly: A clinical and radiological analysis“ [Brandl et al. 2024]

- **Brandl, M.; Jahnke, A.; Fölsch, C.; Rickert, M.; Ishaque, B. A.:** Mid- to long-term periprosthetic bone density changes after cementless short stem hip arthroplasty in elderly: A clinical and radiological analysis. *Journal of Orthopaedics* 57 (2024), pp. 17–22
- Received 25 May 2024; Accepted 1 June 2024
- <https://doi.org/10.1016/j.jor.2024.06.003>

Ehrenwörtliche Erklärung

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

Ort, Datum

Unterschrift

Danksagung

Großer Dank gebührt zunächst Herrn Prof. Dr. Ishaque mit seiner fachlichen Unterstützung und die freundliche Überlassung dieses interessanten Themas von hoher aktueller Relevanz.

Ich danke Herrn Dr. Jahnke für die kontinuierliche Betreuung, Begleitung und Beratung über die gesamte Arbeit hinweg.

Allen Mitarbeitern der Klinik für Orthopädie möchte ich hiermit vielmals danken. Ohne die Einbindung in die Arbeit in der Ambulanz und Bereitstellung von Untersuchungszimmern und fachlichen Erklärungen wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Den Oberärzten, Assistenzärzten, den Medizinisch-Technischen Assistenten, den Medizinisch-Technischen Radiologie-Assistenten wie den Sekretärinnen, die mich bei den klinischen sowie den organisatorischen und bürokratischen Hürden im Klinikalltag unterstützt haben möchte ich hiermit vielmals danken. Auch den zahlreichen Patienten, die zum Teil für die Nachuntersuchungen weite Strecken auf sich genommen oder geduldig während der telefonischen Befragung geantwortet haben, möchte ich herzlich danken. Ohne diese wäre diese Studie nicht möglich gewesen!

Herrn Dr. Pons-Kühnemann sowie Frau Scheibelhut, die mich statistisch beraten haben, möchte ich herzlich danken.

Weiterer Dank geht an Prof. Krombach für die Bereitstellung der radiografischen Geräte sowie an die medizinisch-technischen Angestellten, die die Messungen durchgeführt und mich in die Bedienung der technischen Geräte eingewiesen haben.

Ein besonderer Dank gilt meiner Familie und meinen Freunden, die mich stetig unterstützt und motiviert haben.