

**Aus dem
Klinikverbund Südwest
Klinikum Sindelfingen-Böblingen
Akademisches Lehrkrankenhaus der Universität Tübingen
Orthopädische Klinik Sindelfingen (OKS)**

**Präoperative digitale Hüftprothesenplanung versus
postoperatives Ergebnis – Wie reliabel lassen sich
Pfannen- und Schaftpositionierung vorbestimmen?
Eine retrospektive Studie an über 500 Patienten mit
primärem Hüftgelenkersatz**

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

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

**vorgelegt von
Prokop, Marie
2024**

Dekan: Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter: Professor Dr. S. Kessler

2. Berichterstatter: Privatdozent Dr. C. Walter

Tag der Disputation: 30.06.2023

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungsverzeichnis	1
1. Einleitung	2
1.1. Indikationen.....	3
1.1.1. Koxarthrose.....	3
1.1.2. Schenkelhalsfraktur	4
1.1.3. Hüftkopfnekrose.....	5
1.1.4. Rheumatoide Arthritis	6
1.2. Historie der Hüftendoprothetik	7
1.3. Aktuelle Implantate.....	9
1.3.1. Prothesendesign	9
1.3.2. Verankerungstechniken	9
1.3.3. Gleitpaarungen	10
1.4. Komplikationen.....	11
1.4.1. Aseptische Lockerung.....	11
1.4.2. Infektion	12
1.4.3. Periprothetische Fraktur.....	13
1.4.4. Luxation	14
1.4.5. Ossifikation	15
1.4.6. Nervenschäden.....	15
1.5. Präoperative Planung.....	16
1.6. Fragestellung	20
2. Material und Methoden	21
2.1. Patientenkollektiv	21
2.2. Implantate	21
2.3. Operationstechnik	22
2.4. Studienablauf	23
2.5. Datenerhebung	24
2.6. Statistische Analyse	32
3. Ergebnisse	33
3.1. Deskriptive Statistik.....	33
3.1.1. Alters-, Geschlechts- & BMI- Verteilung.....	33

3.1.2. Erfahrung des Operators	36
3.1.3. Art der Fixierung	37
3.2. Übereinstimmung von Planung und Ergebnis	38
3.2.1. Übereinstimmung der Halslänge.....	38
3.2.2. Übereinstimmung der Schaftgröße	39
3.2.3. Übereinstimmung des Offsets.....	40
3.2.4. Übereinstimmung der Pfannengröße	41
3.2.5. Übereinstimmung aller vier Parameter.....	42
3.2.6. Unterteilung nach Alter	42
3.2.7. Unterteilung nach Geschlecht.....	47
3.2.8. Unterteilung nach BMI	52
3.2.9. Unterteilung nach Operateur.....	57
3.2.10. Unterteilung nach Art der Fixierung	62
3.3. Übereinstimmung von Planung und Ergebnis einer speziell geschulten Person in 100 Fällen	67
3.3.1. Übereinstimmung der Halslänge.....	67
3.3.2. Übereinstimmung der Schaftgröße	68
3.3.3. Übereinstimmung des Offsets.....	69
3.3.4. Übereinstimmung der Pfannengröße	70
3.3.5. Übereinstimmung aller vier Parameter.....	71
3.4. Vergleich der Übereinstimmungen der Mitarbeiter der OKS und der speziell geschulten Person	72
3.4.1. Übereinstimmung der Halslänge.....	72
3.4.2. Übereinstimmung der Schaftgröße	72
3.4.3. Übereinstimmung des Offsets.....	72
3.4.4. Übereinstimmung der Pfannengröße	73
3.5. Zusammenfassung der Ergebnisse.....	74
4. Diskussion	75
4.1. Stärken- und Schwächenanalyse.....	76
4.2. Diskussion der Ergebnisse.....	79
4.3. Beantwortung der aufgestellten Hypothesen	89
5. Zusammenfassung	91
6. Abbildungsverzeichnis	94
7. Literaturverzeichnis.....	96

8. Erklärung zum Eigenanteil.....	109
9. Danksagung	110

Abkürzungsverzeichnis

- \pm : plus / minus
- 2D: zweidimensional
- Abb.: Abbildung
- BDSG: Bundesdatenschutzgesetz
- BMI: Body-Mass-Index
- cm: Zentimeter
- CT: Computertomographie
- EPZmax: EndoProthetikZentrum der Maximalversorgung
- kg: Kilogramm
- LDSG: Landesdatenschutzgesetz
- m: Meter
- M.: Musculus
- mDLP: mittleres Dosislängenprodukt
- mGy*cm: Milli-Gray* Zentimeter
- mm: Millimeter
- MTRA: medizinisch-technischer Radiologieassistent
- N.A.: nicht angegeben
- OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development
(Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)
- OKS: Orthopädische Klinik Sindelfingen
- OP: Operation
- s.: siehe
- Sv: Sievert
- TEP: Totalendoprothese
- WOMAC: Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index
(Fragebogen zur Lebensqualität bei Patienten mit Arthrose)

1. Einleitung

Die Implantation von Hüftendoprothesen ist ein chirurgischer Eingriff, bei dem das Hüftgelenk teilweise oder komplett durch ein prothetisches Implantat ersetzt wird [85]. Sie zählt zu den häufigsten und auch erfolgreichsten Operationen überhaupt [5], [86], [93].

Während 2013 in Deutschland 283 künstliche Hüftgelenke pro 100.000 Einwohner und Jahr implantiert wurden, waren dies 2017 bereits deutlich über 300 Implantationen [85]. Aktuell werden somit jährlich bei uns über 200.000 Hüftprothesen eingesetzt [5]. Im internationalen Vergleich liegt Deutschland somit mit an der Spitze [5].

Aber auch in anderen Ländern nimmt die Anzahl endoprothetischer Hüfteingriffe stetig zu. Laut Pabinger et al. verzeichnete ein Großteil der Länder der OECD innerhalb der letzten zwei Jahrzehnte einen deutlichen Anstieg von Hüftprothesenimplantationen um bis zu 23 %, während die Bevölkerung im gleichen Zeitraum nur etwa vier Prozent gewachsen ist [78].

Die Häufigkeit endoprothetischer Eingriffe schwankt zwischen den Ländern. Während in der Schweiz über 300 Eingriffe pro 100.000 Einwohner und Jahr durchgeführt werden, sind dies in Mexiko nur circa acht Hüftendoprothesen pro 100.000 Einwohner und Jahr [78].

Gründe für die Fallzahlsteigerung sind neben dem demografischen Wandel mit steigender Lebenserwartung der Wunsch auch älterer Patienten nach besserer Lebensqualität und höherer Mobilität [15], [37], [88]. Deutlich längere Prothesen-Standzeiten [71] und verfeinerte, gewebeschonende Operationstechniken bedingen auch eine Spektrumsausweitung auf jüngere Altersgruppen. So hat insbesondere der Anteil hüftendoprothetisch versorgter Patienten in der Gruppe der unter 65-jährigen deutlich zugenommen. Hier stieg die Inzidenz innerhalb der letzten zehn Jahre um 35 % [78].

1.1. Indikationen

Unterschiedliche Krankheitsbilder des Hüftgelenkes können die Implantation einer Hüftendoprothese notwendig machen. Allen ist gemein, dass sie mit den Symptomen Schmerz und Funktionseinschränkung einhergehen [18].

1.1.1. Koxarthrose

Die Arthrose ist definiert als häufige degenerative Gelenkerkrankung unterschiedlicher Ätiologie und Pathogenese [36]. Es handelt sich hierbei um eine dynamische, meist langsam fortschreitende, nicht entzündliche Erkrankung, die primär den Gelenkknorpel betrifft. Hauptsächlich gewichtstragende Gelenke der unteren Extremitäten sind von diesem Krankheitsbild betroffen. Klinisch geht die Koxarthrose, wie bereits oben angeführt, mit Schmerzen, Steifigkeit der Gelenke, Gelenkgeräuschen, eingeschränkter Beweglichkeit, gelegentlichem Gelenkerguss und Symptomen lokaler Entzündung einher [115].

Die Schmerzen bei der Koxarthrose treten anfangs nur witterungs- und temperaturabhängig auf, ihr Charakter wird dumpf und bohrend beschrieben. Der Schmerz tritt in den Anfangsstadien als Anlauf-, Bewegungs- und Ermüdungsschmerz auf, im Endstadium dann auch als Ruhe- und Nachtschmerz [6].

Ein weiteres Zeichen der Koxarthrose ist vor allem eine morgens auftretende Gelenksteifigkeit [72]. Außerdem treten Krepitationen als Folge des Gelenkknorpelverlustes auf [63]. Die Einschränkung der Beweglichkeit ist entweder mechanisch oder schmerzreflektorisch bedingt durch Gelenkinkongruenzen, Gelenkkontrakturen und Muskelspasmen. Kommt es zur Aktivierung der Arthrose, entsteht meistens ein Gelenkerguss.

Für die Entstehung der Koxarthrose wird eine Vielzahl unterschiedlicher Ursachen diskutiert. Das Alter scheint eine wesentliche Rolle zu spielen, da sowohl die Prävalenz, als auch der Schweregrad mit erhöhtem Lebensalter zunehmen [115]. Während in der Bevölkerung weniger als zwei Prozent der unter 30-jährigen radiologische Veränderungen im Sinne einer Hüftgelenksarthrose

zeigen, steigt die Prävalenz auf bis zu 50 % bei über 60-jährigen Patienten [83]. Auch geschlechtsgebundene und metabolische Faktoren werden für ein erhöhtes Arthroserisiko diskutiert [83]. Beispielhaft wird bei Diabetikern eine erhöhte Arthrose-Prävalenz gefunden [97].

Insbesondere bei der Koxarthrose kommen Gelenkfehlbildungen, wie zum Beispiel der angeborenen Hüft dysplasie, eine wichtige Bedeutung bei der Entstehung der Erkrankung zu. In Bevölkerungsgruppen mit hoher Hüft dysplasierate werden bis zu 50 % aller Koxarthrosen Hüftreifeungsstörungen zugesprochen [39], [115], [120].

Auch die Epiphysiolysis capitis femoris führt zu einem erhöhten Koxarthroserisiko. Nach Solomon et al. sollen fast ein Drittel der Koxarthrosen durch Epiphysiolysen in der Adoleszenz bedingt sein [104].

Weitere Risikofaktoren für die Entwicklung einer Koxarthrose stellen Deformierungen des Hüftkopfes nach Verletzungen oder im Anschluss an juvenile Osteonekrosen dar. Während für die bilaterale Gonarthrose, insbesondere bei Frauen, das Übergewicht als prädisponierender Faktor identifiziert ist, kann ein Zusammenhang zwischen erhöhtem Körpergewicht und der Entstehung einer Koxarthrose nicht zweifelsfrei nachgewiesen werden [115].

Weiterhin sollen außergewöhnliche berufliche und sportliche Belastungen, die mit repetitiver mechanischer Fehlbelastung des Hüftgelenkes einhergehen, zu einer Inzidenzsteigerung führen [39], [120]. Nach Angaben von Croft et al. soll die Prävalenz der Hüftgelenksarthrose nach 10-jähriger Tätigkeit in der Landwirtschaft deutlich gegenüber einem Vergleichskollektiv erhöht sein [19].

1.1.2. Schenkelhalsfraktur

Neben der Koxarthrose, die in Abhängigkeit vom subjektiven Leidensdruck des Betroffenen die Implantation einer Hüftendoprothese nach sich zieht, kann ganz akut durch einen Schenkelhalsbruch die Versorgung des Hüftgelenkes mit einem künstlichen Implantat notwendig werden. In Deutschland werden jährlich etwa 50.000 Hüftendoprothesen aufgrund einer Schenkelhalsfraktur implantiert [110].

Infolge der demografischen Entwicklung, insbesondere in den Industrienationen, die zu einer zunehmenden Überalterung der Gesellschaft führt, erhöht sich die Inzidenz Osteoporose-bedingter Schenkelhalsfrakturen und damit die Notwendigkeit der hüftendoprothetischen Versorgung weiter [94].

1.1.3. Hüftkopfnekrose

Dieses Krankheitsbild führt in den allermeisten Fällen zur Entwicklung einer sekundären Koxarthrose, die dann die Implantation einer Hüftendoprothese notwendig macht. Aufgrund der hohen Inzidenz dieses Krankheitsbildes und bedingt durch die Tatsache, dass vor allem jüngere, im Arbeitsleben stehende Patienten betroffen sind, ist dieses Krankheitsbild sozioökonomisch sehr bedeutsam. Deshalb wird die Hüftkopfnekrose als ein Krankheitsbild, welches zur Entwicklung der sekundären Koxarthrose führen kann, gesondert aufgeführt.

Die avaskuläre Hüftkopfnekrose tritt mit einer jährlichen Inzidenz von bis zu 7.000 Fällen auf. In circa 80 % führt diese Erkrankung innerhalb eines Zeitraumes von zwei bis fünf Jahren zum Kollaps des Hüftkopfes und damit zur Entstehung einer sekundären, meist behandlungsbedürftigen Koxarthrose [4], [43], [44].

Diese Erkrankung betrifft vor allem vergleichsweise junge Patienten, die aktiv im Berufsleben stehen. Altersgipfel werden zwischen dem 30. und 50. Lebensjahr angegeben. Beim männlichen Geschlecht ist diese Erkrankung etwa viermal so häufig wie beim weiblichen Geschlecht. In bis zu 70 % der Fälle befällt die Erkrankung auch das kontralaterale Gelenk [4], [6], [43], [108].

Bekanntere Ursachen, die zur Entstehung einer Hüftkopfnekrose führen können, sind eine Dauertherapie mit Kortikosteroiden oder Bluterkrankungen, wie beispielhaft die Sichelzellanämie. Aber auch Fettstoffwechselstörungen, Koagulopathien und chronischer Alkoholabusus werden in Zusammenhang mit der Entstehung einer Hüftkopfnekrose gebracht [43], [108].

1.1.4. Rheumatoide Arthritis

Ein weiteres Krankheitsbild, welches zur Entwicklung einer sekundären Koxarthrose führen kann, ist die rheumatoide Arthritis. Aufgrund ihrer Prävalenz und der sozioökonomischen Bedeutung wird sie, wie bereits die Hüftkopfnekrose, als weitere Ursache für die Entstehung einer sekundären Koxarthrose gesondert angeführt. Die rheumatoide Arthritis ist eine Form einer Autoimmunerkrankung, die über eine Antikörperbildung gegen Strukturen der Gelenkinnenhaut zu einer chronischen Entzündung der Gelenke und damit einhergehender zunehmender Zerstörung der Gelenkkomponenten führt [56], [109].

Die Prävalenz der rheumatoiden Arthritis liegt zwischen 0,5 und 0,8 % der Erwachsenen. Junge Frauen sind etwa drei- bis viermal häufiger betroffen als gleichaltrige Männer [116], [122]. Untersuchungen von Burn et al. konnten zeigen, dass trotz medikamentöser Therapie knapp acht Prozent der Betroffenen innerhalb eines Zeitraumes von 15 Jahren aufgrund der Entwicklung einer fortgeschrittenen sekundären Koxarthrose die Implantation einer Hüftendoprothese benötigten [11].

Die Entwicklung krankheitsmodulierender Basistherapeutika, insbesondere der Biologika, hat innerhalb der letzten Jahre zu einem Rückgang der schweren, gelenksdestruierenden Verläufe geführt. Infolge dessen ist auch eine Abnahme der Zahl endoprothetisch zu versorgender sekundärer Koxarthrosen, welche durch die rheumatoide Arthritis bedingt sind, bemerkbar. Nach Angaben der European league against rheumatism (EULAR) soll der Rückgang der Fallzahlen zwischen 1997 und 2010 bis zu 50 % betragen haben [51], [113], [122].

1.2. Historie der Hüftendoprothetik

Erste Versuche, ein zerstörtes Gelenk durch ein künstliches Gelenk zu ersetzen, fanden Ende des 19. Jahrhunderts statt. Themistocles Gluck, ein Berliner Chirurg, versuchte durch Tuberkulose zerstörte Kniegelenke durch künstliche Gelenke aus Elfenbein zu ersetzen. Die Fixierung erfolgte mit Kolophonium und Bimsstein oder Gips. Die unbefriedigenden biomechanischen Eigenschaften seiner Implantate in Verbindung mit den nicht ausreichenden Verankerungstechniken und insbesondere der hohen Infektionsraten ließen seine Versuche frühzeitig scheitern [7], [38].

Bestrebungen, die arthrotisch zerstörten Komponenten am Hüftgelenk zu trennen, führten zur Entwicklung von Interpositionsarthroplastiken. Hier wurden unterschiedlichste Materialien als Interponat zwischen Kopf und Pfanne eingebracht, alle mit recht unzufriedenstellenden Ergebnissen für die Patienten [38].

Eine erste Totalendoprothese aus zwei Stahlkomponenten, die sowohl den Hüftkopf, als auch das Acetabulum ersetzte, wurden in den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts in London durch Phillip Wiles erstmalig implantiert [38], [91], [117].

Weitere Versuche folgten 1952 durch Moore mit der Entwicklung einer Hemiarthroplastik, die lediglich den Hüftkopf, nicht jedoch das Pfannenlager ersetzte. Während er für den Femurkopf eine Legierung aus Chrom-Kobalt nutzte, ersetzten die Brüder Judet, sowie Merle d'Aubigne, den Femurkopf durch Plexiglas. Durch den fehlenden Ersatz der Pfanne kam es bei vielen dieser Systeme zur frühzeitigen ossären Zerstörung des Prothesenlagers und damit zu einem Versagen des Implantates [38].

Der Durchbruch in der Hüftendoprothetik gelang Mitte der 60er Jahre Sir John Charnley mit dem sogenannten „Low-friction-Prinzip“, durch welches Abrieb und Luxationen reduziert werden konnten. Charnley kombinierte hier erstmalig eine zementierte Polyethylenpfanne mit einem zementierten metallischen Schaft, der mit einem fest verankerten metallischen Kugelkopf verbunden war. Dadurch

gelang ihm eine hohe Primärstabilität, verbesserte Krafteinleitung und die sichere Fixierung des Implantates. Er führte Polymethylmethacrylat als verbindende Substanz zwischen Implantat und Knochenlager ein [12], [57], [114], [117].

Die mit der Zementierung der Prothesen einhergehenden Nachteile, insbesondere nach aseptischer Lockerung und notwendigem Wechsel des Prothesenschaftes, führten zur Weiterentwicklung zementfreier Implantat-Systeme, sowohl im Schaft-, als auch im Pfannenbereich. Die stetige Optimierung des Designs zementfreier Prothesen, ebenso wie ihrer Oberflächenbeschaffenheit, führte im weiteren Verlauf zu hervorragenden Standzeiten auch zementfreier Implantate. Hervorzuheben hier ist beispielhaft der von Spotorno und Mitarbeitern entwickelte CLS-Schaft, der Standzeiten von über 98 % nach mehr als 15 Jahren zeigen konnte. Auch im Pfannenbereich wurden zementfreie Implantate entwickelt, die sehr gute Langzeitergebnisse zeigten und den zementierten Implantaten mindestens ebenbürtig sind [121].

Aufgrund der positiven Entwicklung der Standzeiten zementfreier Implantate in Verbindung mit den Problemen, die hauptsächlich durch Auswechslung zementierter Schäfte verursacht werden, ist die Inzidenz der zementfreien Hüftendoprothesen innerhalb der letzten Jahre stetig gestiegen, während der Gebrauch von Zement als Verankerungsmittel von Hüftendoprothesen rückläufig war [34].

1.3. Aktuelle Implantate

Eine Vielzahl verschiedenster Hüftprothesen-Modelle befindet sich derzeit im Einsatz. Diese unterscheiden sich bezüglich des Prothesen-Designs, der Verankerungstechnik sowie der Gleitpaarung.

1.3.1. Prothesendesign

Neben sogenannten Standard-Prothesen, die sich durch intramedullär liegende, bis in die Diaphyse reichende, metallische Stiele auszeichnen, werden auch Schenkelhalsprothesen mit lediglich metaphysärer Schaftverankerung implantiert. Beide Implantatformen folgen unterschiedlichen Design-Philosophien.

Auch die Hüftpfannenmodellen können je nach Design differenziert werden. Neben zu zementierenden Polyethylen-Pfannen, befinden sich zementfreie Pfannenmodelle in Gebrauch, die entweder eingeschraubt oder aber über eine Pressfit-Technik eingepresst werden. Die Ergebnisqualitäten, insbesondere die Standzeiten der Prothesen, unterscheiden sich abhängig vom Prothesentyp und -philosophie teilweise deutlich [31].

1.3.2. Verankerungstechniken

Bezüglich der Verankerungstechnik lassen sich prinzipiell drei Formen unterscheiden. Dazu zählen die komplett zementfreie Implantation, die vollständig zementierte Prothese und eine Hybrid-Version mit zementfreier Pfanne und zementiertem Schaft.

Die Verwendung von Polymethylmethacrylat als Knochenzement zur Fixierung der Prothesenkomponenten ermöglicht die sofortige volle Belastbarkeit des Implantates, eine Teilbelastung ist nicht notwendig. Auch wird durch die enge Verbindung des Knochenzementes mit der femoralen Röhre das Auftreten einer periprothetischen Femurfraktur, bedingt durch schlechte Knochenqualität, deutlich gesenkt [14].

Die beschriebenen Vorteile der zementierten Verankerung spielen im Beckenbereich eine untergeordnete Rolle. Meist kann bis ins hohe Lebensalter im Becken ein zementfreies Implantat sicher verankert werden. Die Ergebnisqualität zwischen zementiertem und nicht zementiertem Pfannenimplantat unterscheidet sich nur unwesentlich. Hier spielen gegebenenfalls eher ökonomische Überlegungen bei der Implantatwahl eine Rolle.

Vorteil der zementfreien Implantation, insbesondere auch im Schaftbereich, ist die sehr hohe sekundäre Stabilität des Implantates. Wie am bereits geschilderten Beispiel des von Spotorno entwickelten CLS-Schaftes können hier lange Standzeiten erzielt werden.

1.3.3. Gleitpaarungen

Ein entscheidender Faktor, der die Standzeit einer Hüftendoprothese wesentlich beeinflusst, ist die zur Anwendung kommende Gleitpaarung und der damit erzielte qualitative und quantitative Abrieb der Prothesenkomponenten.

Ein metallischer Kopf in einem Standard-Polyethylen-Inlay der Pfanne bedingt jährlich hohe Abriebmengen, die mit einer Partikelgröße von durchschnittlich 50 Mikrometer das Makrophagensystem des Körpers maximal aktivieren und damit eine Lockerung der Prothese zur Folge haben. Demgegenüber verursachen Gleitpaarungen aus Keramik oder Gleitpaarungen aus hochvernetztem Polyethylen in Verbindung mit speziellen Keramikköpfen wesentlich geringere Abriebvolumina in Partikelgrößen im Nanometerbereich, die das Makrophagensystem nicht mehr aktivieren. Letztere ermöglichen erst Prothesenstandzeiten, die zwei Jahrzehnte und mehr betragen können [33].

1.4. Komplikationen

Das Langzeitüberleben einer Hüftprothese ist ein entscheidender Faktor für die Patientenzufriedenheit und letztendlich die Lebensqualität. Komplikationen, die zum frühzeitigen Versagen der Hüftprothese führen können und eine Prothesenwechseloperation notwendig machen, sind laut Lübbecke et al. für Patienten massiv belastend, technisch anspruchsvoll und mit hohen Kosten verbunden [3], [68]. Auch ist die Ergebnisqualität nach Prothesenwechseln nicht mit der einer Erstimplantation zu vergleichen. Postler et al. konnten anhand des Lebensqualitäts-Fragebogen WOMAC eine signifikante Verbesserung der Lebensqualität nach Primärimplantation einer Hüftprothese feststellen. Durchschnittlich stieg der Score hier um 41,4 Punkte. Diese Ergebnisse lassen sich im Rahmen von Revisionsoperationen mit Prothesenwechseln selten erreichen. Hier liegt die durchschnittliche Verbesserung lediglich bei 22,1 Punkten [81].

Die jährliche Komplikationsrate nach Implantation einer Hüftendoprothese, die eine Revision nach sich zieht, liegt bei circa einem Prozent [18]. Zu den möglichen Komplikationen gehören aseptische Prothesenlockerung, Infektionen, periprothetische Frakturen, Prothesenluxationen, periartikuläre Ossifikationen und Nervenschäden.

1.4.1. Aseptische Lockerung

Durch Abrieb der Gleitpaarung und Bildung von Mikropartikeln werden Makrophagen aktiviert, die periartikuläre Osteolysen verursachen und damit eine aseptische Lockerung der Prothese zur Folge haben [80], [90]. Diese aseptische Prothesenlockerung tritt bei zementierten Prothesenmodellen zwischen Knochen und Zement auf, bei zementfreien Prothesen zwischen Knochen und Prothese.

Laut Grimberg et al. ist die aseptische Lockerung für über ein Drittel der Komplikationen der Hüftendoprothetik verantwortlich und stellt damit die häufigste Indikation für Folgeeingriffe dar, gefolgt von Infektionen (18,9 %), Luxationen (12,2 %) und periprothetischen Frakturen (11,6 %) [33].

Als Risikofaktoren für die aseptische Prothesenlockerung gelten patientenimmanente Faktoren wie Übergewicht, die Knochenqualität und das Aktivitätslevel des Patienten. Patientenunabhängige Faktoren sind zum einen die Prothese mit ihrem Design, ihrer Verankerungstechnik und der gewählten Gleitpaarung und zum anderen die Durchführung der Operation, die wesentlich von der Erfahrung des Operateurs abhängt [1]. Zudem beeinflusst eine korrekte präoperative Planung des operativen Vorgehens wesentlich das Ergebnis und damit die Standzeit des Implantates [77].

Eine korrekte präoperative Planung, welche die richtige Größe des Implantates und dessen korrekte Positionierung ermöglicht, ist somit von entscheidender Bedeutung, um das Langzeitergebnis zu verbessern.

1.4.2. Infektion

Als weitere Komplikation mit weitreichenden, teils lebensbedrohlichen Folgen für den Patienten gilt die Infektion der Hüftprothese. Hier kann es zu Absiedlungen von Bakterien kommen, die Schleimkapseln bilden und damit der körpereigenen Immunabwehr nicht zugänglich sind. Die Infiltration des umliegenden Weichteilgewebes kann Abszesse und septische Zustände begünstigen. Im Rahmen der Revision der Prothese ist die Sanierung des gesamten Infektgebietes zwingend notwendig, bevor an die Reimplantation einer Wechselprothese gedacht werden kann. Die Maßnahmen sind langwierig und für den Patienten sehr belastend.

Je nach Zeitpunkt des Auftretens von Infektionen nach Implantation der Endoprothese kann zwischen Früh- und Spätinfekt differenziert werden. Beim Frühinfekt, der innerhalb der ersten drei Monate auftritt, wird in der Regel ein Wund-Debridement in Verbindung mit einem Tausch aller beweglichen Prothesenteile durchgeführt. Beim Spätinfekt muss das keimbesiedelte Implantat entfernt werden und kann erst nach radikalem Debridement und begleitender testgerechter Langzeitantibiose gewechselt werden. Ob der

Prothesenwechsel ein- oder zweizeitig durchgeführt werden kann, ist wesentlich von der Sensibilität der gefundenen Keime abhängig [1], [77].

In der Literatur wird eine Inzidenz von Protheseninfekten im ersten Jahr nach Implantation von 0,6 % beschrieben [1], [66], [77]. Das Infektionsrisiko steigt in Abhängigkeit von der Operationszeit. Småbrekke et al. konnten ein deutlich erhöhtes Infektionsrisiko von zementierten Hüftendoprothesen nach einer Operationsdauer über 150 Minuten nachweisen [103].

Auch hier scheint also die sorgfältige präoperative Planung eine Verringerung der Komplikationen zu ermöglichen.

1.4.3. Periprothetische Fraktur

Periprothetische Frakturen können entweder bereits bei der Implantation einer Hüftendoprothese entstehen oder im weiteren Verlauf. Je nach Lokalisation werden periprothetische Frakturen unterteilt. Hier hat sich die Vancouver-Klassifikation durchgesetzt. Sie unterscheidet im Wesentlichen drei Typen in drei Typen:

Typ A auf Höhe des Trochanter majors,
Typ B im Bereich des Prothesenstiels,
Typ C unterhalb der Prothesenspitze [37].

Laut Faschingbauer et al. treten bei 0,3 % der zementierten und bei 5,4 % der zementfreien primären Hüftprothesen periprothetische Frakturen auf. Hinzu kommen in einem von 100 Fällen eine periprothetische Fraktur nach Sturzereignis im weiteren Verlauf [29]. Der Trend hin zu minimal-invasiven Zugängen führte anfänglich zu einer signifikanten Zunahme periprothetischer Frakturen aufgrund der eingeschränkten Übersicht bei der Präparation des Femurschaftes [37].

Ursächlich für intraoperative Frakturen können falsch gewählte Raspelgrößen sein, die bereits beim Versuch des Einschlagens die femorale Röhre sprengen können [77].

Daher ist neben der sorgfältigen Operationstechnik eine gute präoperative Planung wesentlich entscheidend, um diese Komplikation zu verhindern [118].

1.4.4. Luxation

Prothesenluxationen stellen eine der häufigsten Komplikationen nach Implantation von Hüfttotalendoprothesen dar und sind für den Patienten hochschmerzhaft. Anhand des Schottischen Prothesenregisters treten diese nach 1,9 % der Primäreingriffe auf [75]. Das Risiko einer Luxation erhöht sich nach Prothesenwechsel-Operationen laut Decking et al. sogar auf 14 % [23]. Woo und Morrey konnten zeigen, dass knapp 60 % der Luxationen in den ersten drei Monaten nach Implantation eines Hüftgelenkes auftreten, 77 % der Luxationen im ersten Jahr nach dem Protheseneinbau [54].

Ursache für eine Luxation kann einerseits ein traumatisches Ereignis sein, meist in Verbindung mit einer nicht ganz optimalen Positionierung der Prothese. Eine zu steil stehende Pfanne mit einem vergrößerten Inklinationwinkel kann bei Adduktion des gestreckten Beines zur Luxation führen. Außerdem kann eine zu ausgeprägte Retroversion der Pfanne in Verbindung mit nicht genügender Weichteilspannung eine Luxation nach dorsal begünstigen. Des Weiteren gelten zu kleine Hüftköpfe als Risikofaktor für Luxationen, da die sogenannte „Jumping-Distanz“, welche die Distanz vom Pfannenzentrum bis zum Pfannenrand beschreibt, klein ist und somit schnell überwunden werden kann [21], [46], [106]. Die korrekte Implantation einer Hüftendoprothese erfordert einen hohen Trainingsstand. Laut einer Studie von Hedlundh et al. werden Luxationen bei weniger erfahrenen Operateuren häufiger beobachtet [41].

Zur Vermeidung ist eine gute primäre Planung mit Einbringen der korrekten Komponenten und Größen unabdingbar [77].

1.4.5. Ossifikation

Nach Implantation einer Hüftendoprothese kann es im postoperativen Verlauf zu Knochenneubildungen in der periartikulären Muskulatur kommen. Diese Knochenneubildungen werden heterotrope Ossifikationen genannt. Sie verursachen Schmerzen und im weiteren Verlauf Funktionseinschränkungen des Gelenkes [61].

Als Risikofaktoren der Ossifikationsentstehung gelten neben patientenimmanenten Faktoren wie dem Alter und dem männlichen Geschlecht Erkrankungen aus dem rheumatischen Formenkreis, wie beispielsweise die ankylosierende Spondylitis. Prophylaktisch werden nicht-steroidale Antirheumatika eingesetzt. Bei Kontraindikationen hierfür, wie eingeschränkter Nierenfunktion, koronarer Herzerkrankung oder anamnestisch Magen-Darm-Blutungen, wird perioperativ eine Strahlentherapie durchgeführt [23], [61], [67]. Anhand der radiologischen Bildgebung werden Ossifikationen nach Brooker et al. in vier Grade eingeteilt. Vor allem die klinisch relevanten Grade III und IV bedürfen oft einer operativen Ablation und machen laut Decking et al. etwa zehn Prozent aus [23]. Ohne Ossifikationsschutz steigt die Rate der Verknöcherungen im Rahmen einer Hüftendoprothesen-Implantation dramatisch. Łęgosz et al. geben Ossifikationsraten nach bis zu 90 % der Totalendoprothesen der Hüfte an [67]. Laut Kölbl et al. ist bei 30 % dieser Patienten aufgrund der Gelenksteife und Funktionseinschränkungen eine Revisionsoperation mit Auswechslung der Prothese nötig [61].

Eine präoperative Planung kann diese Komplikationen hier jedoch nicht wesentlich beeinflussen.

1.4.6. Nervenschäden

Während des operativen Eingriffs kann es durch Hakenzug, austretenden Zement, Hämatombildung und ausgeprägten Zug am Bein zu Nervenläsionen kommen. Pulido et al. beschreiben bei vier Prozent der primären Hüftprothesen-Implantationen Nervenläsionen, die oft mit einem bleibenden motorischen Defizit

einhergehen (Decking et al.). Mit bis zu 80 % der Nervenläsionen ist der Nervus ischiadicus laut Decking et al. besonders häufig betroffen, insbesondere im perinealen Bereich. In Abhängigkeit vom Zugangsweg, dem Sitz acetabulärer Schrauben und der Positionierung der Haken können auch Läsionen des Nervus femoralis und seltener des Nervus obturatorius auftreten. Häufig sind neben sensiblen Defiziten vor allem motorische Ausfälle im Endversorgungsgebiet des Nervus ischiadicus, also der tibialis- und fibularis-innervierten Muskulatur, die mit Fußsenker- und Fußheberpareesen einhergehen [23], [82].

Eine gute präoperative Planung, die beispielsweise das Risiko einer zu starken Beinverlängerung mit möglicher Nervenschädigung minimiert, ist daher auch hier von großem Vorteil.

1.5. Präoperative Planung

Die präoperative Planung einer Endoprothese hat entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisqualität der Operation [30]. Durch eine gewissenhafte Planung kann bereits im Vorfeld der Operation sowohl das Rotationszentrum mit korrektem Offset, als auch die Positionierung und Größe der Pfanne und des Schaftes bestimmt werden. Somit soll das stabile, luxationsgesicherte Einbringen der Prothese mit symmetrischer Beinlänge garantiert werden [32].

Bereits eine geringe Unterdimensionierung der Schaftprothese beeinflusst insbesondere bei der Wahl zementfreier Implantate langfristig die Ergebnisqualität. Zwar heilen diese Prothesen in der Regel ein, sie können jedoch im weiteren Verlauf Frühlockerungen bedingen [60], [98].

Die präoperative Planung einer Hüftendoprothese kann analog mittels transparenter Schablonen erfolgen, die direkt auf das präoperative anterior-posteriore Röntgenbild des Beckens aufgelegt werden [32], [107]. Hier können anschließend jeweils die Größe der Pfannenkomponente und die Schaftgröße bestimmt werden, sowie deren Positionierung [30]. Ein Nachteil der Planung mittels Schablonen kann eine fehlende Kalibrierung des Röntgenbildes

darstellen, die eine projektionsbedingte Größenvarianz nicht berücksichtigt [32]. Außerdem variieren die Vergrößerungsfaktoren der Schablonen je nach Prothesenhersteller zwischen 100 und 120 Prozent. Dies kann eine Unter- oder Überdimensionierung der gewählten Implantate zur Folge haben [32].

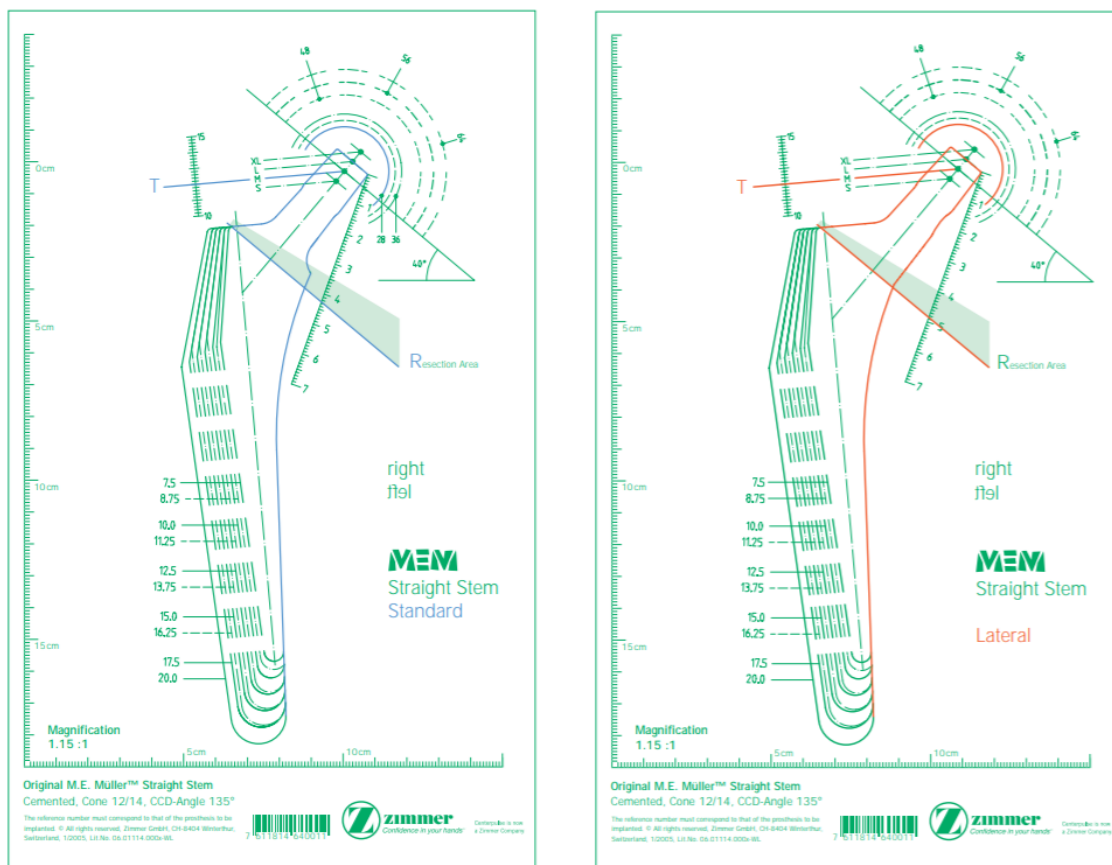


Abbildung 1: Schablonen für den Müller-Geradschaft mit Standard- und lateralisiertem Offset [30]. Nach Einführung des digitalen Röntgensystems ist es auch möglich, Implantatgrößen und -positionierungen direkt digital mit dem Computer zu planen [42]. Voraussetzung hierfür ist eine Kalibrierung der Röntgenbilder, um projektionsbedingte Größenverzerrungen zu vermeiden. Um Röntgenbilder und digitale Schablonen skalieren zu können, wird bei der Durchführung der Röntgenaufnahme standardisiert auf Gelenkhöhe eine röntgendichte Kugel mit fest definierter Größe positioniert [25]. Damit lässt sich eine Kalibrierung des Röntgenbildes und dadurch eine korrekte Bestimmung von Schaft- und Pfannengröße errechnen [50], [74].

Trotz digitaler Planung werden noch immer größere Abweichungen von der geplanten zu der tatsächlich implantierten Prothese beschrieben. Knight und Atwater konnten zeigen, dass bei nur etwa 62 % der Hüftpfannen, sowie bei 78 % der zementierten und 42 % der zementfreien Schäfte die Planung mit dem postoperativen Ergebnis übereinstimmte [59].

Riddick et. al. kamen in dem von ihnen untersuchten Patientenkollektiv zu ähnlichen Ergebnissen. Nur 53 % der geplanten Pfannen und 49 % der geplanten Schäfte wurden letztendlich auch so implantiert [89].

Auch bezüglich der präoperativ geplanten Beinlänge, des Offsets, sowie der Schaftpositionierung werden in der Literatur Abweichungen beschrieben. Beispielhaft findet sich in der Untersuchung von Höhle et al. bei 191 hüftendoprothetisch versorgten Patienten eine Abweichung der geplanten Beinlänge von durchschnittlich 4,2 mm, einer Offset-Abweichung im Mittel von ebenfalls 4,2 mm, sowie eine vermehrte Varus- oder Valguspositionierung des Schaftes von 5,4 Grad [45].

Eine Verbesserung der Planungsqualität ist mittels dreidimensionaler Planung nach Durchführung eines Computertomogramms denkbar. Mithilfe einer speziellen Software soll hier laut Wako et al. millimetergenau geplant werden können [17]. Wegen der nicht zu tolerierenden hohen Strahlenbelastung ist diese Planungsmethode jedoch allenfalls komplexen dysplastischen Hüftversorgungen vorbehalten [100].

Dass die dreidimensionale digitale Planung bessere Ergebnisse vorweisen kann, zeigen exemplarisch Studien. Sesselmann et. al. konnten an einem Kollektiv von 20 Patienten mithilfe einer 3D-Messung in 90 % der Fälle die Prothese auf \pm eine Größe genau vorhersagen. Bei Verwendung einer zweidimensionalen Planung war hier die Genauigkeit nur 79 % [100].

Sariali et al. verglichen ebenfalls eine zweidimensionale mit einer dreidimensionalen Planung bei jeweils 30 Patienten. Schaft und Pfanne wurden im Rahmen der zweidimensionalen Planung nur in 43 % und in der 3D-Planung in 96 % richtig dimensioniert [96].

Eine genaue und richtige präoperative Planung ist daher sehr wichtig, um eine Fehldimensionierung der Implantate und damit schlechte klinische Ergebnisse zu vermeiden.

1.6. Fragestellung

Im Rahmen der Dissertation soll überprüft werden, wie zuverlässig die digitale präoperative zweidimensionale Hüftprothesenplanung das postoperative Ergebnis abbildet.

Hierbei sollen an 533 Hüftprothesen-Implantationen, die im Endoprothesenzentrum Südwest der Orthopädischen Klinik Sindelfingen im Jahr 2018 durchgeführt wurden, retrospektiv die Kernparameter einer korrekten Pfannen- und Schaftpositionierung prä- und postoperativ gemessen und miteinander verglichen werden. Hierzu gehören:

- die Größe der Pfanne sowie des Schaftes
- das Offset des Schaftes und
- die Länge des Prothesenhalses

Weiterhin soll anhand deskriptiver Statistik überprüft werden, ob die gewonnenen Ergebnisse durch patientenimmanente Parameter wie Alter, Geschlecht und Gewicht, sowie durch weitere Parameter wie Verankerungsart der Prothese und Erfahrung des Operators, beeinflusst werden.

Anhand eines Teilkollektivs von 100 Hüftprothesenimplantationen soll die Reliabilität der digitalen präoperativen Hüftprothesenplanung überprüft werden. Hierzu erfolgt eine erneute Planung dieser 100 Fälle durch lediglich eine gezielt geschulte Person. Ihre Ergebnisse werden anschließend sowohl mit den postoperativen Ergebnissen, als auch mit den bereits zuvor erfolgten Planungsparametern des Teilkollektivs verglichen.

Folgende Hypothesen sollen geprüft werden:

- Die präoperativen Messparameter unterscheiden sich von den tatsächlichen postoperativen Werten.
- Die vorhandenen Abweichungen sind abhängig von den patientenimmanenten Parametern, der Wahl der Prothesenverankerung und der Erfahrung des Operators.
- Die präoperativen Endoprothesen-Planungen variieren in Abhängigkeit vom Betrachter.

2. Material und Methoden

2.1. Patientenkollektiv

In diese retrospektive Studie wurden insgesamt 533 konsekutive Patienten einbezogen, die im Jahr 2018 in der Orthopädischen Klinik Sindelfingen mit einer primären Endoprothese der Hüfte versorgt worden waren. Ausgeschlossen wurden solche Patienten, deren Unterlagen wie präoperatives und postoperatives Röntgenbild, OP-Bericht und OP-Dokumentation mit Nachweis der implantierten Komponenten unvollständig waren.

2.2. Implantate

Die in den Operationen verwendete Kopfgröße wurde entsprechend der Pfannengröße gewählt. Bei einer Pfannengröße bis 48 wurde ein 28 mm großer Hüftkopf verwendet, bei größeren Pfannen wählte man die 32 mm große Kopfprothese. Die Länge des Prothesenhalses variierte zwischen kurz, mittel, lang und extralang. Hinsichtlich des Schaftes standen der zementfreie Avenir-Schaft (Größe 1-8), der zementierte Müller-Schaft (Größe 7.5, 8, 10, 11.25, 12.5, 13.75, 15, 16.25 und 17.5), der CLS-Schaft (Größe 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11.25, 12.5, 13.75, 15, 16.25, 17.5 und 20) und der Wagner-Schaft (Größe 125, 135, 190, 225, 265 und 305) zur Auswahl. Bei der Pfanne ließ sich ebenfalls zwischen einer zementfreien Variante der Marke Alofit und einer zementierten Müller-Pfanne unterscheiden (beide jeweils in 2er Schritten in den Größen 42 bis 64).

2.3. Operationstechnik

Als Standardzugang wurde durchweg ein minimal-invasiver antero-lateraler Zugang in Seitenlage verwendet. Dies selbst dann, wenn im Rahmen der Operation einliegendes Metall zusätzlich entfernt werden musste.

Der Vorteil bei minimal invasiven Zugängen ist, dass die Muskulatur deutlich weniger traumatisiert wird, da durch vorbestehende Muskellücken eingegangen wird. Das Risiko für neurovaskuläre Komplikationen ist damit wesentlich geringer. Viele Untersuchungen zeigen bei minimal invasiven Zugängen eine deutliche Überlegenheit in der Frühphase bezüglich Mobilität, Schmerzen, Funktion und Blutverlust. Mittel- und langfristig sind die Ergebnisse gleich. Allerdings benötigt der Operateur für diese Technik viel Erfahrung und spezielle Instrumente [53], [55], [84], [111].

Für die Operation in Seitenlage steht der Operateur vor dem Patienten, der hintere Teil des Tisches wird entfernt und der Patient wird fixiert. Der Hautschnitt erfolgt am Trochanter major in Richtung Spina iliaca anterior superior. Dabei orientiert man sich am Septum intermusculare zwischen M. gluteus medius und M. tensor fasciae latae. Anschließend wird die Faszie durchtrennt und mit Hohmann-Hebeln die Sicht auf die Gelenkkapsel freigelegt. Daraufhin kann man die Kapsel T-förmig öffnen und mit einer oszillierenden Säge zwischen Schenkelhals und Hüftkopf osteotomieren, sowie das heraus geschnittene Segment entfernen. Aufgrund des kleinen Zugangs muss hier besonders auf den Schutz der umliegenden Weichteile geachtet werden. Mithilfe von speziellen Fräsen wird das Acetabulum präpariert und die Pfanne anschließend implantiert. Das Bein wird nun außenrotiert, adduziert und hyperextensiert, um den Prothesenschaft implantieren zu können. Die Gelenkkapsel kann falls möglich mit wenigen Nähten verschlossen werden und auch der restliche Wundverschluss von Faszie, Subkutangewebe und Haut erweist sich aufgrund der minimalen Invasivität als einfach. Muskelnähte sind nicht nötig [14], [92], [93].

2.4. Studienablauf

Für diese Arbeit wurden retrospektiv alle Patienten eingeschlossen, die im Jahr 2018 in der Orthopädischen Klinik Sindelfingen des Klinikverbund Südwest mit einem primären hüftendoprothetischen Gelenkersatz versorgt wurden. Mithilfe der Patientenakten konnten Geschlecht, Alter zum Zeitpunkt der Operation, Gewicht, Größe und folglich Body-Mass-Index ($BMI = \text{Gewicht} / \text{Körpergröße}^2$), sowie Angaben zum Operateur (Chefarzt, Oberarzt, Assistenzarzt) ermittelt werden. Anhand der OP-Dokumentation, des OP-Berichtes und den postoperativen Röntgenbildern der tief eingestellten Beckenübersichtsaufnahme konnten außerdem die verwendeten Implantate bezüglich Hersteller, Größe und Positionierung von Prothesenhals, Schaft und Pfanne erfasst werden.

Die Daten wurden in Excel tabellarisch festgehalten, um sie später mit SAS OnDemand for Academics (Version 3.8) statistisch auswerten zu können.

Mit der Mess-Software MediCAD und dem Programm IMPAX EE (Agfa HealthCare GmbH) wurden außerdem die präoperativen Röntgenbilder eines Teilkollektivs von 100 konsekutiven Patienten überprüft. Hierzu wurde die präoperative Planung der 100 Fälle am Computer in der Ambulanz der OKS erneut durch lediglich eine in das Programm speziell geschulte Person (Doktorandin) wiederholt. Ihre Ergebnisse wurden anschließend sowohl mit den postoperativen Ergebnissen, als auch mit den bereits zuvor erfolgten Planungsparametern des Teilkollektivs verglichen.

2.5. Datenerhebung

Die für die präoperative Planung notwendigen Röntgenaufnahmen der Hüfte wurden mit einer Eichkugel von 25 mm Größe durchgeführt. Die Kugel wurde dabei auf Höhe der Hüftgelenke zwischen den Beinen positioniert und bei Innenrotation der Beine eine Beckenübersichtsaufnahme angefertigt (s. Abb. 2).



Abbildung 2: Röntgenuntersuchung mit Eichkugel zwischen den Beinen.

Liegt die Referenzkugel nicht in der gleichen Ebene wie das Hüftgelenk, führt dies entsprechend des Strahlengesetzes zu projektionsbedingten Größenabweichungen. Der Abstand vom Röntgenstrahl zur Röntgenplatte betrug standardisiert 115 cm. Wenn die Referenzkugel plan auf die Unterlage aufgebracht wird, ist der Vergrößerungsfaktor 0 und die Kugel bildet sich mit 25 mm auf der Röntgenaufnahme ab. Liegt die Kugel 10 cm höher, bildet sie sich aber bereits mit 27,38 mm ab und 15 cm höher mit 28,75 mm (s. Abb. 3) [105]. Bei falscher Positionierung sind demnach 10 % Messfehler durch die Projektion möglich. Daher ist auf eine exakte Ausrichtung zu achten.

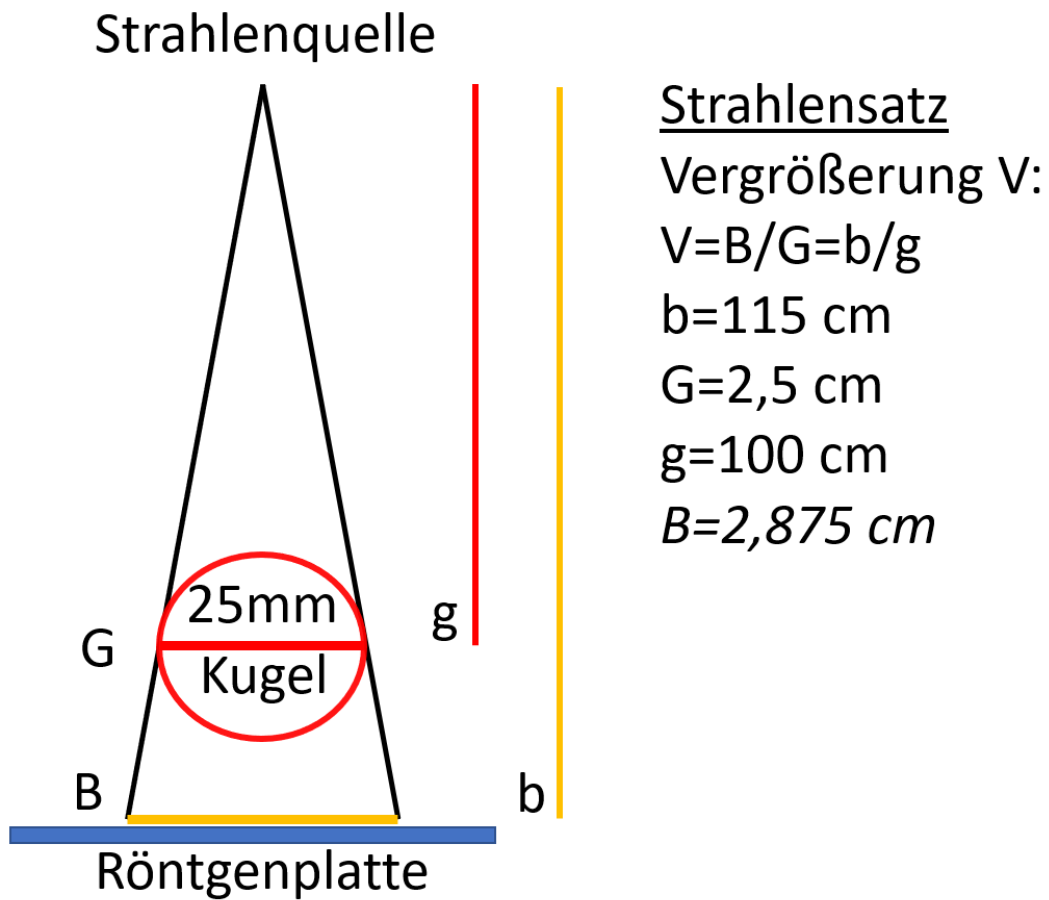


Abbildung 3: Projektionsbedingte Größenabweichung bei Variieren des Abstandes von Strahlenquelle zur Röntgenplatte.

Präoperativ wurde eine Röntgen-Beckenübersichtsaufnahme in oben beschriebener Technik auf dem Bucky Röntgentisch durchgeführt (s. Abb. 4).



Abbildung 4: präoperative Becken-Röntgenaufnahme, weiblich, 70 Jahre alt.

Die präoperativen Röntgenbilder wurden auf dem digitalen PACS Röntgensystem der Firma Agfa an einem Arbeitsplatz in der orthopädischen Ambulanz in die MediCAD-2D-Software der Firma Hectec eingelesen (s. Abb. 5, 6).

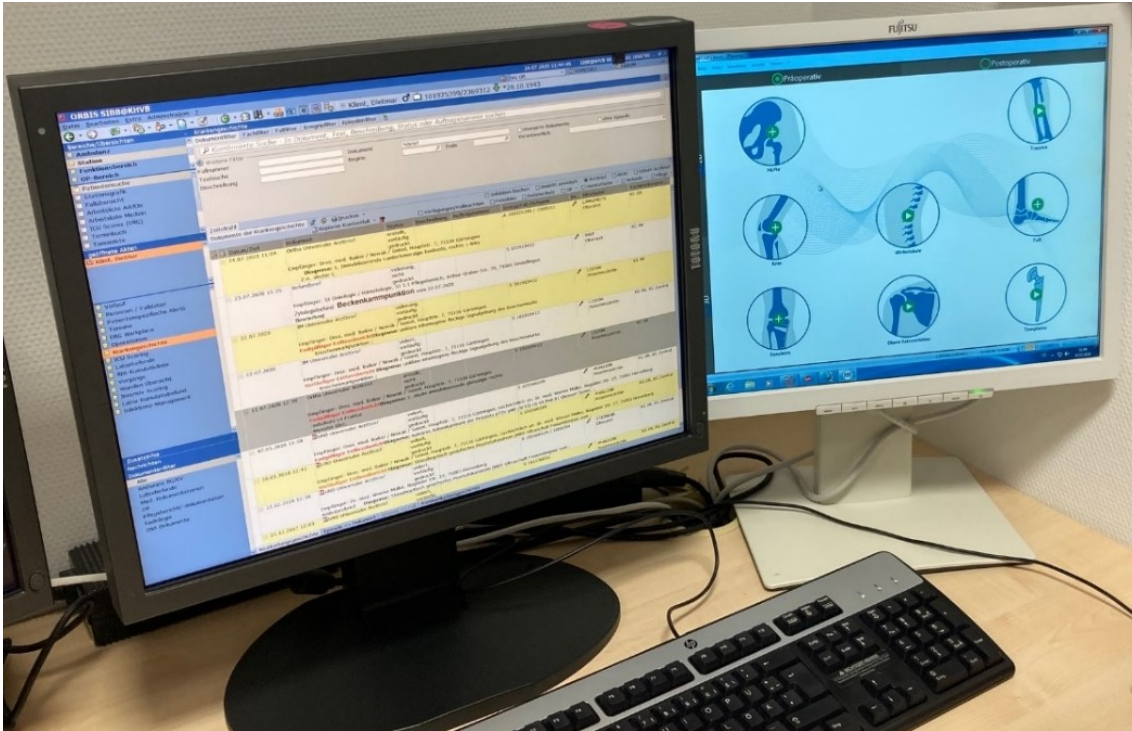


Abbildung 5: Arbeitsplatz zur präoperativen Planung.

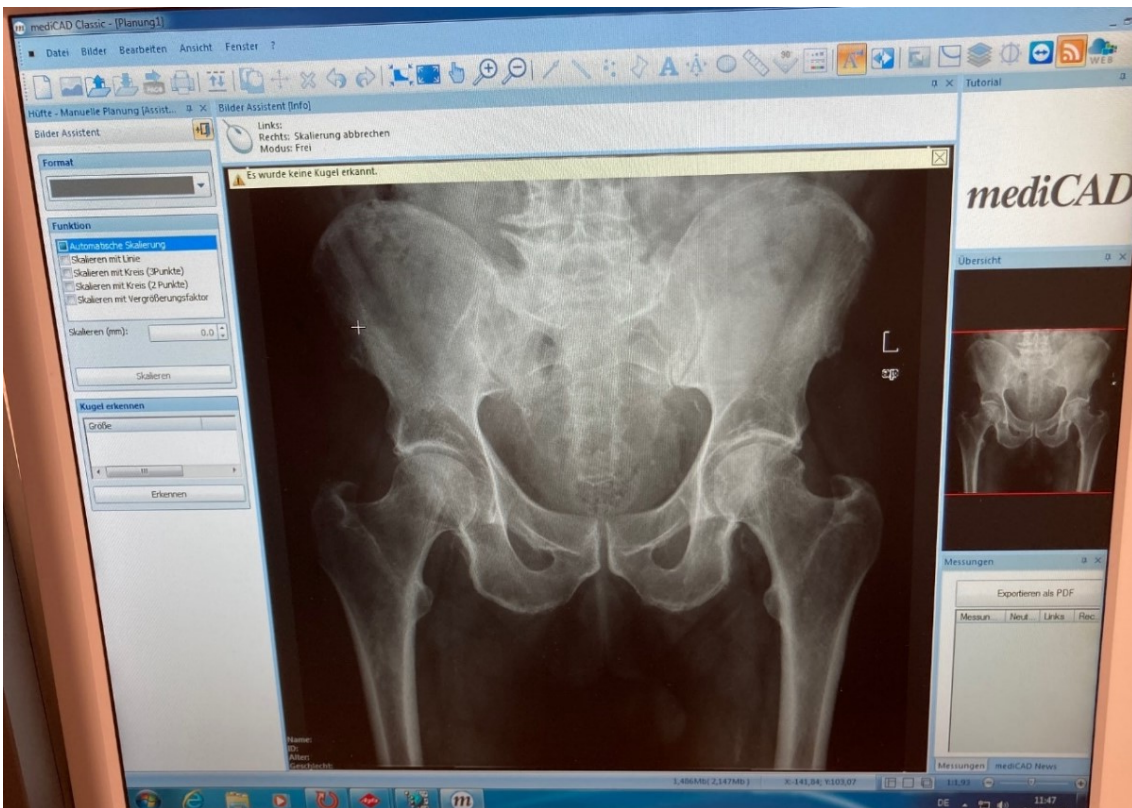


Abbildung 6: Import des präoperativen Röntgenbildes in MediCAD.

In MediCAD wurde nach Kalibrierung mit der Messkugel zunächst der Hüftgelenkmittelpunkt mithilfe eines Kreises über drei Punkte bestimmt. Durch Bestimmung der Markraumgrenzen des Femurs mit je zwei Punkten proximal und distal zeichnete das Programm die Femurschaftachse ein. Als nächstes wurde die Höhe der Osteotomie festgelegt und der Femurschaft digital ausgeschnitten. Über eine Verbindungslinie zwischen rechtem und linkem Trochanter major, sowie der beiden Tubera ischiadica konnte eine eventuelle Beinlängendifferenz ermittelt und bereits in die Planung integriert werden (s. Abb. 7).

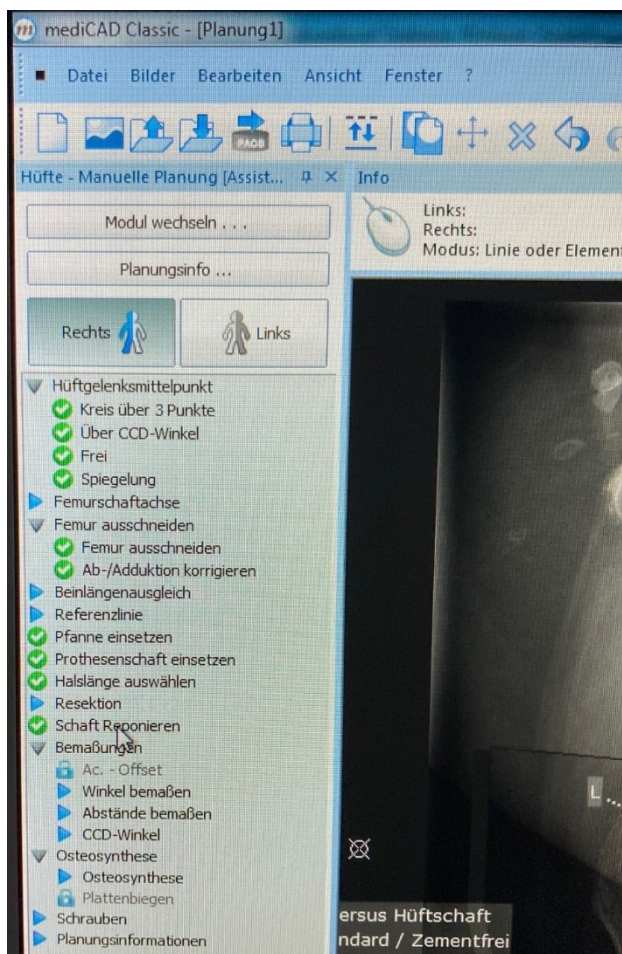


Abbildung 7: Arbeitsschritte zur korrekten vollständigen Implantatbestimmung.

Anschließend konnte das Pfannenimplantat orientierend am Hüftgelenkmittelpunkt eingesetzt und die Größe bestimmt werden. Analog wird mit der Prothese des Schaftes vorgegangen, wobei wahlweise im Seitenvergleich das Offset der Prothese verändert werden konnte. Zum Schluss wurde zum Ausgleich der korrekten Beinlänge die Halslänge bestimmt (s. Abb. 8).

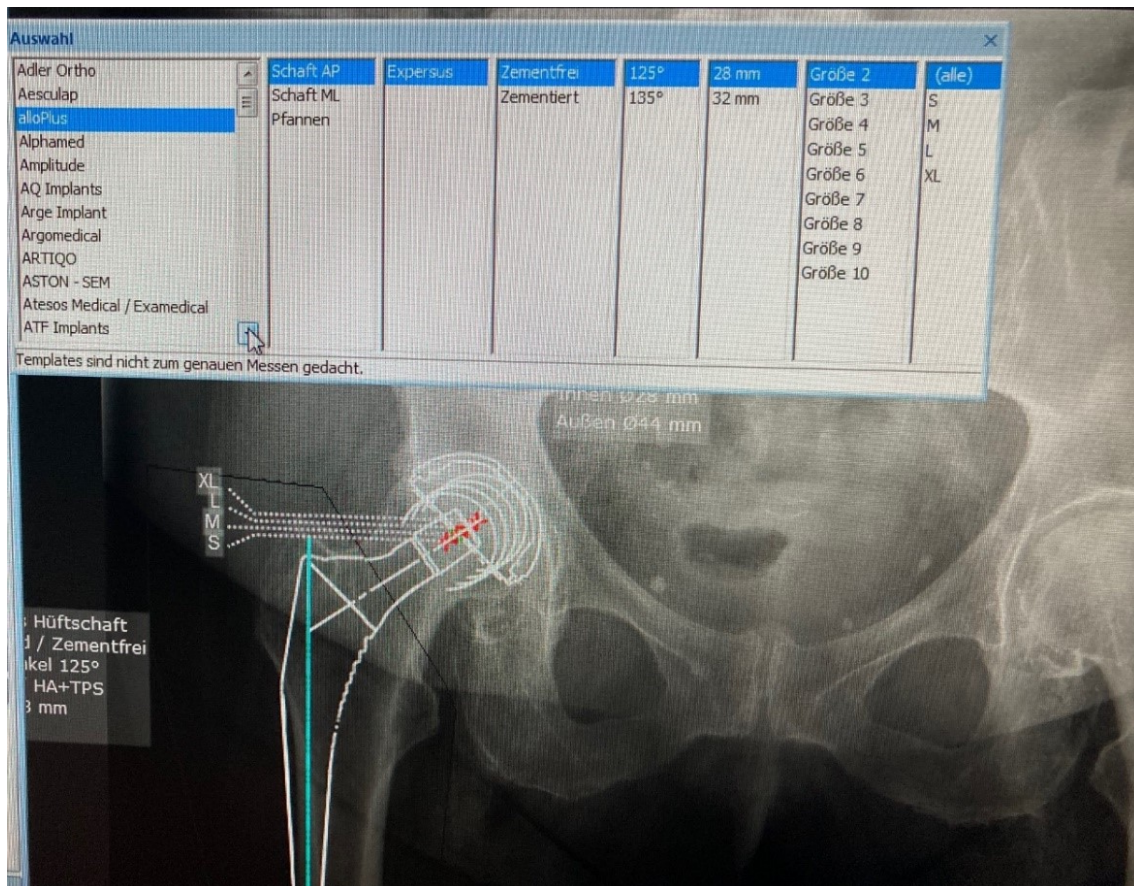


Abbildung 8: Auswahlmöglichkeiten der Implantate von verschiedenen Herstellern und in allen vorhandenen Größen.

Das abschließende Planungsrontgenbild mit Angabe der ausgemessenen Parameter für Pfannen-, Hals- und Schaftgröße konnte nun digital abgespeichert und in der Krankenakte hinterlegt werden, damit das Planungsbild im OP-Saal zur Verfügung stand. Die gemessenen Größen wurden am Tag vor der Operation in der OP-Planung hinterlegt. Im Vorfeld erfolgte eine Kontrolle durch Ober- oder Chefarzt.

Hier ergab die präoperative Planung ein Avenir-Schaft Größe 5 Standard, eine Allofit-Pfanne Größe 52, Halslänge S (hier als „Kopf“ bezeichnet) (s. Abb. 9).

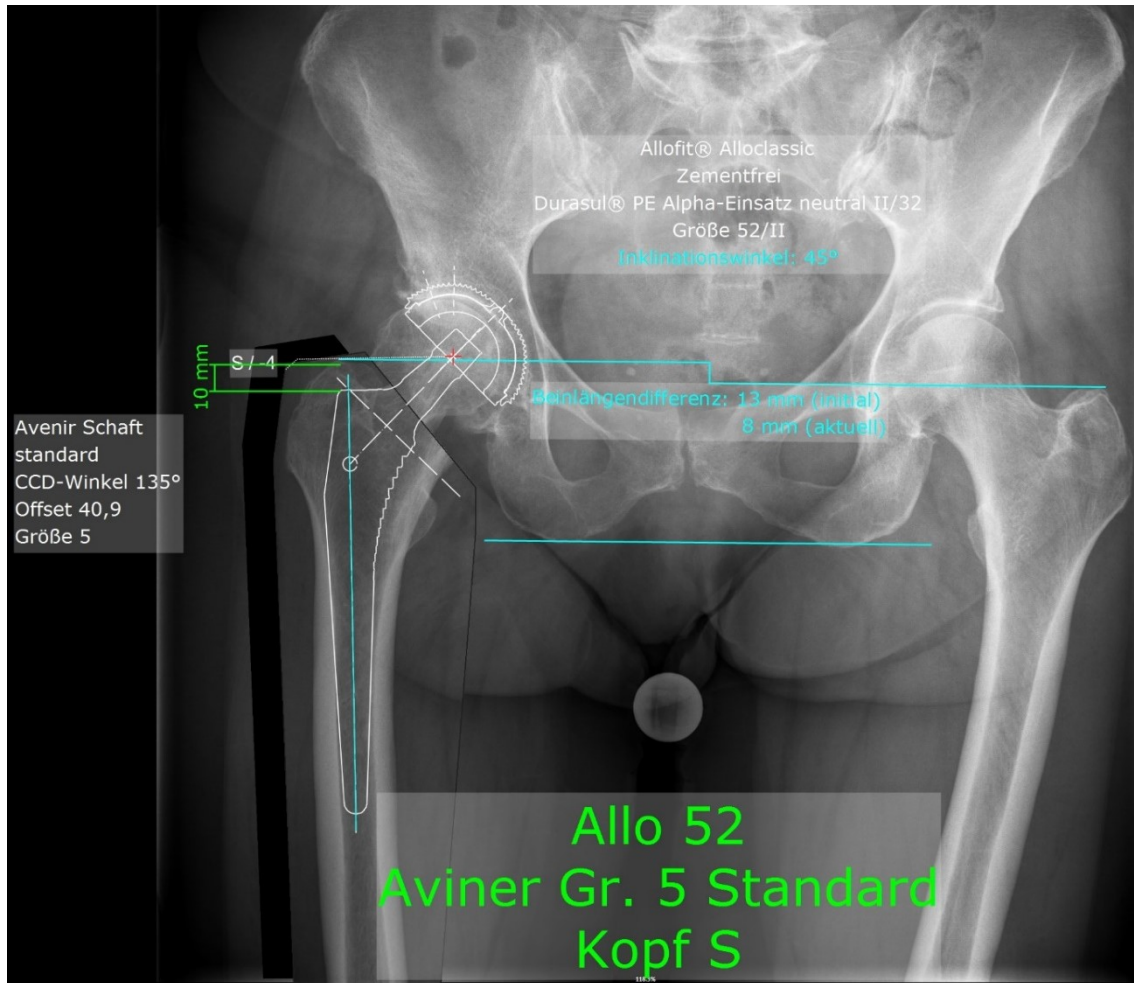


Abbildung 9: endgültige präoperative Planung, weiblich, 70 Jahre alt.

Die präoperative Planung wurde dann mit dem OP-Bericht und dem postoperativen Röntgenbild verglichen und die Ergebnisse in Excel-Tabellen dokumentiert (s. Abb. 10).



Abbildung 10: postoperatives Röntgenbild, weiblich, 70 Jahre alt.

In diesem Beispiel wurde der geplante Avenir-Schaft 5 und die geplante Halslänge S eingebracht, aber bei der Pfanne wurde eine um zwei Größen größere 56er Allofit-Pfanne eingesetzt.

2.6. Statistische Analyse

Die erhobenen Daten wurden anonymisiert in Excel dokumentiert. Die statistische Auswertung fand mit SAS OnDemand for Academics (Version 3.8) statt.

Die Geschlechterverteilung wurde anhand von absoluten und relativen Häufigkeiten erfasst. Die Verteilung von Alter und BMI der Patienten wurden mithilfe des Mittelwerts berechnet, sowohl für das gesamte Kollektiv, als auch für Männer und Frauen separat. Die Erfahrung des Operateurs wurde in die Gruppen Chefarzt, Oberarzt und Assistenzarzt eingeteilt und ebenfalls in absoluten und relativen Häufigkeiten angegeben. Analog wurde mit der Unterteilung der Fixierung in zementiert, Hybrid und zementfrei vorgegangen.

Die Übereinstimmung der präoperativ geplanten und der tatsächlich implantierten Prothesenkomponenten wurde für Hals-, Schaft- und Pfannengröße, sowie für das Offset ebenfalls in absoluten und relativen Häufigkeiten angegeben und die entsprechende Abweichung numerisch festgehalten. Um zu prüfen, ob die Abweichungen der einzelnen Komponenten abhängig von Alter, Geschlecht, BMI, Operateur und Art der Fixierung sind, wurden jeweils zwei kategorialen Variablen gegeneinander in einer Kreuztabelle eingetragen und ein Chi-Quadrat Unabhängigkeitstest angewendet. Sofern eine Abhängigkeit zwischen den Variablen festgestellt werden konnte, wurde anschließend der Phi-Koeffizient bestimmt, um die Stärke des Zusammenhangs zu quantifizieren [87].

Analog wurden die präoperative Planung und das postoperative Ergebnis des Teilkollektivs von 100 konsekutiven Patienten analysiert, welche von einer speziell geschulten Person (Doktorandin) erneut geplant wurde. Diese Ergebnisse wurden anschließend mithilfe eines t-Tests für abhängige Stichproben mit den Ergebnissen der OKS aus dem Jahr 2018 verglichen und die Mittelwerte der beiden Messungen auf Signifikanz getestet. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde mit $p < 0,05$ festgelegt.

3. Ergebnisse

3.1. Deskriptive Statistik

3.1.1. Geschlechter-, Alters-, und BMI- Verteilung

Das für diese Studie zugrundeliegende Patientenkollektiv setzte sich aus 533 Patienten zusammen, die im Jahr 2018 in der OKS eine primäre Endoprothesenimplantation der Hüfte erhalten haben. Dabei waren 287 der Patienten weiblich (53,8 %) und 246 männlich (46,2 %).



Abbildung 11: Geschlechterverteilung.

Das Durchschnittsalter aller Patienten betrug 70,15 Jahre. Die weiblichen Patienten waren im Durchschnitt 71,87 Jahre alt, wobei die jüngste Patientin 35 Jahre alt war und die Ältteste 95 Jahre. Die männlichen Patienten waren im Durchschnitt 68,15 Jahre alt, wobei der jüngste Patient hier 21 Jahre alt war und der Ältteste 90 Jahre.

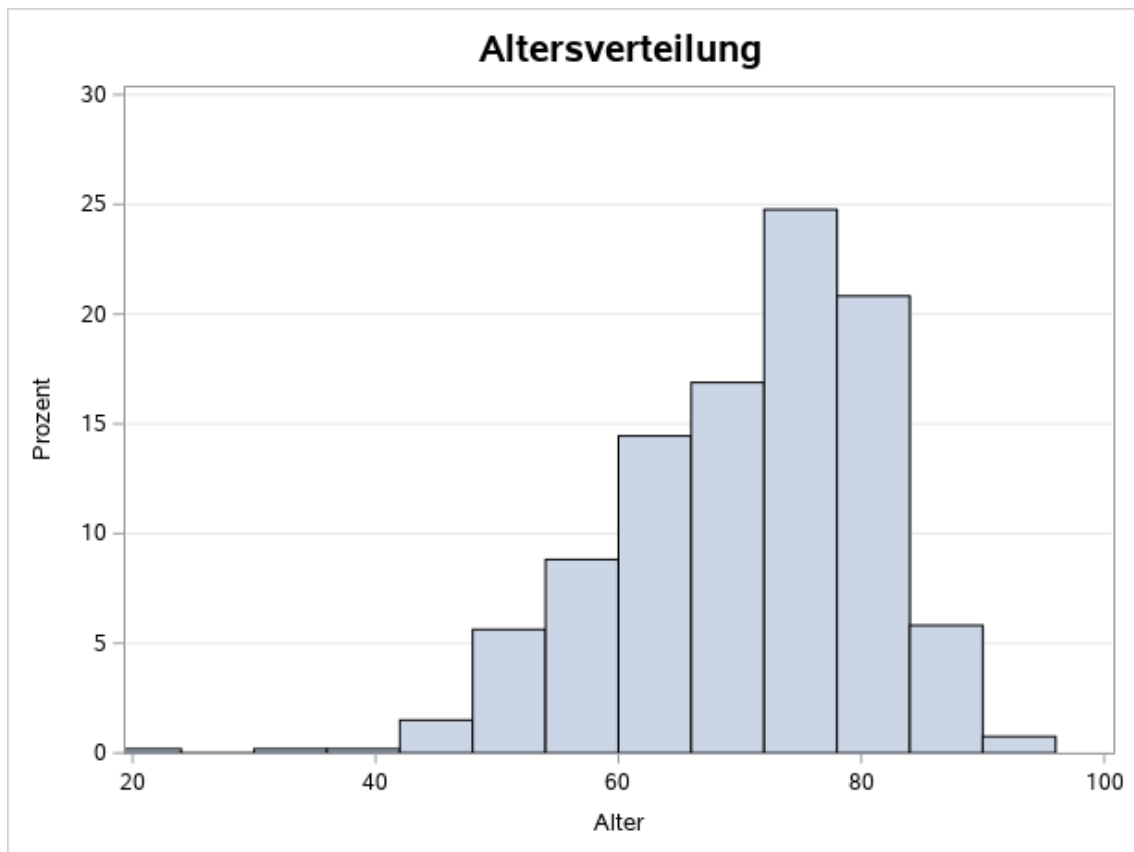


Abbildung 12: Altersverteilung.

Der Mittelwert der BMI-Werte der Patienten betrug 27,48 kg/m². Bei den Frauen lag der durchschnittliche BMI bei 26,95 kg/m², wobei der niedrigste BMI bei 16,8 kg/m² und der Höchste bei 49,5 kg/m² lag. Bei den Männern dagegen lag der durchschnittliche BMI bei 28,10 kg/m², wobei der niedrigste BMI hier 20,4 kg/m² und der Höchste 45,0 kg/m² betrug.

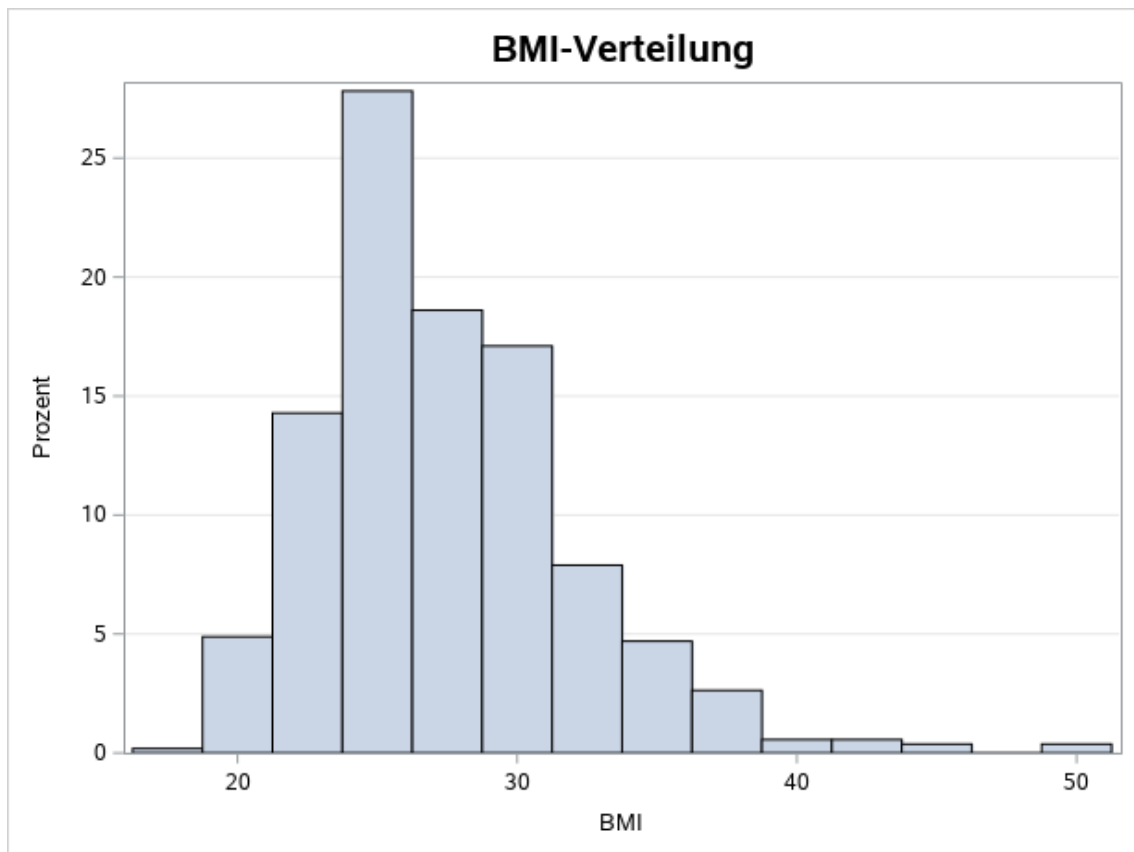


Abbildung 13: BMI-Verteilung.

3.1.2. Erfahrung des Operateurs

Von den 533 Hüftendoprothesen wurden 168 vom Chefarzt implantiert (31,5 %), 338 von Oberärzten (63,4 %) und weitere 27 von Assistenzärzten (5,1 %).

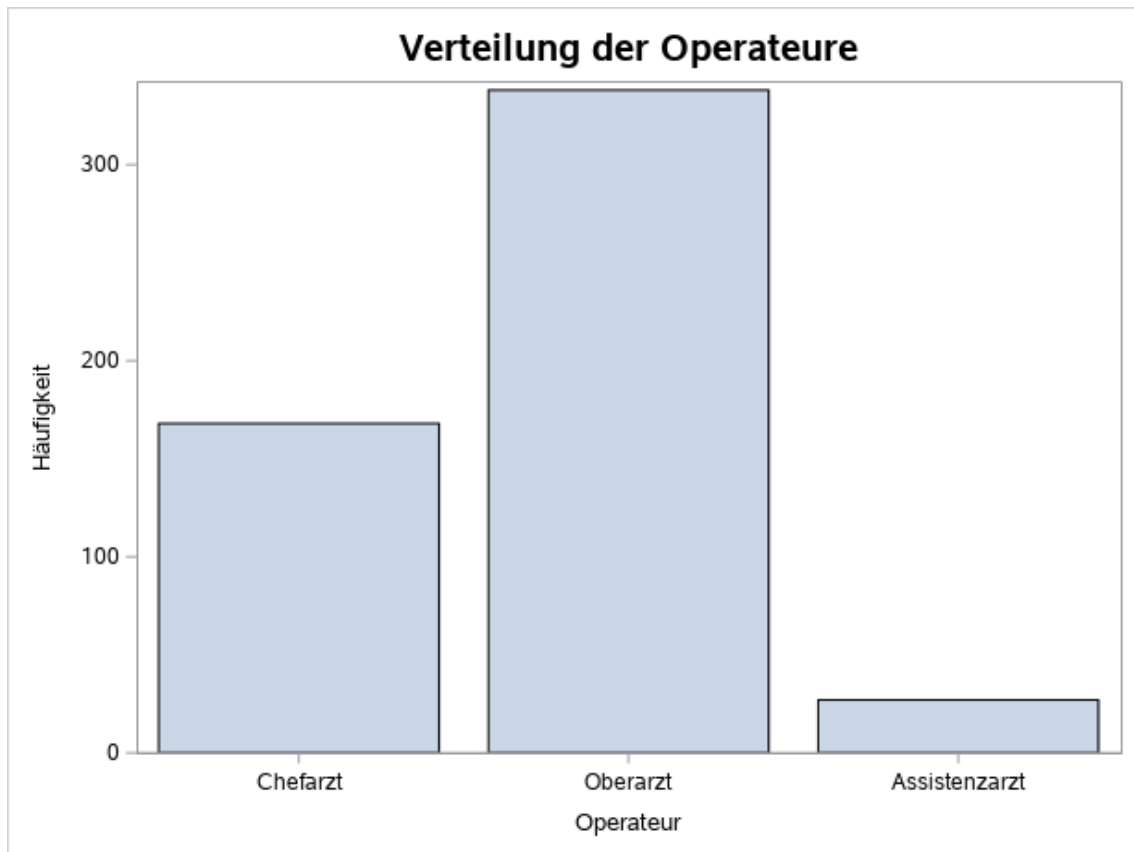


Abbildung 14: Verteilung der Operateure.

3.1.3. Art der Fixierung

Bei 192 Operationen (36,0 %) wurden sowohl die Pfanne, als auch der Schaft zementfrei implantiert. 67 Hüftendoprothesen (12,6 %) wurden vollständig zementiert und bei 274 Patienten (51,4 %) wurde die Prothese in Hybridform mit zementiertem Schaft und zementfreier Pfanne implantiert.

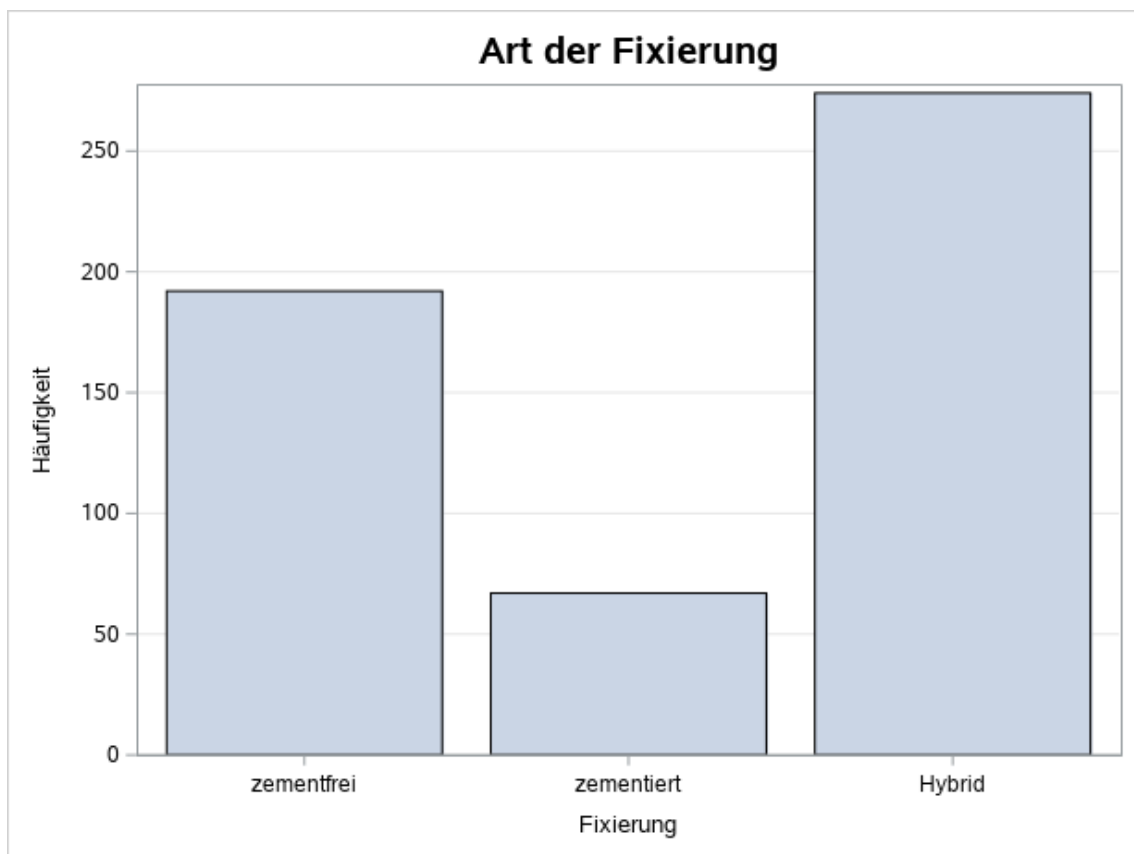


Abbildung 15: Verteilung der Fixierungstechniken.

3.2. Übereinstimmung von Planung und Ergebnis

3.2.1. Übereinstimmung der Halslänge

Die mit der Planungssoftware präoperativ gewählte Größe für den Prothesenhals stimmte bei 314 Operationen (58,9 %) mit dem postoperativen Ergebnis überein. In 219 Fällen (41,1 %) war eine Abweichung zwischen präoperativer Planung und postoperativem Ergebnis vorhanden. Davon wurden bei 19 Patienten (3,6 %) ein um zwei Größen kürzerer Hals implantiert als geplant und bei 91 Patienten (17,1 %) eine Halslänge kürzer. Bei 83 Patienten (15,6 %) entschied man sich während der Operation für einen Prothesenhals in einer Größe länger, bei 22 Patienten (4,1 %) für zwei Größen länger und bei vier Patienten (0,8 %) für drei Größen länger.

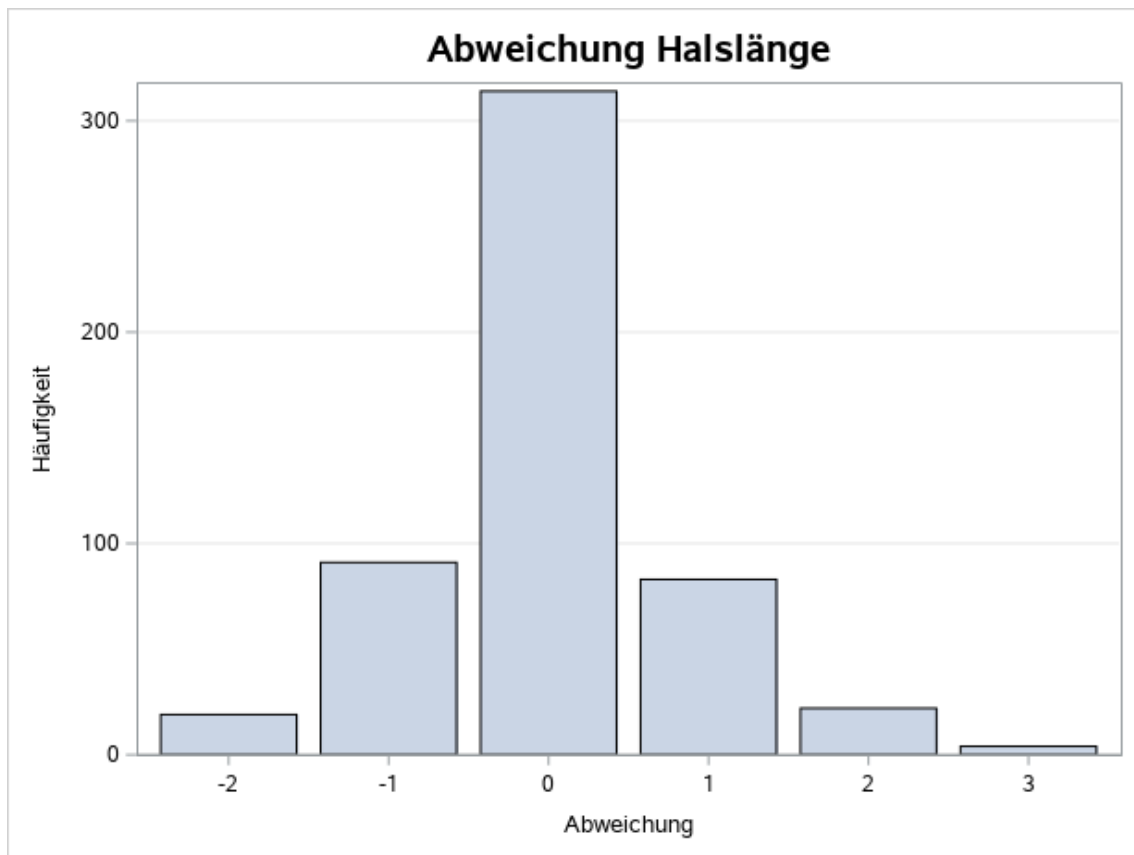


Abbildung 16: Abweichung der Halslänge von der präoperativen Planung.

3.2.2. Übereinstimmung der Schaftgröße

Die geplante Schaftgröße stimmte bei 278 Patienten (52,2 %) mit der implantierten Größe überein. In 255 Fällen (47,8 %) gab es eine Abweichung. Davon war die tatsächlich implantierte Größe des Schaftes bei einem Patienten (0,2 %) fünf Größen kleiner als präoperativ geplant, bei einem weiteren Patienten (0,2 %) fünf Größen kleiner, bei drei Patienten (0,6 %) drei Größen kleiner, bei drei Patienten (0,6 %) vier Größen kleiner, bei drei Patienten (0,6 %) drei Größen kleiner, bei 33 Patienten (6,2 %) zwei Größen und bei 90 Patienten (16,9 %) eine Größe kleiner. Bei 79 Patienten (14,8 %) hingegen war der Schaft postoperativ eine Größe größer als präoperativ geplant, bei 27 Patienten (5,1 %) zwei und bei vier Patienten (0,8 %) drei Größen größer. Bei weiteren 17 Operationen (3,2 %) entschied man sich für einen Schaft mit einer anderen Fixierung, beispielsweise für einen CLS-Schaft anstelle eines geplanten Müller-Schaftes oder für einen Avenir-Schaft anstatt eines Müller-Schaftes („N.A.“ in Abb. 17).

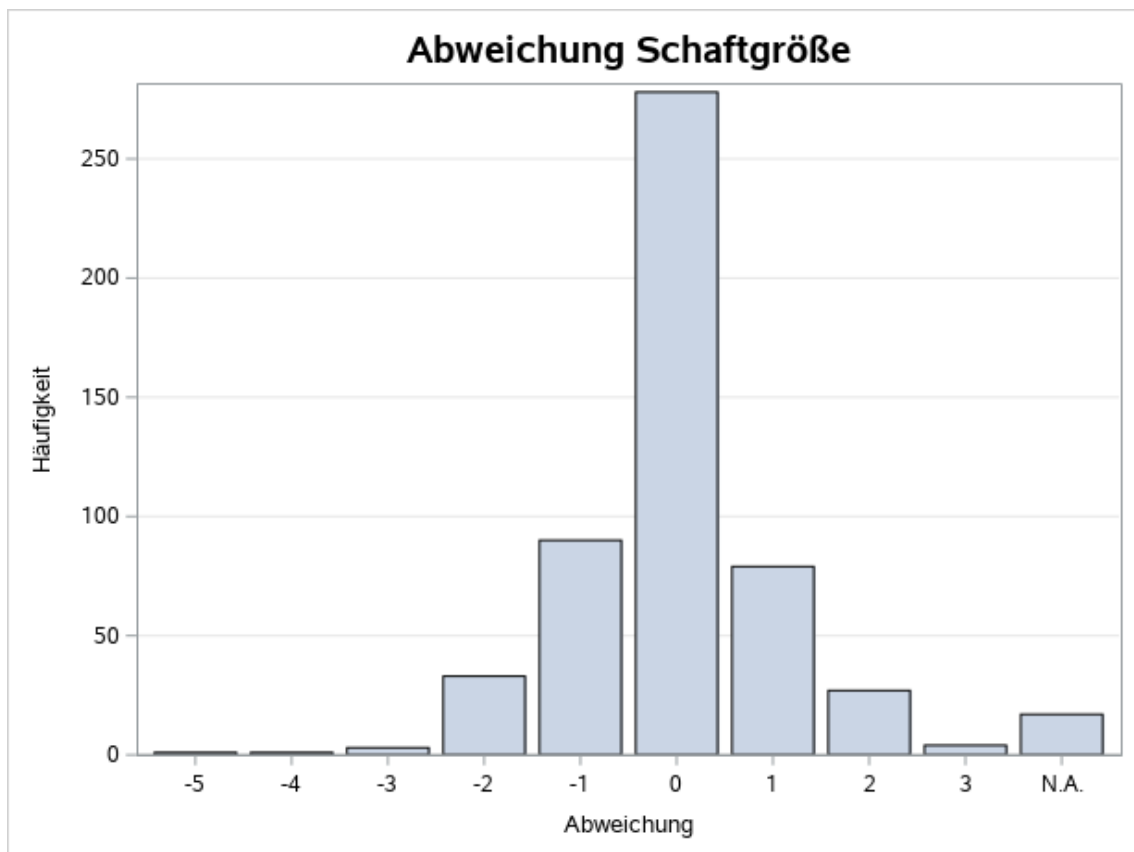


Abbildung 17: Abweichung der Schaftgröße von der präoperativen Planung.

3.2.3. Übereinstimmung des Offsets

Die korrekte Bestimmung des Offsets ist ein wesentlicher Punkt zur Rekonstruktion des anatomischen Drehzentrums. Die Rekonstruktion des Offsets stimmte in 370 Fällen (69,4 %) prä- und postoperativ überein, in 163 Fällen (30,6 %) gab es eine Abweichung. Bei 50 Operationen (9,4 %) lag eine Medialisierung des geplanten Offsets vor („-1“ in Abb. 18), bei 113 Operationen (21,2 %) war es andersherum („1“ in Abb. 18).

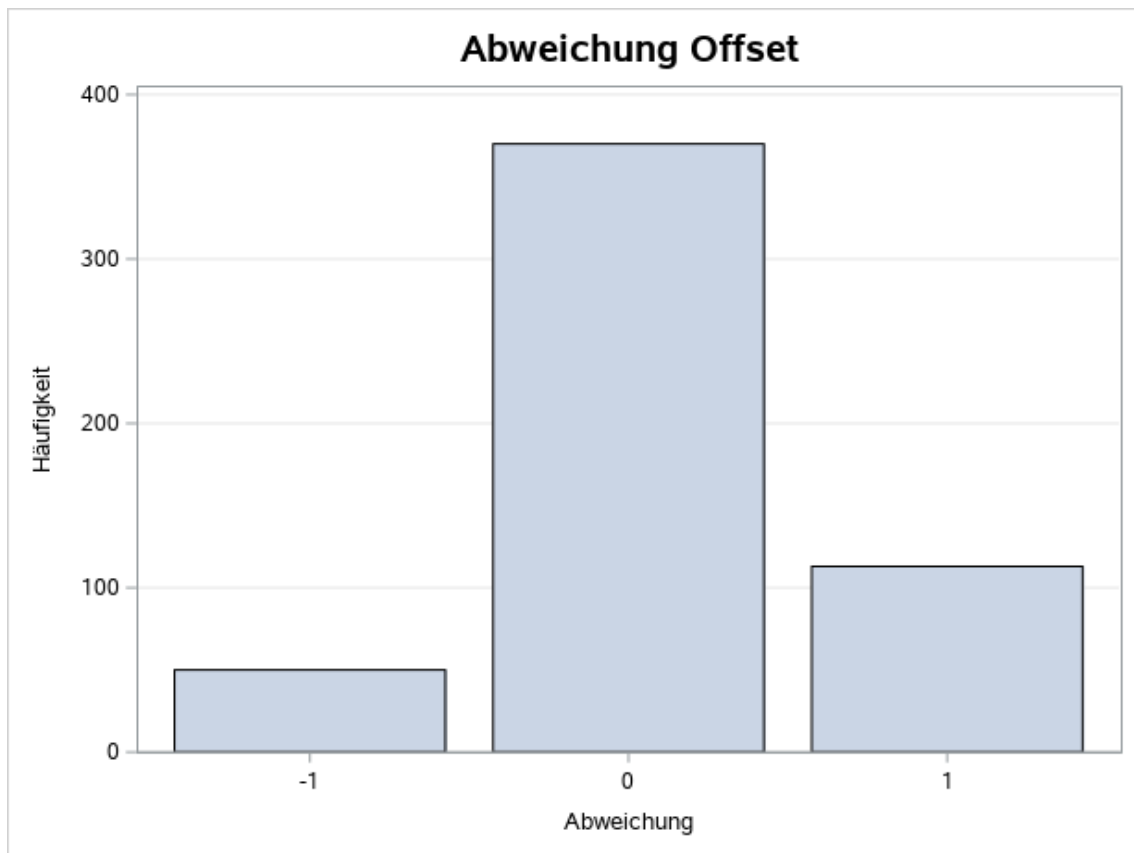


Abbildung 18: Abweichung des Offsets von der präoperativen Planung.

3.2.4. Übereinstimmung der Pfannengröße

Die Größe der geplanten Pfanne stimmte bei 214 Patienten (40,2 %) mit der postoperativen Pfannengröße überein. Bei 319 Patienten (59,8 %) gab es eine Abweichung der Pfannengröße. Davon war die tatsächliche Größe der Pfanne einmal (0,2 %) sechs Größen kleiner als geplant, ein weiteres Mal (0,2 %) fünf Größen kleiner, bei fünf Patienten (0,9 %) vier Größen kleiner, bei 13 Patienten (2,4 %) drei Größen kleiner, bei 49 Patienten (9,2 %) zwei Größen kleiner und bei 124 Patienten (23,3 %) war die postoperativ implantierte Pfannengröße eine Größe kleiner als geplant. Bei 69 Operationen (12,9 %) wurde die Pfanne eine Größe größer eingesetzt als geplant, bei 13 Operationen (2,4 %) zwei Größen größer, bei einer Operation (0,2 %) drei Größen größer und bei einer weiteren Operation (0,2 %) sechs Größen größer als geplant. In 42 Fällen (7,9 %) wurde eine andere Pfannenart gewählt als geplant, beispielsweise wurde eine zementfreie Aofit-Pfanne anstelle einer zementierten Müller-Pfanne implantiert.

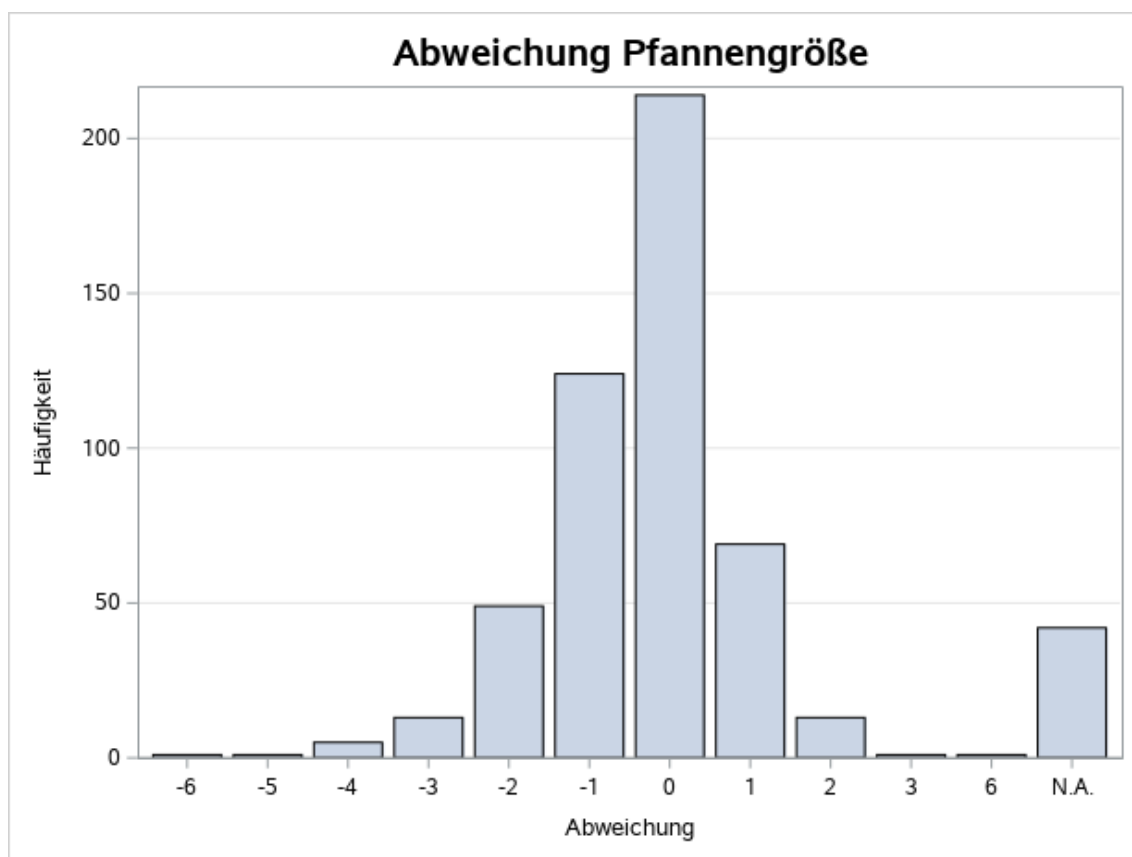


Abbildung 19: Abweichung der Pfannengröße von der präoperativen Planung.

Übereinstimmung aller vier Parameter

Eine Übereinstimmung aller vier Parameter (Halslänge, Schaftgröße, Offset und Pfannengröße) zwischen präoperativer Planung und postoperativem Ergebnis gab es bei 57 Operationen (10,7 %). Die anderen 476 Operationen (89,3 %) wiesen eine Abweichung mindestens einer der Parameter auf.

3.2.5. Unterteilung nach Alter

Um eine Abhängigkeit der korrekt geplanten Parameter vom Alter der Patienten zu prüfen, wurde das Patientenkollektiv in zwei Gruppen unterteilt. 88 Patienten (16,5 %) waren im untersuchten Zeitraum 59 Jahre oder jünger, 445 Patienten (83,5 %) waren mindestens 60 Jahre alt.

Bei 44 der unter 60-jährigen Patienten (50,0 %) wurde die Halslänge korrekt geplant, bei den restlichen 44 Patienten (50,0 %) gab es eine Abweichung. In der Gruppe der 60-jährigen und Älteren (n = 445) wurde die Halslänge bei 270 Operationen (60,7 %) korrekt geplant, während sich bei 175 Operationen (39,3 %) für eine andere Halslänge entschieden wurde.

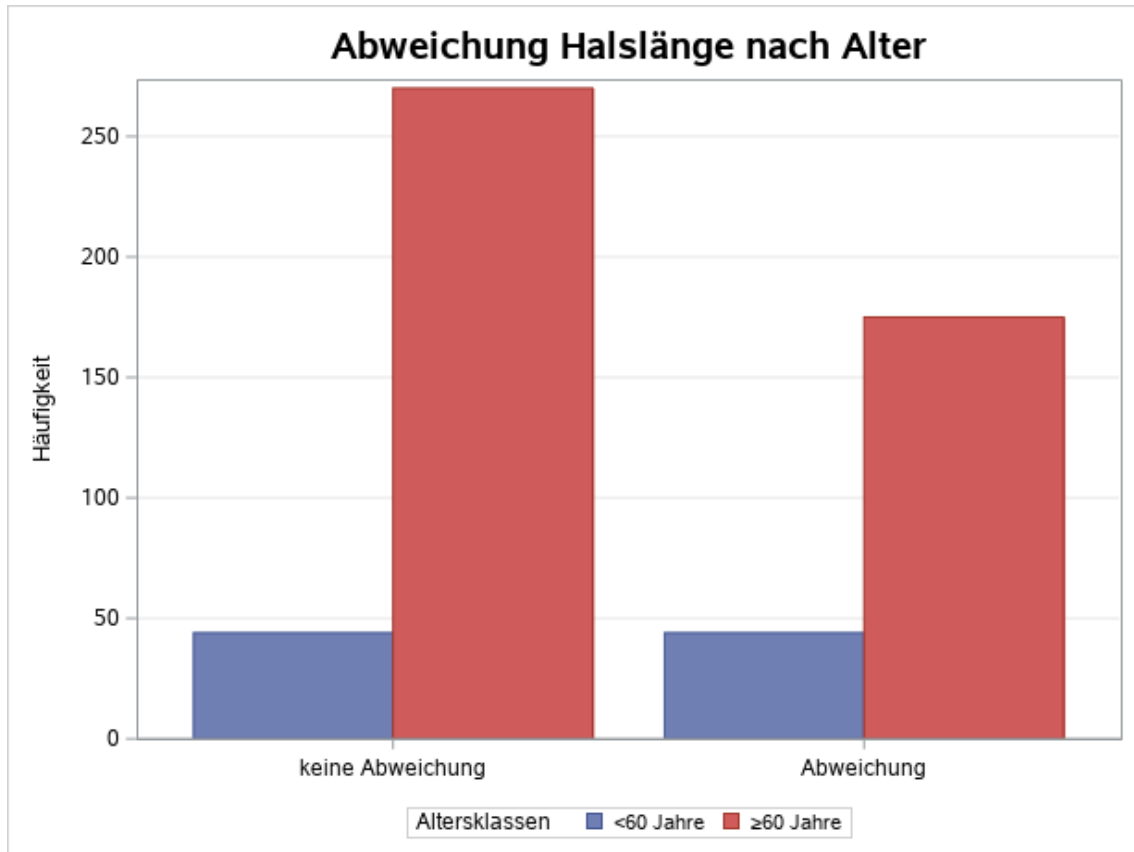


Abbildung 20: Abweichung der Halslänge in zwei Altersgruppen.

Um die Nullhypothese „Eine korrekte Planung der Halslänge ist unabhängig vom Alter des Patienten“ zu prüfen, wurden die beiden kategorialen Variablen im Chi-Quadrat-Test auf Abhängigkeit getestet. Die asymptotische Signifikanz betrug hier 0,063 und war somit größer als das Signifikanzniveau von 0,05. Daher muss die Nullhypothese angenommen und die Alternativhypothese verworfen werden. Es besteht keine signifikante Abhängigkeit der korrekt geplanten Halslänge vom Alter.

In der Gruppe der unter 60-Jährigen wurde bei 40 Patienten (45,5 %) die Schaftgröße korrekt geplant, während es bei 48 Patienten (54,5 %) eine Abweichung der Schaftgröße gab. Bei den älteren Patienten wurde die Schaftgröße 238-mal (53,5 %) in der Größe implantiert, in der sie auch geplant wurde, 207-mal (46,5 %) wurde sich jedoch für eine andere Schaftgröße entschieden.

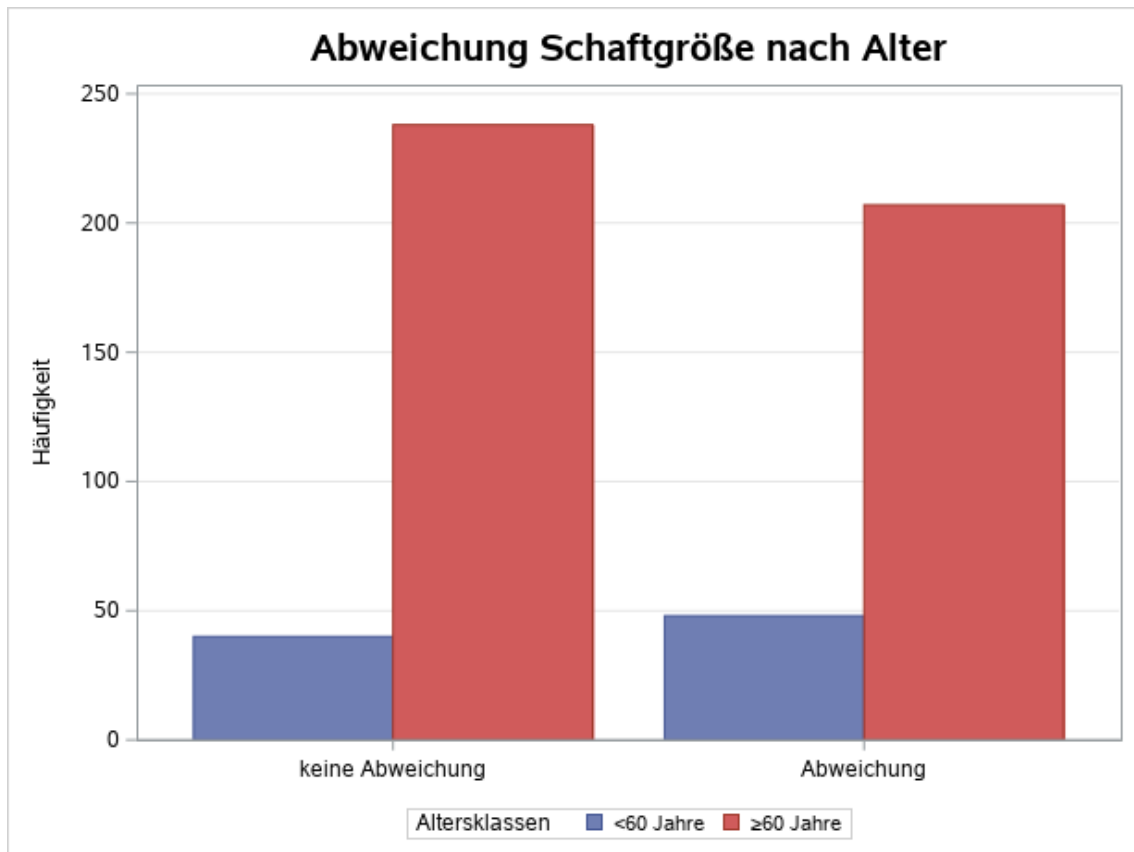


Abbildung 21: Abweichung der Schaftgröße in zwei Altersgruppen.

Um die Nullhypothese „Eine korrekte Planung der Schaftgröße ist unabhängig vom Alter des Patienten“ zu prüfen, wurden die beiden kategorialen Variablen im Chi-Quadrat-Test auf Abhängigkeit getestet. Die asymptotische Signifikanz betrug hier 0,168 und war somit größer als das Signifikanzniveau von 0,05. Daher muss die Nullhypothese angenommen und die Alternativhypothese verworfen werden. Es besteht keine signifikante Abhängigkeit der korrekt geplanten Schaftgröße vom Alter.

Die Rekonstruktion des Offsets wurde bei 63 Patienten der jüngeren Gruppe (71,6 %) korrekt umgesetzt, bei 25 Patienten (28,4 %) wurde von der geplanten Positionierung abgewichen. In der älteren Gruppe gab es bei 307 Patienten (69,0 %) keine Abweichung des Offsets, bei 138 Patienten (31,0 %) hingegen entschied man sich intraoperativ um.

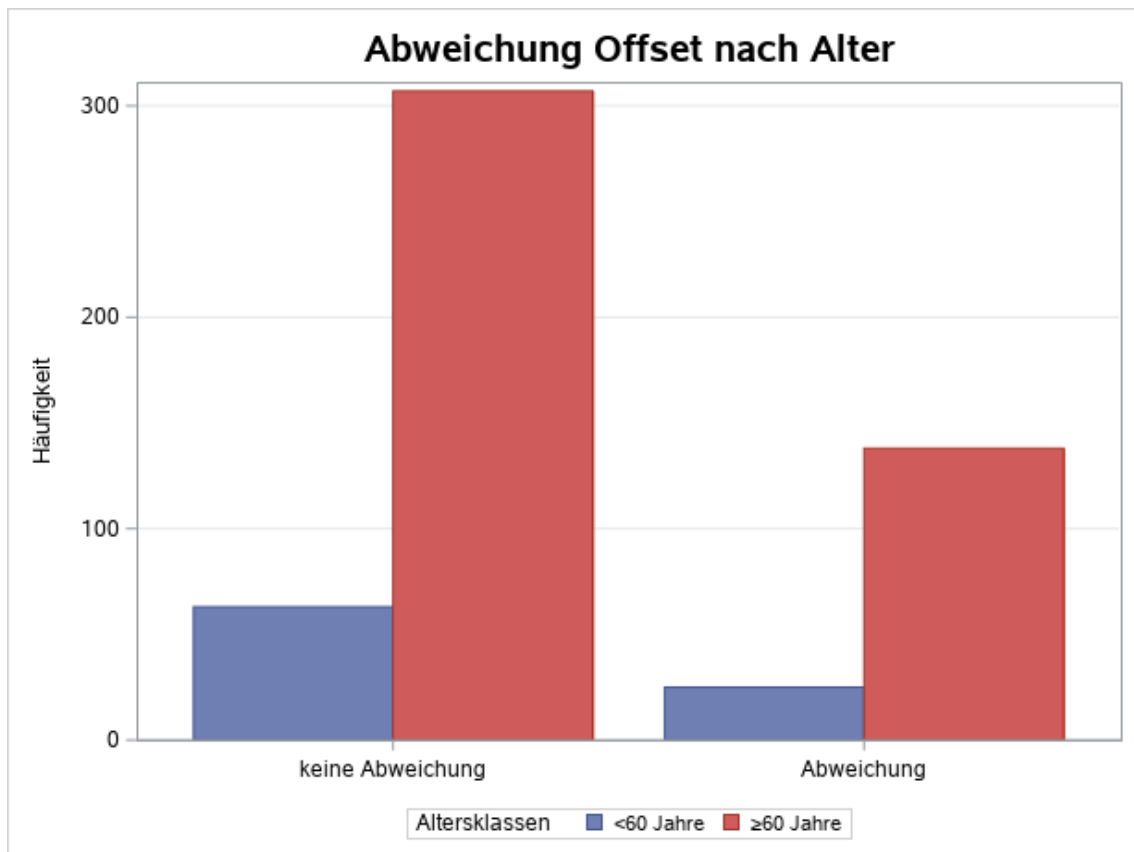


Abbildung 22: Abweichung des Offsets in zwei Altersgruppen.

Um die Nullhypothese „Eine korrekte Planung des Offsets ist unabhängig vom Alter des Patienten“ zu prüfen, wurden die beiden kategorialen Variablen im Chi-Quadrat-Test auf Abhängigkeit getestet. Die asymptotische Signifikanz betrug hier 0,628 und war somit größer als das Signifikanzniveau von 0,05. Daher muss die Nullhypothese angenommen und die Alternativhypothese verworfen werden. Es besteht keine signifikante Abhängigkeit des korrekt geplanten Offsets vom Alter.

Die Pfannengröße wurde in der Gruppe der Patienten bis 59 Jahre bei 43 Patienten (48,9 %) ohne Abweichung implantiert und bei 45 Patienten (51,1 %) mit einer Abweichung. Bei den Patienten ab 60 Jahren waren es 171 Patienten (38,4 %) ohne Abweichung der Pfannengröße und 274 Patienten (61,6 %) mit Abweichung.

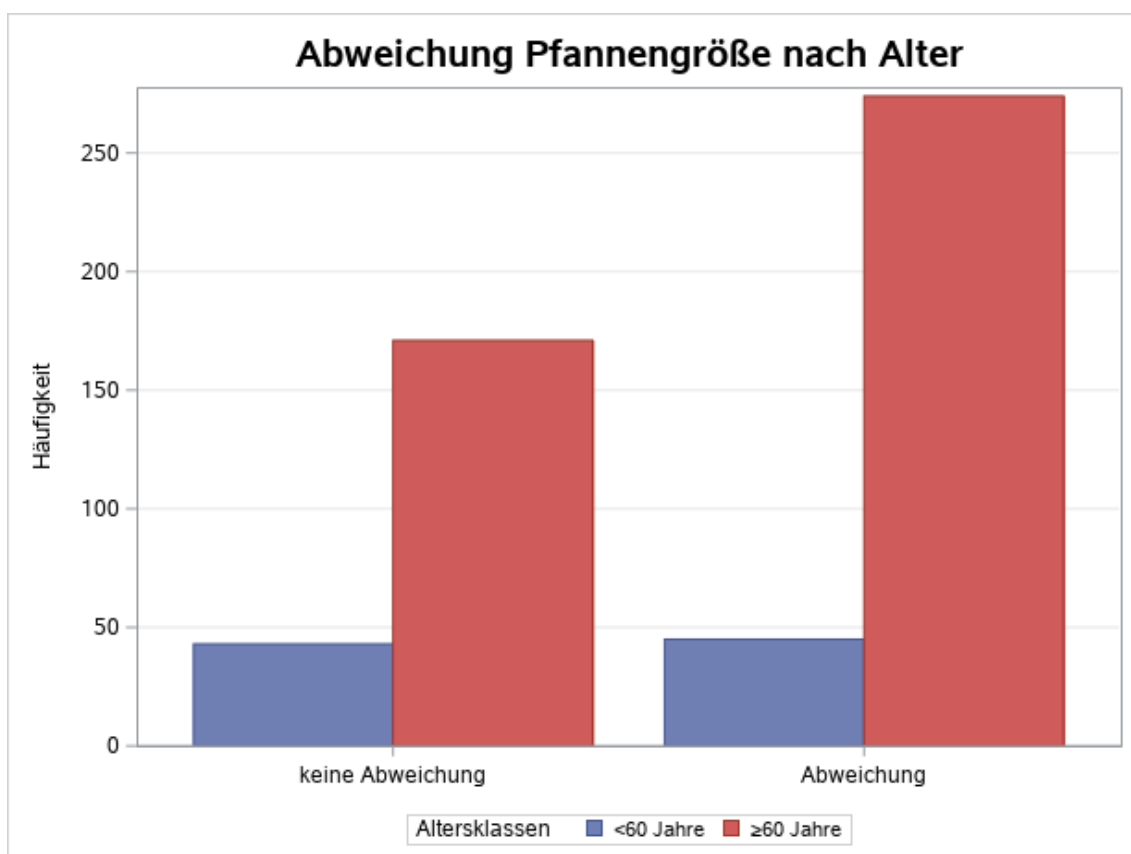


Abbildung 23: Abweichung der Pfannengröße in zwei Altersgruppen.

Um die Nullhypothese „Eine korrekte Planung der Pfannengröße ist unabhängig vom Alter des Patienten“ zu prüfen, wurden die beiden kategorialen Variablen im Chi-Quadrat-Test auf Abhängigkeit getestet. Die asymptotische Signifikanz betrug hier 0,068 und war somit größer als das Signifikanzniveau von 0,05. Daher muss die Nullhypothese angenommen und die Alternativhypothese verworfen werden. Es besteht keine signifikante Abhängigkeit der korrekt geplanten Pfannengröße vom Alter.

3.2.6. Unterteilung nach Geschlecht

Um eine Abhängigkeit der korrekt geplanten Parameter vom Geschlecht der Patienten zu prüfen, wurde das Patientenkollektiv in Frauen und Männer unterteilt. 287 Patienten (53,8 %) waren weiblich, 246 Patienten (46,2 %) waren männlich.

Bei 182 der weiblichen Patienten (63,4 %) stimmten Planung und Ergebnis der Halslänge überein, bei 105 der weiblichen Patienten (36,6 %) gab es eine Abweichung der Halslänge. Bei den Männern stimmte die geplante Halslänge bei 132 Patienten (53,7 %), während sie bei 114 Patienten (46,3 %) abwich.

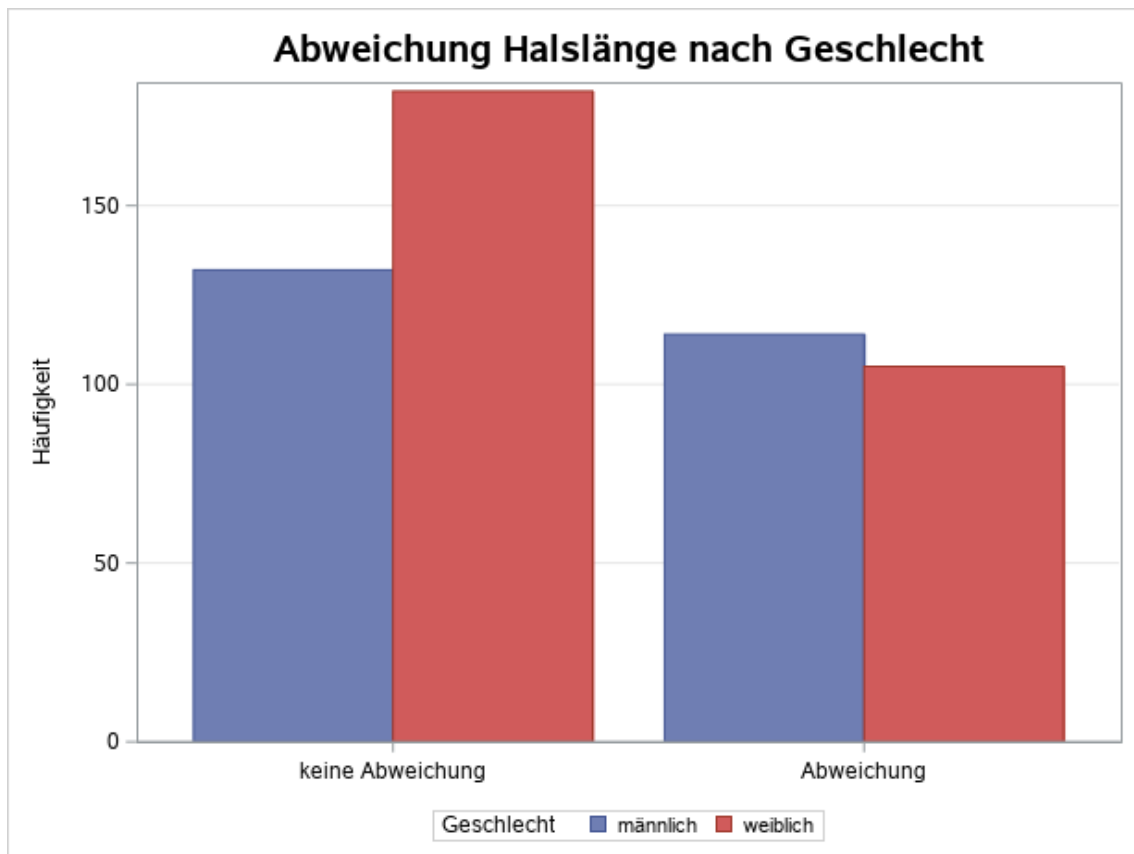


Abbildung 24: Abweichung der Halslänge bei Frauen und Männern.

Um die Nullhypothese „Eine korrekte Planung der Halslänge ist unabhängig vom Geschlecht des Patienten“ zu prüfen, wurden die beiden kategorialen Variablen im Chi-Quadrat-Test auf Abhängigkeit getestet. Die asymptotische Signifikanz betrug hier 0,022 und war somit kleiner als das Signifikanzniveau von 0,05. Daher muss die Nullhypothese abgelehnt werden und die Alternativhypothese kann

angenommen werden. Es besteht demnach eine signifikante Abhängigkeit der korrekt geplanten Halslänge vom Geschlecht.

Um die Stärke der Abhängigkeit der korrekt geplanten Halslänge vom Geschlecht zu quantifizieren, wurde der Phi-Koeffizient bestimmt. Dieser betrug $-0,099$. Somit ist der Zusammenhang der beiden Variablen schwach.

Die Schaftgröße wurde bei 165 Patientinnen (57,5 %) korrekt bestimmt, während bei 122 Patientinnen (42,5 %) eine Abweichung vorgenommen wurde. 113 der männlichen Patienten (45,9 %) haben die geplante Schaftgröße implantiert bekommen, bei 133 männlichen Patienten (54,1 %) entschied man sich für eine andere Schaftgröße.

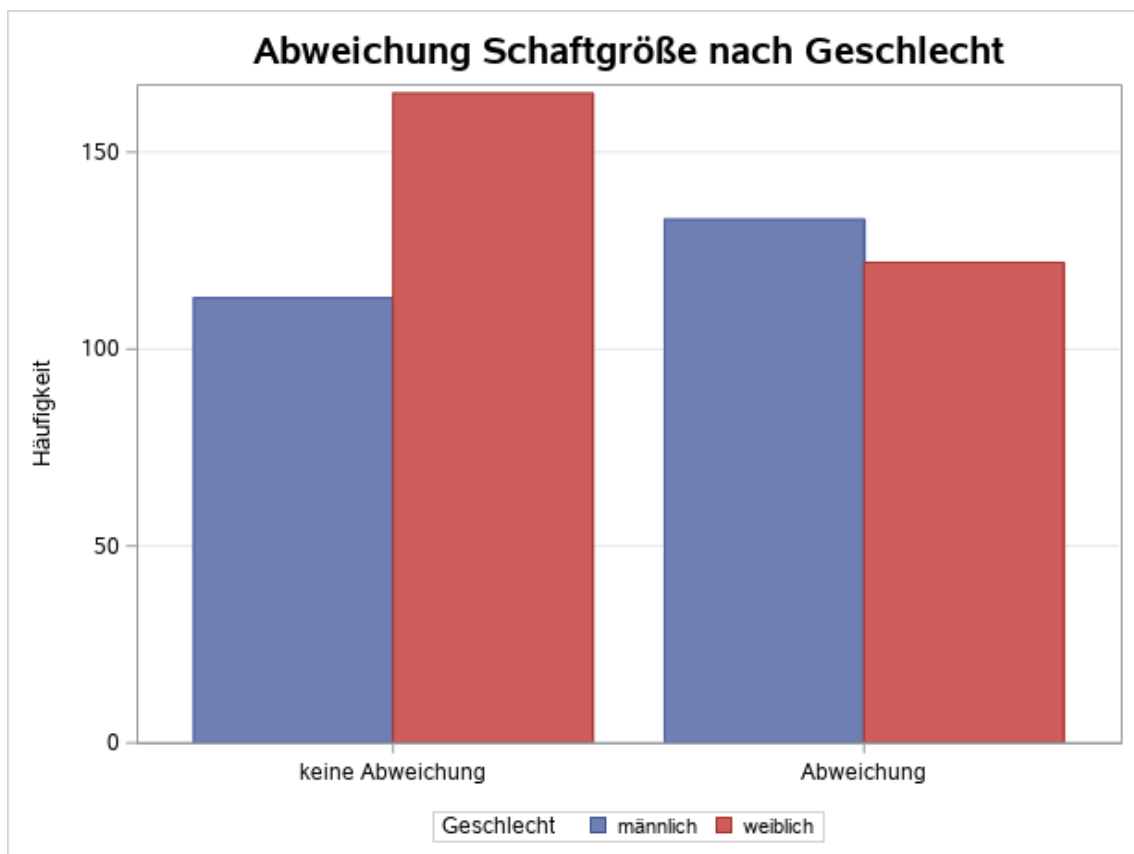


Abbildung 25: Abweichung der Schaftgröße bei Frauen und Männern.

Um die Nullhypothese „Eine korrekte Planung der Schaftgröße ist unabhängig vom Geschlecht des Patienten“ zu prüfen, wurden die beiden kategorialen Variablen im Chi-Quadrat-Test auf Abhängigkeit getestet. Die asymptotische

Signifikanz betrug hier 0,008 und war somit kleiner als das Signifikanzniveau von 0,05. Daher muss die Nullhypothese abgelehnt werden und die Alternativhypothese kann angenommen werden. Es besteht demnach eine signifikante Abhängigkeit der korrekt geplanten Schaftgröße vom Geschlecht.

Um die Stärke der Abhängigkeit der korrekt geplanten Schaftgröße vom Geschlecht zu quantifizieren, wurde der Phi-Koeffizient bestimmt. Dieser betrug -0,115. Somit ist der Zusammenhang der beiden Variablen schwach.

Die Rekonstruktion des Offsets gelang bei 199 Patientinnen (69,3 %), bei 88 Patientinnen (30,7 %) gab es eine Abweichung des Offsets. Bei den Männern wurde bei 171 Patienten (69,5 %) das geplante Offset umgesetzt und bei 75 Patienten (30,5 %) wich man von der Planung ab.

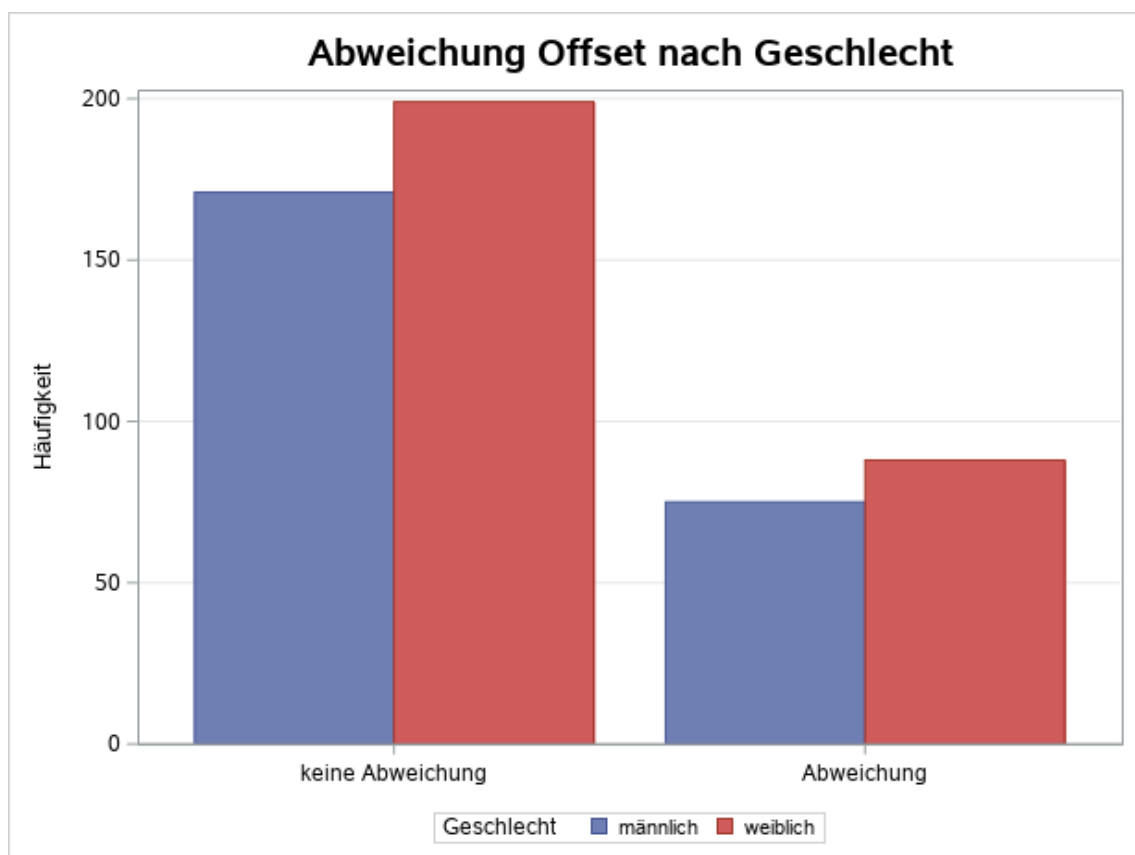


Abbildung 26: Abweichung des Offsets bei Frauen und Männern.

Um die Nullhypothese „Eine korrekte Planung des Offsets ist unabhängig vom Geschlecht des Patienten“ zu prüfen, wurden die beiden kategorialen Variablen im Chi-Quadrat-Test auf Abhängigkeit getestet. Die asymptotische Signifikanz betrug hier 0,965 und war somit größer als das Signifikanzniveau von 0,05. Daher muss die Nullhypothese angenommen und die Alternativhypothese verworfen werden. Es besteht keine signifikante Abhängigkeit des korrekt geplanten Offsets vom Geschlecht.

Die Planung der Pfannengröße entsprach bei 124 Patientinnen (43,2 %) der implantierten Größe, während bei 163 Patientinnen (56,8 %) von der Planung abgewichen wurde. Bei den Männern waren es 90 korrekte Planungen (36,6 %) und 156 Planungen, die nicht mit dem Ergebnis übereinstimmten (63,4 %).

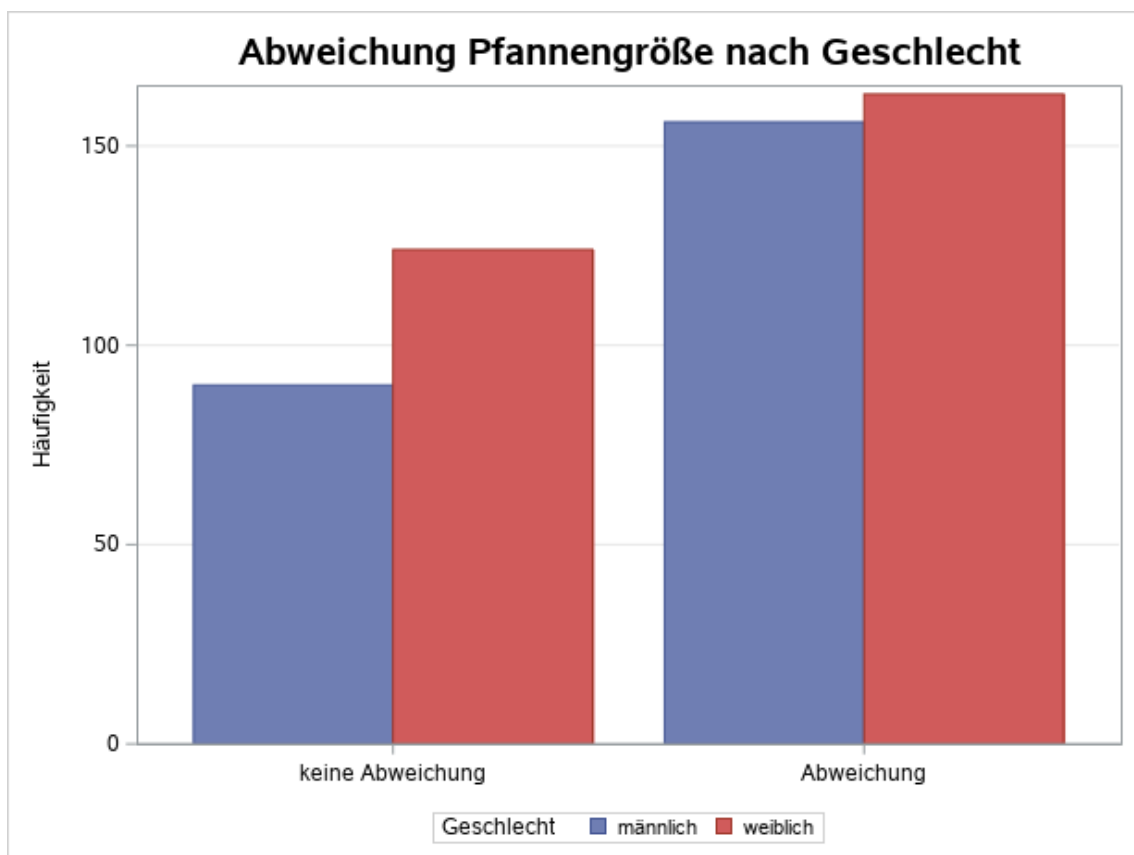


Abbildung 27: Abweichung der Pfannengröße bei Frauen und Männern.

Um die Nullhypothese „Eine korrekte Planung der Pfannengröße ist unabhängig vom Geschlecht des Patienten“ zu prüfen, wurden die beiden kategorialen Variablen im Chi-Quadrat-Test auf Abhängigkeit getestet. Die asymptotische Signifikanz betrug hier 0,120 und war somit größer als das Signifikanzniveau von 0,05. Daher muss die Nullhypothese angenommen und die Alternativhypothese verworfen werden. Es besteht keine signifikante Abhängigkeit der korrekt geplanten Pfannengröße vom Geschlecht.

3.2.7. Unterteilung nach BMI

Um eine Abhängigkeit der korrekt geplanten Parameter vom Body-Mass-Index der Patienten zu prüfen, wurde das Patientenkollektiv anhand der WHO-Adipositas-Klassifikation in vier Gruppen unterteilt. Dabei gab es einen Patienten (0,2 %) in der Kategorie Untergewicht ($\text{BMI} < 18,5 \text{ kg/m}^2$), 171 Patienten (32,1 %) mit Normalgewicht ($18,5\text{-}24,99 \text{ kg/m}^2$), 228 Patienten (42,9 %) mit Übergewicht ($25\text{-}29,99 \text{ kg/m}^2$) und 132 Patienten (24,8 %) mit Adipositas ($\text{BMI} \geq 30 \text{ kg/m}^2$).

In der Kategorie Untergewicht stimmte das Ergebnis der Halslänge bei keinem Patienten (0 %) mit der Planung überein, bei einem Patienten (100 %) gab es eine Abweichung. Bei den Normalgewichtigen wurde die Halslänge bei 111 Patienten (64,9 %) korrekt vorherbestimmt, während es bei 60 Patienten (35,1 %) eine Abweichung gab. In der Gruppe der Übergewichtigen stimmten bei 135 Patienten (59,2 %) die Halslänge prä- und postoperativ überein, bei 93 Patienten (40,8 %) wurde von der Planung abgewichen. Unter den adipösen Patienten war die Planung der Halslänge 67-mal (50,8 %) korrekt und 65-mal (49,2 %) stimmte sie nicht mit dem postoperativen Ergebnis überein.

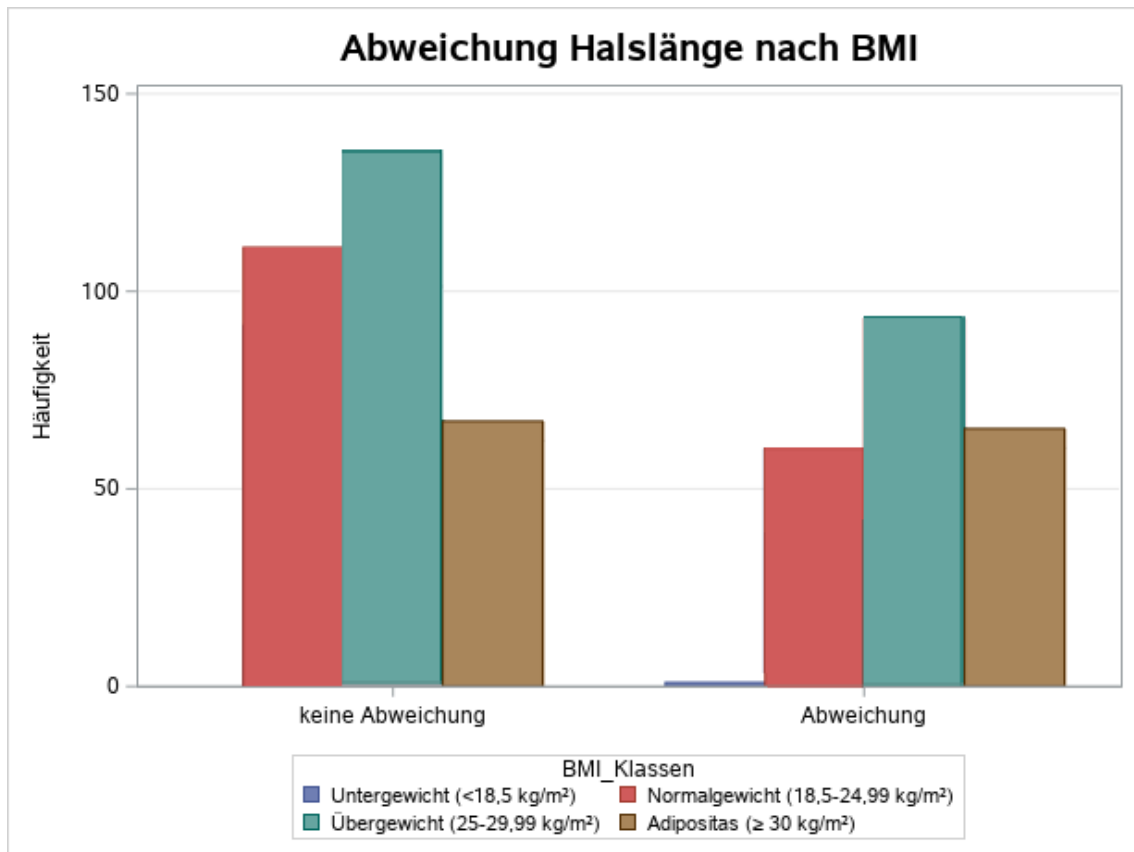


Abbildung 28: Abweichung der Halslänge in vier BMI-Gruppen.

Um die Nullhypothese „Eine korrekte Planung der Halslänge ist unabhängig vom BMI des Patienten“ zu prüfen, wurden die beiden kategorialen Variablen im Chi-Quadrat-Test auf Abhängigkeit getestet. Die asymptotische Signifikanz betrug hier 0,055 und war somit größer als das Signifikanzniveau von 0,05. Daher muss die Nullhypothese angenommen werden und die Alternativhypothese verworfen werden. Es besteht keine signifikante Abhängigkeit der korrekt geplanten Halslänge vom BMI.

Die Schaftgröße wurde bei einem untergewichtigen Patienten (100 %) korrekt geplant. Bei den Normalgewichtigen stimmten Planung und Ergebnis der Schaftgröße bei 95 Patienten (55,6 %) überein, während bei 76 Patienten (44,4 %) eine Abweichung zu vermerken war. Die übergewichtigen Patienten hatten in 115 Operationen (50,4 %) die richtige Schaftgröße und in 113 Operationen (49,6 %) eine andere Größe. Unter den Adipösen stimmte die Schaftgröße bei 66 Patienten (50,0 %), bei 66 Patienten (50,0 %) wich sie ab.

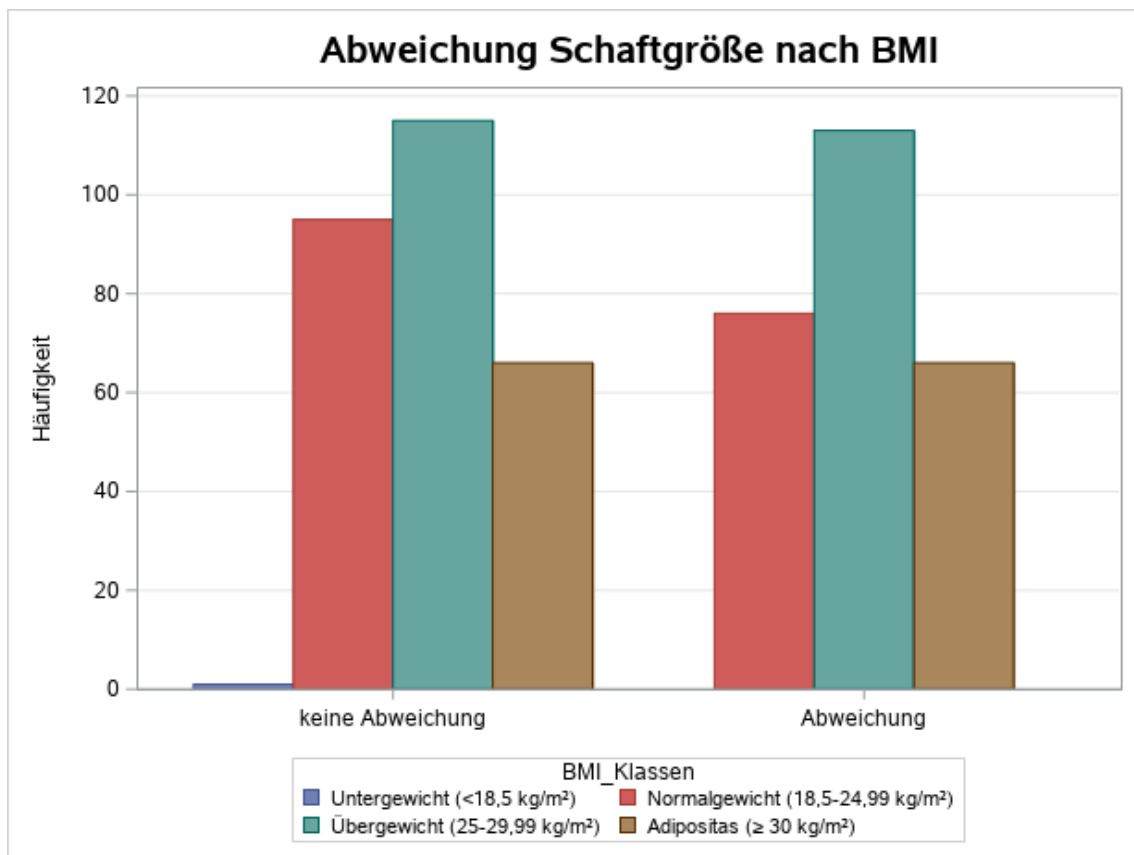


Abbildung 29: Abweichung der Schaftgröße in vier BMI-Gruppen.

Um die Nullhypothese „Eine korrekte Planung der Schaftgröße ist unabhängig vom BMI des Patienten“ zu prüfen, wurden die beiden kategorialen Variablen im Chi-Quadrat-Test auf Abhängigkeit getestet. Die asymptotische Signifikanz betrug hier 0,528 und war somit größer als das Signifikanzniveau von 0,05. Daher muss die Nullhypothese angenommen und die Alternativhypothese verworfen werden. Es besteht keine signifikante Abhängigkeit der korrekt geplanten Schaftgröße vom BMI.

Die Rekonstruktion des Offsets wurde beim untergewichtigen Patienten erreicht (100 %). Bei 123 der normalgewichtigen Patienten (71,9 %) wurde der Schaft wie geplant positioniert, bei 48 Patienten (28,1 %) entschied man sich für eine Abweichung des Offsets von der Planung. 153 der übergewichtigen Patienten (67,1 %) wurden hinsichtlich des Offsets wie geplant operiert, bei 75 Patienten mit Übergewicht (32,9 %) entschied man sich intraoperativ um. Das Offset wurde bei 92 adipösen Patienten (69,7 %) korrekt rekonstruiert und bei 40 Patienten (30,3 %) gab es eine Abweichung.

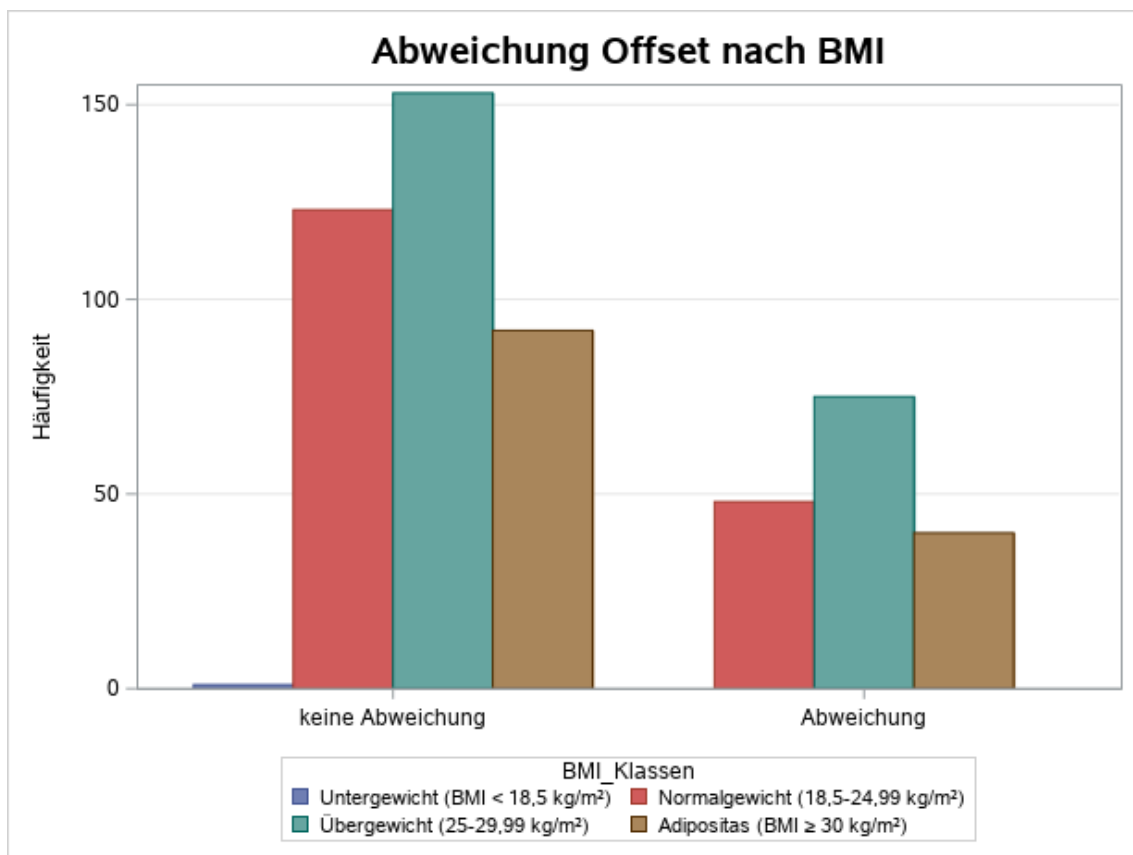


Abbildung 30: Abweichung des Offsets in vier BMI-Gruppen.

Um die Nullhypothese „Eine korrekte Planung des Offsets ist unabhängig vom BMI des Patienten“ zu prüfen, wurden die beiden kategorialen Variablen im Chi-Quadrat-Test auf Abhängigkeit getestet. Die asymptotische Signifikanz betrug hier 0,676 und war somit größer als das Signifikanzniveau von 0,05. Daher muss die Nullhypothese angenommen und die Alternativhypothese verworfen werden. Es besteht keine signifikante Abhängigkeit des korrekt geplanten Offsets vom BMI.

Die Pfannengröße wurde beim untergewichtigen Patienten (100 %) korrekt geplant. 67 Patienten mit Normalgewicht (39,2 %) erhielten die geplante Pfannengröße und 104 Patienten (60,8 %) eine abweichende Größe. Bei den übergewichtigen Patienten stimmten Planung und Ergebnis bei 91 Patienten (39,9 %) überein, während sie sich bei 137 Patienten (60,1 %) unterschied. Unter den adipösen Patienten wurde 54-mal (40,9 %) die geplante Pfanne implantiert und 78-mal (59,1 %) auf eine andere Größe gewechselt.

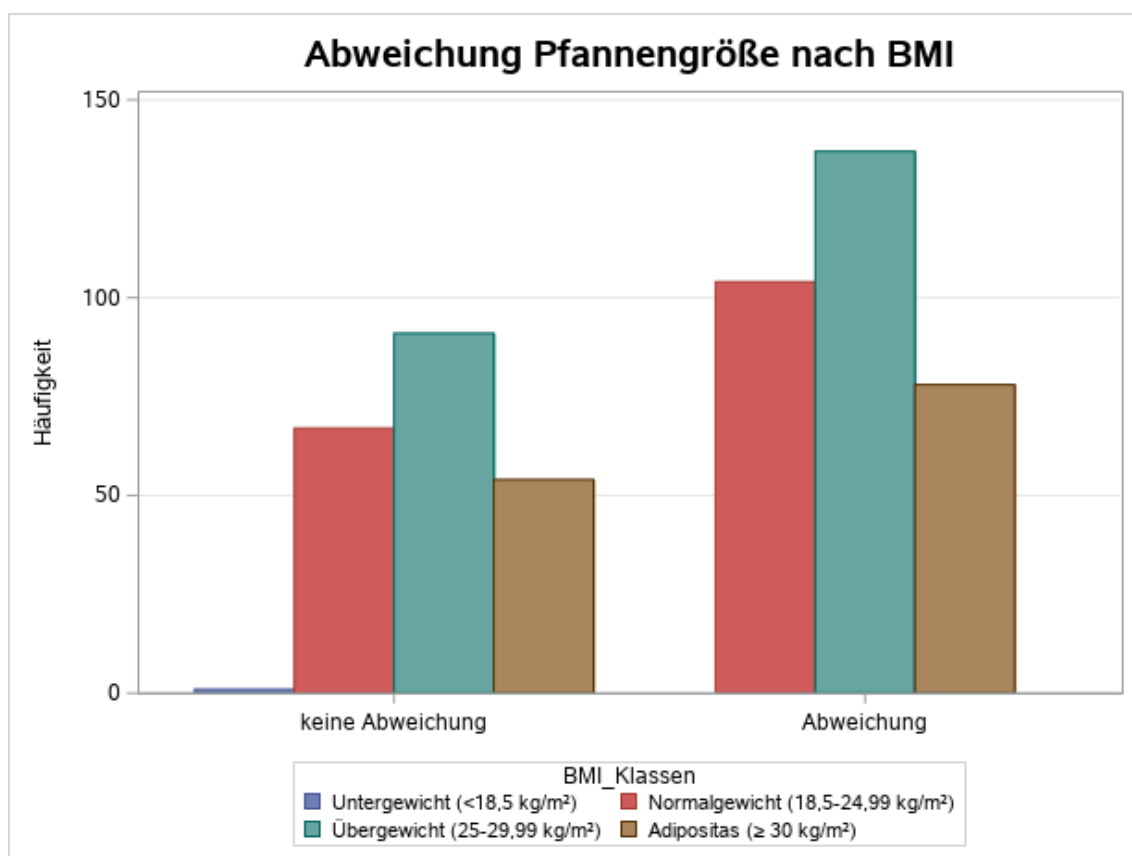


Abbildung 31: Abweichung der Pfannengröße in vier BMI-Gruppen.

Um die Nullhypothese „Eine korrekte Planung der Pfannengröße ist unabhängig vom BMI des Patienten“ zu prüfen, wurden die beiden kategorialen Variablen im Chi-Quadrat-Test auf Abhängigkeit getestet. Die asymptotische Signifikanz betrug hier 0,661 und war somit größer als das Signifikanzniveau von 0,05. Daher muss die Nullhypothese angenommen und die Alternativhypothese verworfen werden. Es besteht keine signifikante Abhängigkeit der korrekt geplanten Pfannengröße vom BMI.

3.2.8. Unterteilung nach Operateur

Um eine Abhängigkeit der korrekt geplanten Parameter vom Operateur zu prüfen, wurden die Operateure in drei Gruppen unterteilt. 168 Operationen (31,5 %) wurden vom Chefarzt durchgeführt, 338 Operationen (63,4 %) von Oberärzten und 27 OPs (5,1 %) von Assistenzärzten.

Die Halslänge wurde bei 107 Operationen vom Chefarzt (63,7 %), 189 Operationen der Oberärzte (55,9 %) und 18 Operationen der Assistenzärzte (66,7 %) wie geplant implantiert. Hingegen wich der Chefarzt 61-mal (36,3 %), die Oberärzte 149-mal (44,1 %) und die Assistenzärzte neun Mal (33,3 %) von der Planung der Halslänge ab.

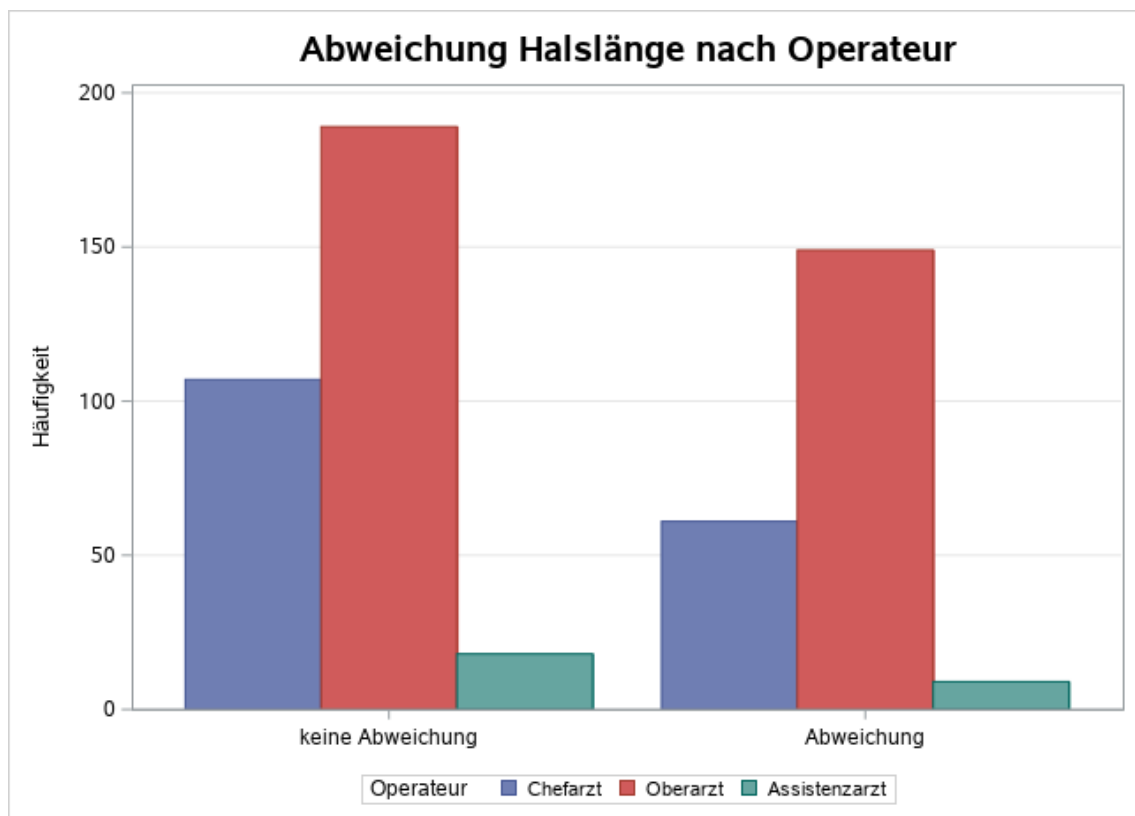


Abbildung 32: Abweichung der Halslänge je nach Operateur.

Um die Nullhypothese „Eine korrekte Planung der Halslänge ist unabhängig vom Operateur“ zu prüfen, wurden die beiden kategorialen Variablen im Chi-Quadrat-Test auf Abhängigkeit getestet. Die asymptotische Signifikanz betrug hier 0,173 und war somit größer als das Signifikanzniveau von 0,05. Daher muss die Nullhypothese angenommen und die Alternativhypothese verworfen werden. Es

besteht keine signifikante Abhängigkeit der korrekt geplanten Halslänge vom Operateur.

Die geplante Schaftgröße wurde bei 100 Operationen des Chefarztes (59,5 %), 165 OPs der Oberärzte (48,8 %) und 13 OPs der Assistenzärzte (48,1 %) eingehalten. Abweichungen der Planung gab es bei 68 Patienten, die vom Chefarzt operiert wurden (40,5 %), 173 Operationen der Oberärzte (51,2 %) und 14 OPs der Assistenzärzte (51,9 %).

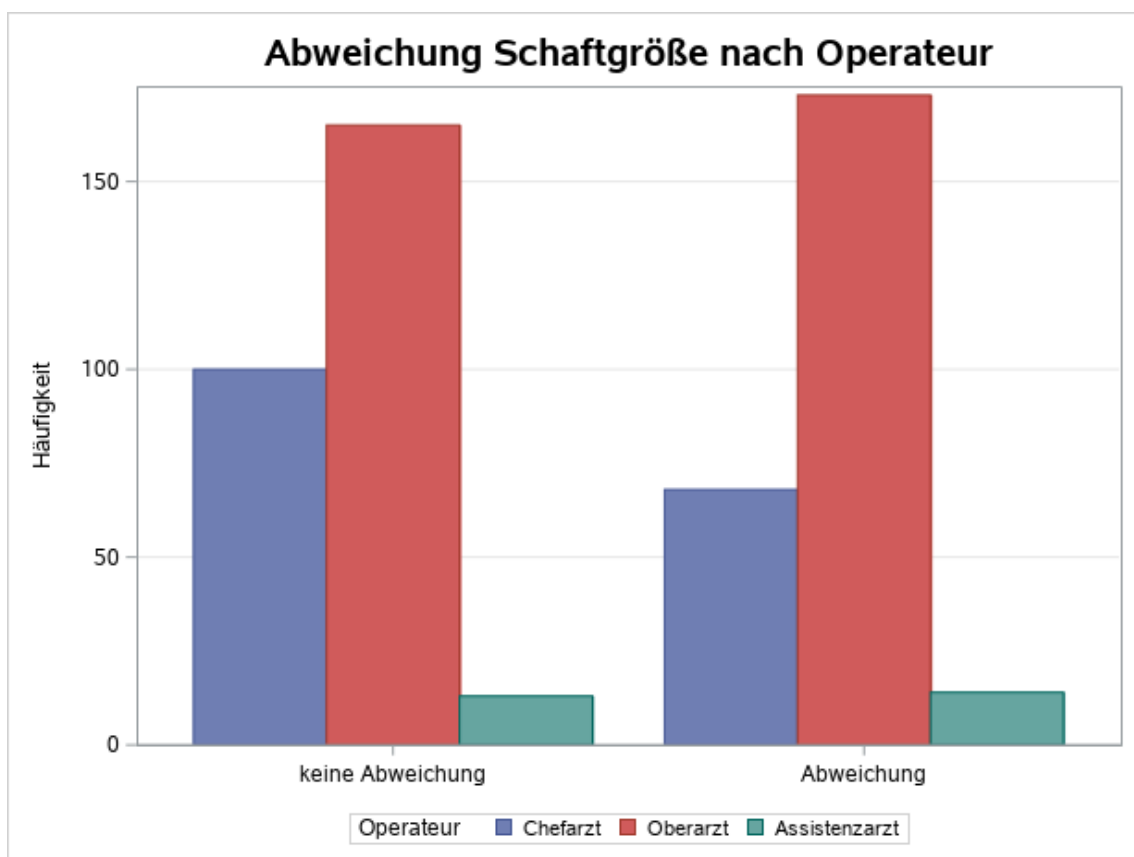


Abbildung 33: Abweichung der Schaftgröße je nach Operateur.

Um die Nullhypothese „Eine korrekte Planung der Schaftgröße ist unabhängig vom Operateur“ zu prüfen, wurden die beiden kategorialen Variablen im Chi-Quadrat-Test auf Abhängigkeit getestet. Die asymptotische Signifikanz betrug hier 0,069 und war somit größer als das Signifikanzniveau von 0,05. Daher muss die Nullhypothese angenommen und die Alternativhypothese verworfen werden.

Es besteht keine signifikante Abhängigkeit der korrekt geplanten Schaftgröße vom Operateur.

Die Rekonstruktion des Offsets gelang dem Chefarzt in 112 Operationen (66,7 %), den Oberärzten in 238 OPs (70,4 %) und den Assistenzärzten in 20 OPs (74,1 %) wie geplant. Abweichungen gab es beim Chefarzt 56-mal (33,3 %), bei den Oberärzten 100-mal (29,6 %) und bei den Assistenzärzten sieben Mal (25,9 %).

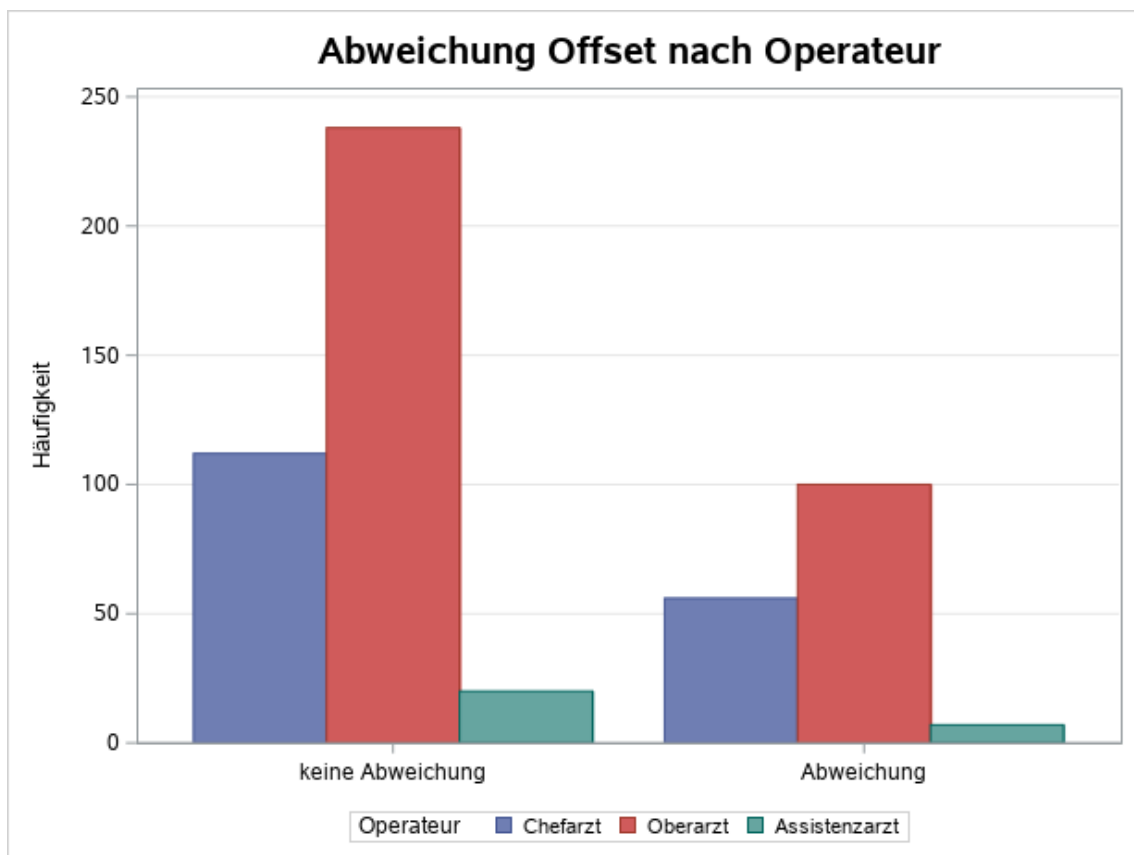


Abbildung 34: Abweichung des Offsets je nach Operateur.

Um die Nullhypothese „Eine korrekte Planung des Offsets ist unabhängig vom Operateur“ zu prüfen, wurden die beiden kategorialen Variablen im Chi-Quadrat-Test auf Abhängigkeit getestet. Die asymptotische Signifikanz betrug hier 0,597 und war somit größer als das Signifikanzniveau von 0,05. Daher muss die Nullhypothese angenommen und die Alternativhypothese verworfen werden. Es

besteht keine signifikante Abhängigkeit des korrekt geplanten Offsets vom Operateur.

Bei der Implantation der Pfanne hielt sich der Chefarzt bei 73 Patienten (43,5 %), die Oberärzte bei 135 Patienten (39,9 %) und die Assistenzärzte bei sechs Patienten (22,2 %) an die geplante Größe. Abgewichen von der geplanten Pfannengröße ist der Chefarzt wiederum 95-mal (56,5 %), die Oberärzte 203-mal (60,1 %) und die Assistenzärzte 21-mal (77,8 %).

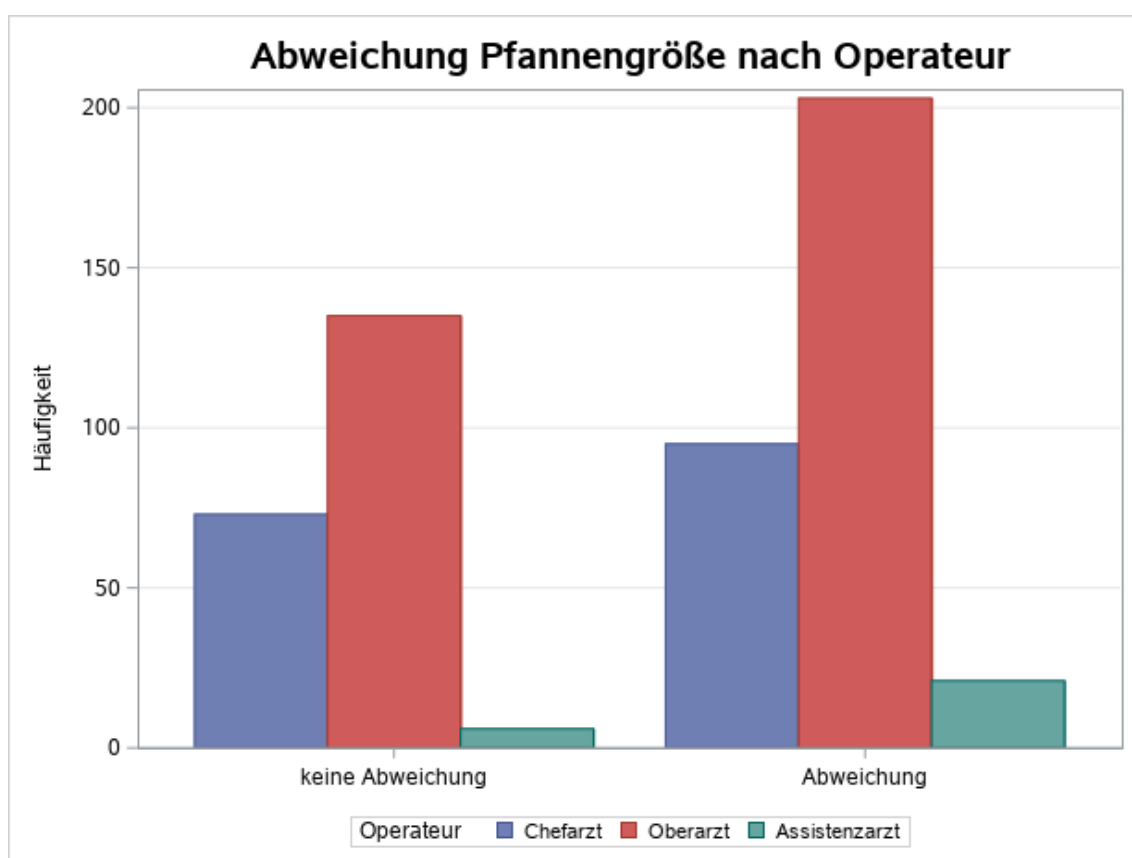


Abbildung 35: Abweichung der Pfannengröße je nach Operateur.

Um die Nullhypothese „Eine korrekte Planung der Pfannengröße ist unabhängig vom Operateur“ zu prüfen, wurden die beiden kategorialen Variablen im Chi-Quadrat-Test auf Abhängigkeit getestet. Die asymptotische Signifikanz betrug hier 0,112 und war somit größer als das Signifikanzniveau von 0,05. Daher muss die Nullhypothese angenommen und die Alternativhypothese verworfen werden.

Es besteht keine signifikante Abhängigkeit der korrekt geplanten Pfannengröße vom Operateur.

3.2.9. Unterteilung nach Art der Fixierung

Um eine Abhängigkeit der korrekt geplanten Parameter von der Art der Fixierung zu prüfen, wurden die Prothesen in drei Gruppen unterteilt. 192 Prothesen wurden zementfrei implantiert (36,0 %), 67 Prothesen wurden einzementiert (12,6 %) und 274 Prothesen in Hybrid eingebaut (51,4 %).

Unter den zementfreien Prothesen entsprach die Halslänge in 112 Fällen (58,3 %) der präoperativen Planung, während sie in 80 Fällen (41,7 %) davon abwich. Die Halslänge der zementierten Prothesen wurde bei 36 Operationen (53,7 %) wie in der Planung implantiert, bei 31 Operationen (46,3 %) entschied man sich für eine andere Größe. Unter den Hybrid-Prothesen waren es 166 korrekte Planungen (60,6 %) und 108 mit Abweichung (39,4 %).

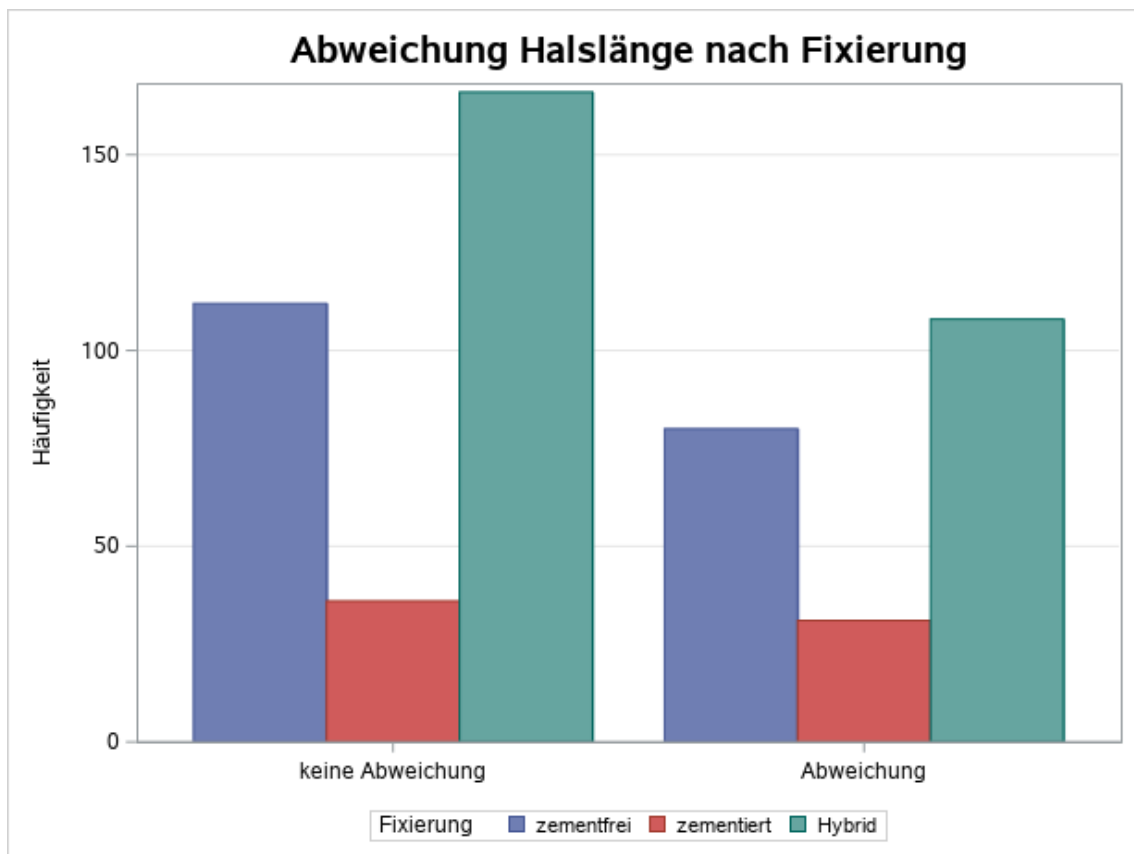


Abbildung 36: Abweichung der Halslänge je nach Art der Fixierung.

Um die Nullhypothese „Eine korrekte Planung der Halslänge ist unabhängig von der Art der Fixierung“ zu prüfen, wurden die beiden kategorialen Variablen im Chi-Quadrat-Test auf Abhängigkeit getestet. Die asymptotische Signifikanz

betrug hier 0,581 und war somit größer als das Signifikanzniveau von 0,05. Daher muss die Nullhypothese angenommen und die Alternativhypothese verworfen werden. Es besteht keine signifikante Abhängigkeit der korrekt geplanten Halslänge von der Art der Fixierung.

Die geplante Schaftgröße entsprach bei 89 der zementfreien Schäfte (46,4 %) und 189 der zementierten Schäfte (vollständig zementierte Prothesen + Hybrid) (55,4 %) der tatsächlich implantierten Größe. Abweichungen der Schaftgröße gab es bei 103 zementfreien (53,6 %) und 152 (44,6 %) zementierten Prothesen.

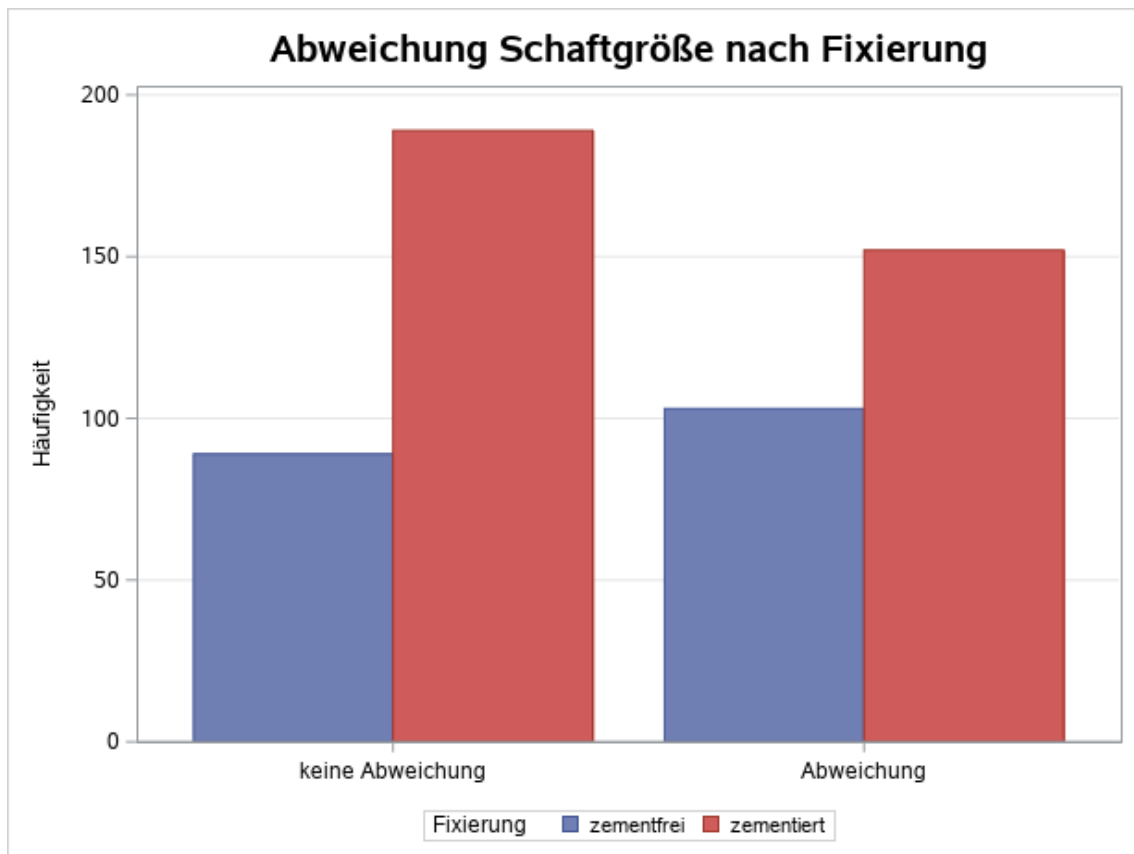


Abbildung 37: Abweichung der Schaftgröße je nach Art der Fixierung.

Um die Nullhypothese „Eine korrekte Planung der Schaftgröße ist unabhängig von der Art der Fixierung“ zu prüfen, wurden die beiden kategorialen Variablen im Chi-Quadrat-Test auf Abhängigkeit getestet. Die asymptotische Signifikanz betrug hier 0,044 und war somit kleiner als das Signifikanzniveau von 0,05. Daher muss die Nullhypothese abgelehnt werden und die Alternativhypothese kann

angenommen werden. Es besteht demnach eine signifikante Abhängigkeit der korrekt geplanten Schaftgröße von der Art der Fixierung im Sinne einer zuverlässigeren Planung bei zementierten Schäften.

Um die Stärke der Abhängigkeit der korrekt geplanten Schaftgröße von der Art der Fixierung zu quantifizieren, wurde der Phi-Koeffizient bestimmt. Dieser betrug -0,087. Somit ist der Zusammenhang der beiden Variablen schwach.

Das Offset entsprach bei 129 zementfreien (67,2 %), 46 zementierten (68,7 %) und 195 Hybrid-Prothesen (71,2 %) der präoperativen Planung, während Abweichungen bei 63 zementfreien (32,8 %), 21 zementierten (31,3 %) und 79 Hybrid-Prothesen (28,8 %) auftraten.

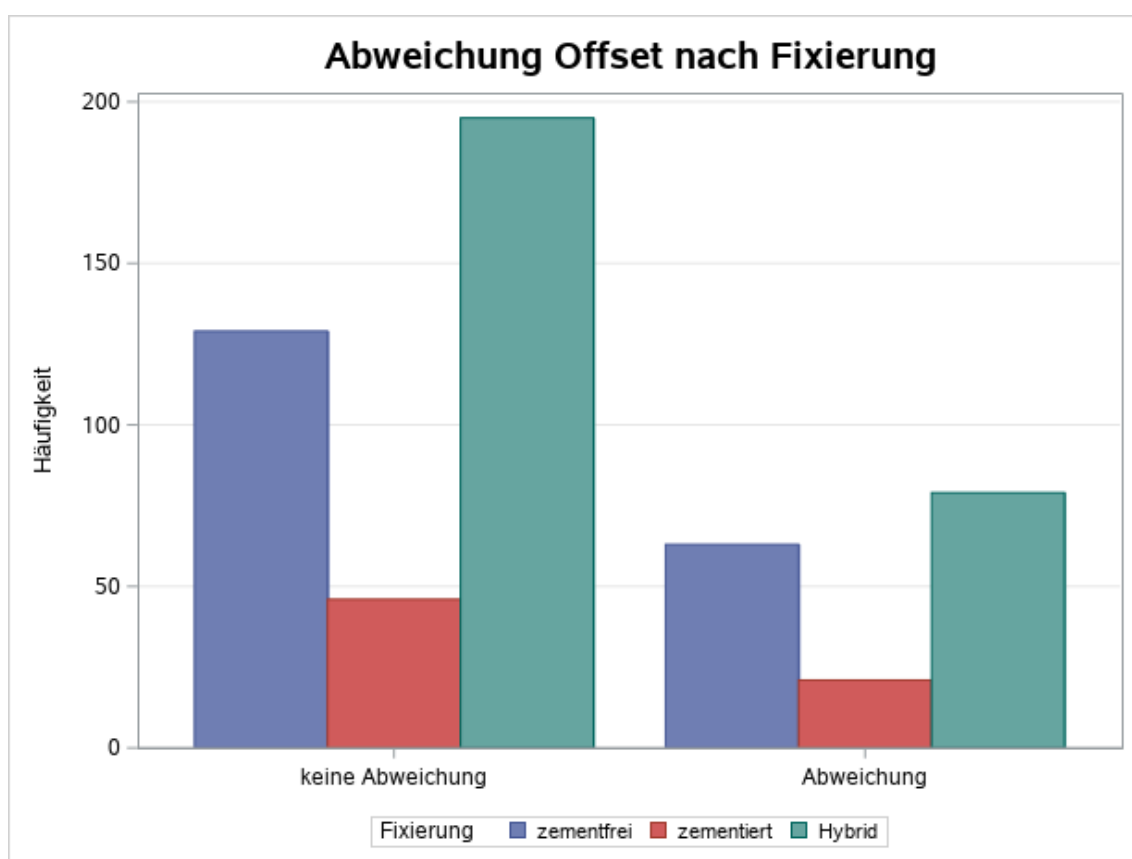


Abbildung 38: Abweichung des Offsets je nach Art der Fixierung.

Um die Nullhypothese „Eine korrekte Planung des Offsets ist unabhängig von der Art der Fixierung“ zu prüfen, wurden die beiden kategorialen Variablen im Chi-Quadrat-Test auf Abhängigkeit getestet. Die asymptotische Signifikanz betrug

hier 0,649 und war somit größer als das Signifikanzniveau von 0,05. Daher muss die Nullhypothese angenommen und die Alternativhypothese verworfen werden. Es besteht keine signifikante Abhängigkeit des korrekt geplanten Offsets von der Art der Fixierung.

Die Planung der Pfannengröße entsprach bei 191 zementfreien (vollständig zementfreie Prothesen + Hybrid) (41,0 %) und 23 zementierten (34,3 %) Pfannen dem postoperativen Ergebnis. Änderungen der Pfannengröße gab es bei 275 Pfannen ohne Zement (59,0 %) und 44 Prothesen mit Zement (65,7 %).

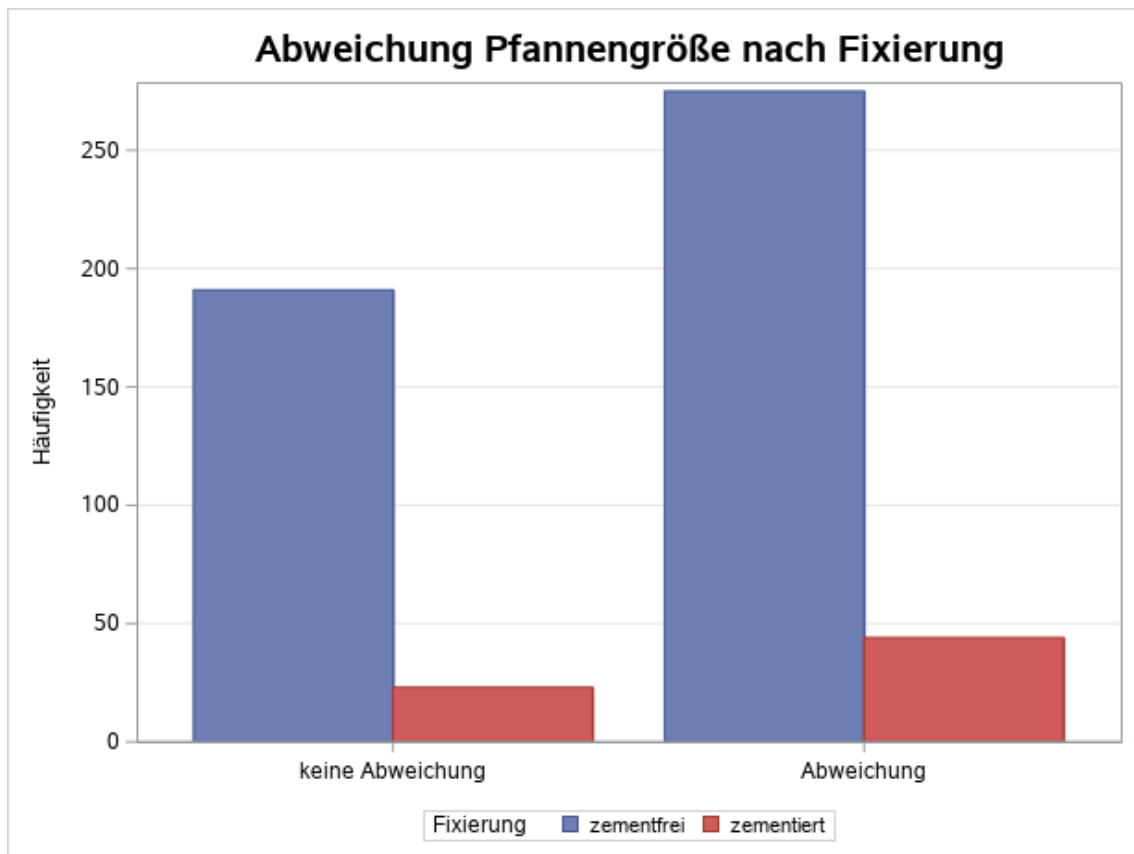


Abbildung 39: Abweichung der Pfannengröße je nach Art der Fixierung.

Um die Nullhypothese „Eine korrekte Planung der Pfannengröße ist unabhängig von der Art der Fixierung“ zu prüfen, wurden die beiden kategorialen Variablen im Chi-Quadrat-Test auf Abhängigkeit getestet. Die asymptotische Signifikanz betrug hier 0,299 und war somit größer als das Signifikanzniveau von 0,05. Daher muss die Nullhypothese angenommen und die Alternativhypothese verworfen

werden. Es besteht keine signifikante Abhängigkeit der korrekt geplanten Pfannengröße von der Art der Fixierung.

3.3. Übereinstimmung von Planung und Ergebnis einer speziell geschulten Person in 100 Fällen

3.3.1. Übereinstimmung der Halslänge

Die mit der Planungssoftware bestimmte Halslänge stimmte bei der speziell geschulten Person in 64 % mit der tatsächlich implantierten Größe überein, während in 36 % eine andere Größe verwendet wurde. Dabei war der eingebaute Prothesenhals in einem Prozent eine Größe kürzer als geplant, in 26 % war er eine Größe länger und in neun Prozent zwei Größen länger als in der Planung der geschulten Person.

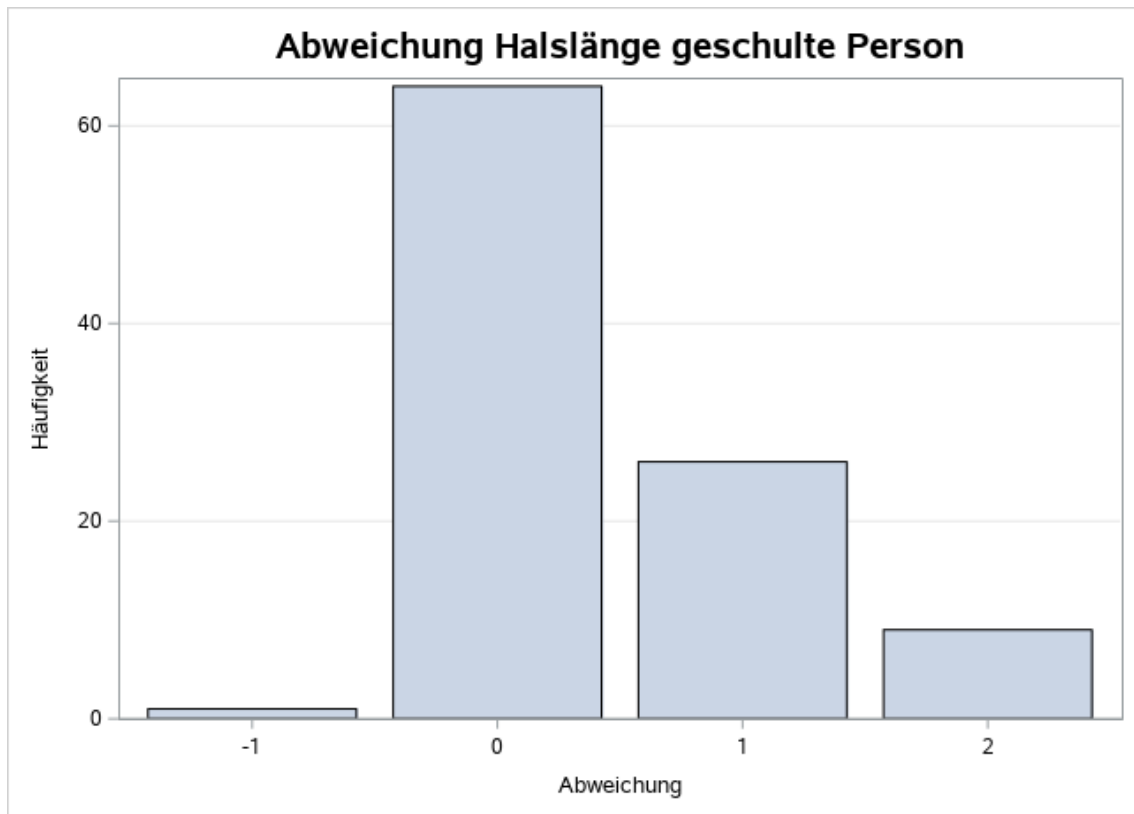


Abbildung 40: Abweichung der Halslänge von der präoperativen Planung der speziell geschulten Person.

3.3.2. Übereinstimmung der Schaftgröße

Die Schaftgröße wurde in 40 % der Operationen korrekt von der geschulten Person geplant. Bei 60 % wich die Planung von der implantierten Schaftgröße ab. Eine der 100 Planungen wurde drei Größen kleiner eingebaut, zehn wurden intraoperativ zwei Größen kleiner gewählt und 29 der 100 Schäfte waren eine Größe kleiner als in der Planung. Bei 14 % entschied man sich für einen Schaft in einer Größe höher. In sechs Prozent wurde auf ein anderes Modell der Schäfte ausgewichen („N.A.“ in Abb. 41).

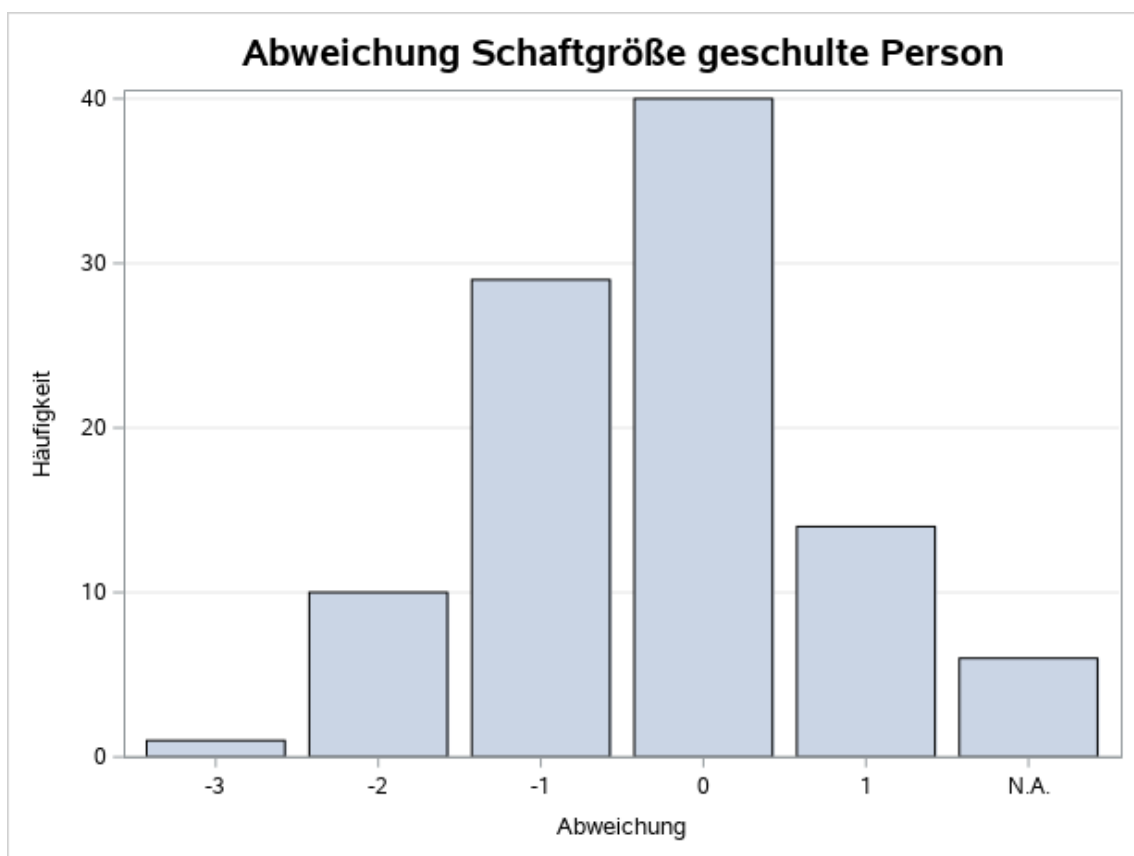


Abbildung 41: Abweichung der Schaftgröße von der präoperativen Planung der speziell geschulten Person.

3.3.3. Übereinstimmung der Offsets

Die Entscheidung über lateralisierten oder standardisierten Schaft wurde von der geschulten Person in 70 % der Planungen korrekt getroffen, 30 % wichen von der Planung ab. Bei neun Prozent fand eine Lateralisierung des Offsets statt („-1“ in Abb. 42), bei 21 % war es andersrum („1“ in Abb. 42).

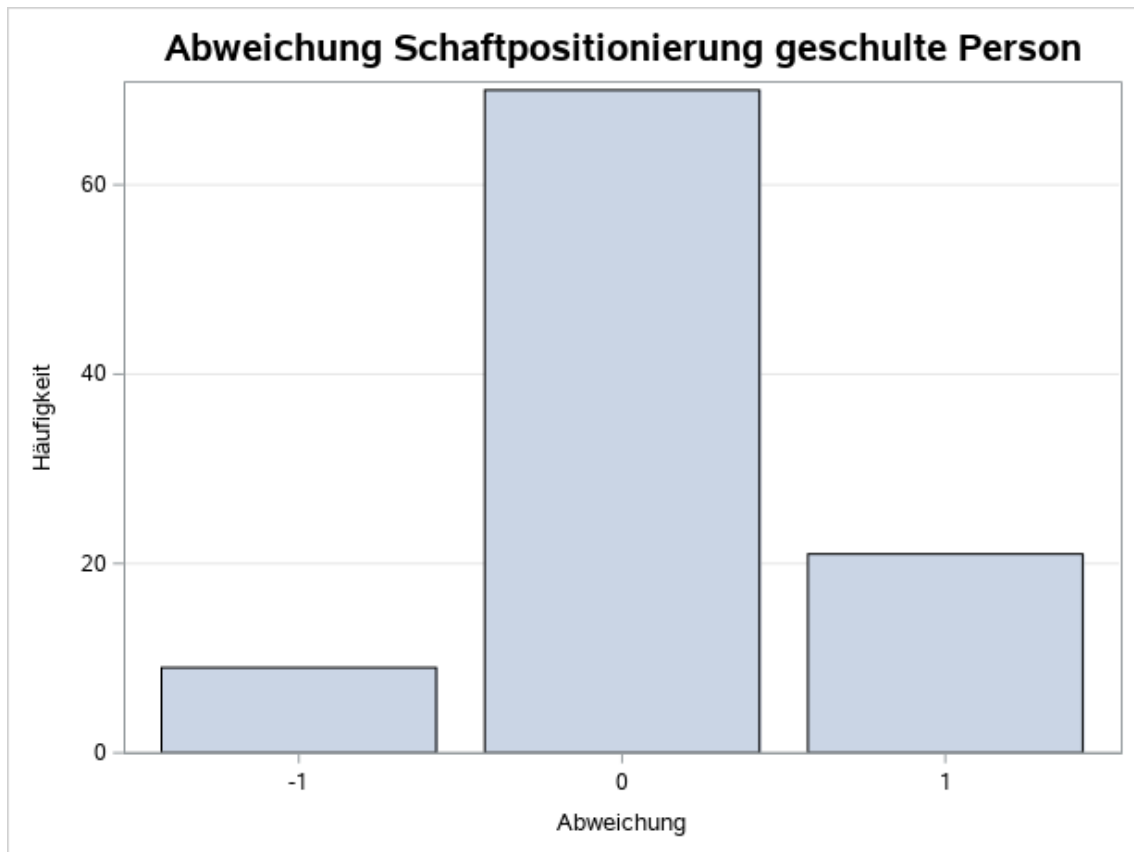


Abbildung 42: Abweichung des Offsets von der präoperativen Planung der speziell geschulten Person.

3.3.4. Übereinstimmung der Pfannengröße

Die implantierte Pfannengröße entsprach in 36 % der Fälle der Planung. Von den 64 abweichenden Planungen wurde die Pfanne bei einem Patienten fünf Größen zu groß geplant, bei drei Patienten vier Größen zu groß, bei vier Patienten drei Größen zu groß, bei weiteren 18 zwei Größen und bei 14 Patienten eine Größe zu groß geplant. Für eine Pfanne in einer Größe größer entschied man sich hingegen bei 13 Patienten, zwei Größen größer bei zwei Patienten und drei Größen größer bei einem Patienten. In acht Fällen entschied man sich für eine Pfanne eines anderen Modells als in der Planung der geschulten Person („N.A.“ in Abb. 43).

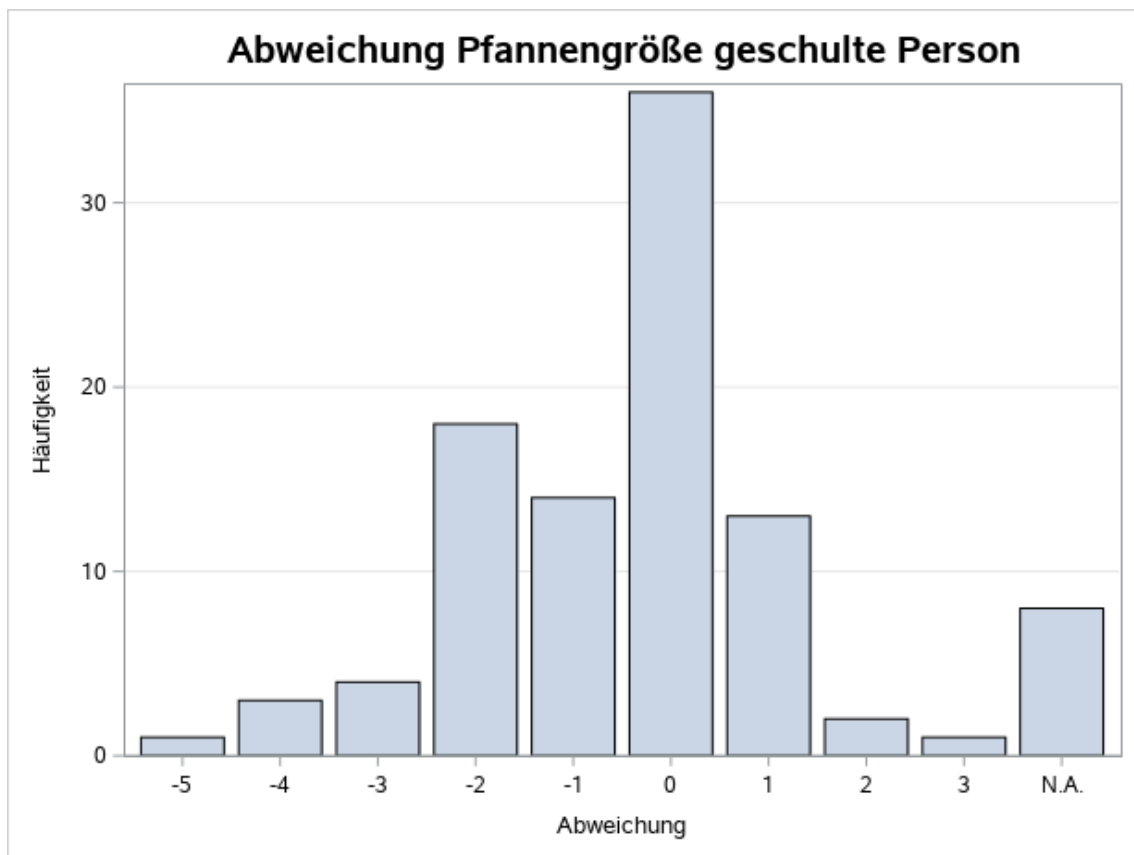


Abbildung 43: Abweichung der Pfannengröße von der präoperativen Planung der speziell geschulten Person.

3.3.5. Übereinstimmung aller vier Parameter

Die korrekte Planung sowohl der Halslänge, der Schaft- und Pfannengröße, als auch des Offsets gelang der geschulten Person bei zwölf Patienten. Bei 88 % wick mindestens eine der Komponenten von der Planung ab.

3.4. Vergleich der Übereinstimmungen der Mitarbeiter der OKS und der speziell geschulten Person

3.4.1. Übereinstimmung der Halslänge

Vergleicht man die Planungen der 100 konsekutiven Patienten, zeigte sich bei der geschulten Person eine Abweichung der Halslänge von durchschnittlich 0,45 und bei den Mitarbeitern der OKS eine Abweichung von 0,50. Die Standardabweichung war mit 0,657 bei der geschulten Person kleiner als die der Mitarbeiter der OKS mit einer Standardabweichung von 0,671. Der t-Test für abhängige Stichproben ergab $t = 0,15$ mit einem Signifikanzwert von $p = 0,882$. Die Mittelwerte der beiden Messungen unterschieden sich im Hinblick auf die Abweichung der Halslänge nicht signifikant voneinander.

3.4.2. Übereinstimmung der Schaftgröße

Der Mittelwert der Abweichung der Schaftgröße betrug bei der geschulten Person 1,08 mit einer Standardabweichung von 1,649 und bei den Mitarbeitern der OKS 0,82 mit einer Standardabweichung von 1,361. Der t-Test für gepaarte Stichproben ergab mit $p = 0,002$ einen signifikanten Unterschied der beiden Mittelwerte ($t = -3,14$). Das 95 %-Konfidenzintervall zwischen -0,848 und -0,192 bestätigte, dass sich die Abweichung der Schaftgröße bei der geschulten Person signifikant von der der Mitarbeiter des OKS unterschied.

3.4.3. Übereinstimmung des Offsets

Die Abweichung des Offsets betrug bei der geschulten Person im Mittel 0,30 mit einer Standardabweichung von 0,461 und bei den Mitarbeitern der OKS durchschnittlich 0,31 mit einer Standardabweichung von 0,461. Im t-Test für abhängige Stichproben zeigte sich mit einem t-Wert von 0,00 keine signifikante Abweichung der Mittelwerte ($p = 1,00$).

3.4.4. Übereinstimmung der Pfannengröße

Bei der Pfannengröße ergab sich ein Mittelwert der Abweichung von 1,55 mit einer Standardabweichung von 1,951 bei der geschulten Person und von 1,29 mit einer Standardabweichung von 1,894 bei den Mitarbeitern der OKS. Im t-Test für gepaarte Stichproben zeigte sich mit $p = 0,056$ knapp kein signifikanter Unterschied der Mittelwerte ($t = -1,93$).

3.5. Zusammenfassung der Ergebnisse:

Die vorliegende Arbeit sollte prüfen, wie zuverlässig die digitale präoperative Planung das postoperative Ergebnis widerspiegelt und ob diese Reliabilität durch die Parameter Alter, Geschlecht, BMI, Operateur und Art der Fixierung beeinflusst wird.

Hinsichtlich der Komponenten der Endoprothese zeigte sich die zuverlässigste Umsetzung der Planung beim Offset des Schaftes (69,4 %), gefolgt vom Prothesenhals (58,9 %) und der Schaftgröße (52,2 %). Die Pfanne (40,2 %) wurde am seltensten in der präoperativ geplanten Größe implantiert. Die korrekte Planung aller vier Komponenten gelang in der OKS bei 10,7 % der Operationen.

Um zu prüfen, ob intensiveres Training der präoperativen Planungen zu einer Verbesserung der Reliabilität führt, wurden die Ergebnisse der Mitarbeiter der OKS mit denen der geschulten Person (Doktorandin) bei 100 ausgewählten Patienten verglichen. Die speziell geschulte Person erzielte bessere Planungen des Prothesenhalses (64 %) und des Offsets (70 %), jedoch schlechtere Planungen der Schaft- (40 %) und Pfannengröße (36 %). Alle vier Komponenten stimmten bei zwölf Prozent der Operationen mit der Planung der geschulten Person überein.

Eine signifikant zuverlässigere Planung sowohl der Halslänge ($p = 0,022$) als auch der Schaftgröße ($p = 0,008$) ließ sich bei weiblichen Patientinnen feststellen. Eine signifikant bessere Reliabilität der korrekten Schaftgröße zeigte sich außerdem bei zementierten Schäften ($p = 0,044$). Die Parameter Alter, BMI und Operateur zeigten keine signifikante Beeinflussung der Reliabilität.

Signifikante Betrachter-abhängige Abweichungen der Planungen zeigten sich lediglich hinsichtlich einer zuverlässigeren Auswahl der Schaftgröße durch die Mitarbeiter der orthopädischen Klinik gegenüber der geschulten Person ($p = 0,002$). Bei der Halslänge, dem Offset und der Pfannengröße zeigte sich keine signifikante Differenz.

4. Diskussion

Die Implantation einer Hüftendoprothese ist die Therapie der Wahl bei fortgeschrittener, deutlich symptomatischer Koxarthrose. Weitere Indikationen können eine Hüftkopfnekrose oder Schenkelhalsfrakturen sein. Die stetig steigende Lebenserwartung, die mit einer Zunahme degenerativer Veränderungen wie Koxarthrose einhergeht, sowie ein gesteigener Patientenanspruch führen zu einer Zunahme der Operationszahlen. Deutschlandweit wurden 2013 283 künstliche Hüftgelenke pro 100.000 Einwohner und Jahr implantiert. 2017 stieg diese Zahl bereits auf über 300 Implantationen pro 100.000 Einwohner an [85]. Aktuell werden in Deutschland über 200.000 Hüftprothesen pro Jahr implantiert. Damit liegt Deutschland diesbezüglich im internationalen Vergleich mit an der Spitze [5]. Der wesentliche Erfolg des Eingriffes hängt von der korrekt durchgeführten Operation und den für den jeweiligen Patienten angepassten Implantaten ab. Die Standzeit einer Hüftendoprothese beträgt heute bis zu 20 Jahre. Komplikationen, die zum frühzeitigen Versagen der Hüftprothese führen können und eine Prothesenwechseloperation notwendig machen, sind für die Patienten belastend, teuer und sollten wenn immer möglich vermieden werden [3], [68]. Die häufigsten Gründe für das Prothesenversagen sind aseptische Lockerungen, Infekte, Luxationen und Frakturen [33].

Eine korrekte präoperative Planung ist wesentlich für die Ergebnisqualität einer Endoprothese verantwortlich [30], [77]. Neben der Rekonstruktion des Rotationszentrums mit korrektem Offset der Prothese, können bereits im Vorfeld der Operation durch eine gewissenhafte Planung die Positionierung und Größe von Pfanne und Schaft bestimmt werden. Ziel ist das stabile, luxationsgesicherte Einbringen der Prothese bei symmetrischer Beinlänge [32].

Ziel dieser Studie war es zu prüfen, wie sicher die präoperative digitale Prothesenplanung die tatsächlich eingesetzte Prothese vorhersagen kann und welche Parameter dieses Ergebnis beeinflussen können.

4.1. Stärken- und Schwächenanalyse

Studiendesign:

Bei der hier vorliegenden Untersuchung handelt es sich um eine retrospektive Beobachtungsstudie. Der Nachteil dabei ist die niedrige Evidenzklasse von III auf einer Skala von I-IV im Vergleich zur prospektiv randomisierten Studie (Evidenzklasse Ib). Der Vorteil ist die einfachere Durchführung mit geringeren Kosten [2].

Prospektive Untersuchungen zur präoperativen Planung der Prothesengrößen sind bislang wenige und nur in kleiner Fallzahl publiziert [13], [22], [24], [40], [47], [59], [62], [69], [96], [101], [102]. Die Patientenzahlen variieren zwischen 18 [62] und maximal 110 Probanden [59]. Zur Bewertung der Planungssicherheit sind aber nicht zwingend prospektive Untersuchungen erforderlich, weil die gleichen Daten erhoben werden wie bei der retrospektiven Auswertung. Wichtiger ist hier eine hohe Fallzahl zu erreichen, um möglichst valide Aussagen zu erhalten.

Die retrospektiven Analysen zur präoperativen Planung haben meist nicht viel mehr Teilnehmer [8], [20], [28], [45], [70], [73], [76], [79], [89], [100]. Lediglich Ding et al. berichten über 316 Patienten [26] und Dutka et al. über 348 Patienten [27]. Nur wenige Studien weisen ein ähnlich großes Beobachtungskollektiv auf wie die eigene Untersuchung. Layher et al. berichten über 672 Patienten [65], Dammerer et al. untersuchten 620 Patienten [20] und Scholler beschreibt 632 Patienten [99].

Patientenkollektiv:

Wesentlich für eine statistisch relevante Aussage ist ein ausreichend großes Untersuchungskollektiv. Nach einer Poweranalyse wären bei einem Chi-Quadrat-Test rechnerisch bereits mindestens 191 Patienten ausreichend, um ein signifikantes Ergebnis mit hoher Relevanz zu erhalten.

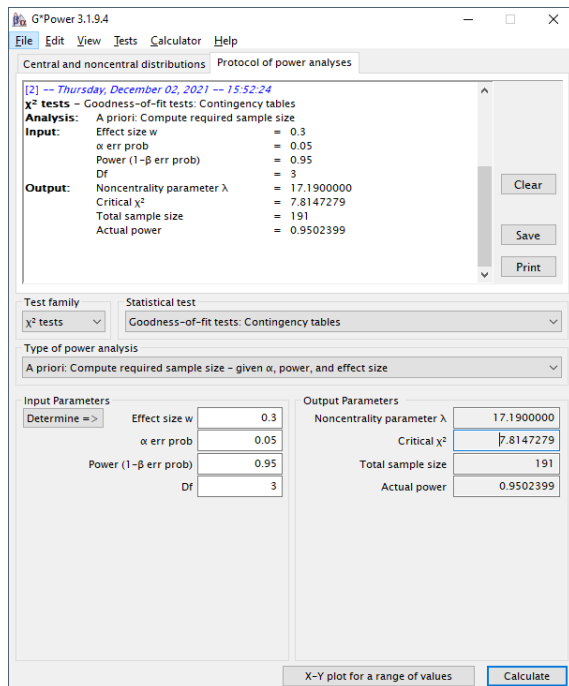


Abbildung 44: Poweranalyse zur Berechnung der benötigten Größe des Kollektivs.

Der Vorteil der eigenen Untersuchung ist die sehr hohe Fallzahl von 533 Patienten. Ein weiterer Vorteil des Patientenkollektives ist, dass fast alle Patienten, die primär im Jahr 2018 mit elektiven Hüftprothesen versorgt wurden, bei der Untersuchung berücksichtigt werden konnten. Lediglich ein geringer Datensatz wurde wegen unvollständiger Dokumentation ausgeschlossen. Somit besteht eine sehr homogene Patientengruppe mit hohem Aussagewert.

Einwilligung:

Da es sich um eine retrospektive Studie handelt, konnte eine Einwilligung der Patienten zur Auswertung der Planungsdaten nicht explizit eingeholt werden. Allerdings verpflichteten sich alle Patienten bei Aufnahme schriftlich, dass sie im Rahmen wissenschaftlicher Auswertungen und der Weiterverarbeitung ihrer Daten einverstanden sind. Zusätzlich erklärten sie ihr Einverständnis zur Dokumentation ihrer Daten im Endoprothesenregister der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie. Das allgemeine Interesse rechtfertigte hier die Durchführung des Vorhabens, da die klinische Relevanz der Ergebnisse keine negativen Auswirkungen auf bereits behandelte Patienten,

dafür aber voraussichtlich positive Auswirkungen auf zukünftige Eingriffe anderer Patienten hat. Daher wurden die Voraussetzungen von § 13(1) LDSG-Anpassungsgesetz beziehungsweise § 27 BDSG-Anpassungsgesetz erfüllt [9], [64]. Die Ethikkommission Tübingen war mit diesem Vorgehen in der eigenen Arbeit einverstanden (Projekt-Nummer 356/2020BO).

Datenerhebung:

Eine Schwäche besteht in einem eventuellen Messfehler bei der Durchführung der Planungsrontgenaufnahmen. Hier ist es durch die nicht exakte Positionierung der Referenzkugel möglich einen Messfehler durch Abstandsänderungen von bis zu 10 % zu erzeugen (s. Seite 24). Insbesondere bei adipösen Patienten könnte dies zu falschen Planungsdaten führen. Dies hatte jedoch in der eigenen Auswertung keine signifikante Bedeutung, denn beim Vergleich der Bemessung der richtigen Komponenten bestand kein statistisch relevanter Zusammenhang zwischen BMI und Wahl der korrekten Prothesengröße.

Eine weitere Schwäche der Datenerhebung könnte die Messung der Daten an der Auswertungsstation durch unterschiedlich erfahrene Untersucher sein. Die Auswertungen mit der Planungssoftware wurden regelhaft durch Assistenzärzte vorgenommen, während die Operation überwiegend von Oberärzten und vom Chefarzt ausgeführt wurden. Bei Patienten mit fortgeschrittenen arthrotischen Veränderungen konnte das Hüftkopfdrehzentrum nur mit einer gewissen Ungenauigkeit bestimmt werden, da dessen Festlegung mittels der Software über einen idealisierten Kreis erfolgte. Gleiches galt für die Planung des Schaftes, die sich je nach Rotation des Beines aufgrund der Dreidimensionalität der Prothese im Röntgenbild nicht exakt bestimmen ließ. Allerdings wurden alle Fälle in der präoperativen Besprechung gemeinsam mit Assistenzärzten, Oberärzten und dem Chefarzt besprochen und präoperativ die Planungen kontrolliert.

4.2. Diskussion der Ergebnisse

Planung mit Schablonen:

Eggl et al. publizierten 1998 in ihrer Studie 100 Patienten, die alle mit Schablone präoperativ vermessen wurden. In 92 % der Fälle wurde der korrekte Schaft und in 90 % der Fälle die korrekte Pfannengröße bestimmt [28]. Eine so gute Vorhersage wurde in anderen Studien nicht mehr erreicht und muss daher kritisch hinterfragt werden. Kosashvili et al. konnten 2009 eine kleine Gruppe von 18 Patienten prospektiv untersuchen. In 74 % wurde mit Schablonen die richtige Schaftgröße, in 58 % die richtige Pfannengröße und in 64 % die richtige Halslänge bestimmt. Bei einem Vergleich mit einer 2D-Planung mit Software wurde kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt [62]. Wu et al. verglichen jeweils 30 Patienten mit Schablonenplanung und 3D-Planung nach präoperativer Computertomographie. Mit Schablonen wurden in 53,3 % der richtige Schaft und in 56,7 % die richtige Pfanne bestimmt. Nach der 3D-Planung konnte der Schaft in 83,3 % und die Pfanne in 90,0 % signifikant besser vorausgesagt werden [119]. Eine ähnlich schlechte Planung mit Schablonen beschreiben Mclawhorn et al. Bei 40 Patienten ließ sich der Schaft in nur 33 % und die Pfanne in 48 % korrekt planen. Bei einer 2D-Planung konnte der Schaft in 60 % und die Pfanne in 70 % korrekt bestimmt werden [73]. Erstaunlich gute Ergebnisse erreichten Miashiro et al. mit der Schablonenplanung in den Jahren 2005 - 2009 bei 56 untersuchten Patienten. In 82,2 % wurde der korrekte Schaft und in 78,6 % die korrekte Pfanne bestimmt. Beide Parameter wurden bei 48,2 % der Patienten korrekt vorherbestimmt [76]. In einer prospektiven vergleichenden Studie konnten Si et al. 90 Patienten mit Schablonen und 2D-Messungen vergleichen. Mit den Schablonen konnte der Schaft in nur 25,6 % und die Pfanne in nur 30,0 % signifikant schlechter vorhergesagt werden als bei der 2D-Planung. Hier betrug die Genauigkeit für den Schaft 40,0 % und für die Pfanne 43,3 % [102]. Bezieht man bei der Planung eine Größe größer und kleiner mit ein, lag die Vorhersage mit den Schablonen bei 53,3 % für den Schaft und bei 61,1 % für die Pfanne. Nach der 2D-Planung war der Schaft hier in 84,4 % und die Pfanne in 78,9 % der Fälle auf \pm eine Größe

richtig bestimmt. Der Unterschied zwischen Schablone und 2D-Planung war bei der Schablone hoch signifikant schlechter [102].

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Planung mit Schablonen deutlich schlechter ist als bei der Software-gestützten Planung. Sie sollte daher nicht mehr eingesetzt werden.

Planung mit 2D-Software:

Eines der größten Kollektive wurde von Scholler beschrieben. Bei 632 Patienten wurde präoperativ mit der 2D-Softwaremessung in 41,8 % der richtige Schaft und in 36,6 % die richtige Pfanne vorhergesagt [99]. Damit war die Trefferquote dieser retrospektiven Untersuchung geringer als in der eigenen Untersuchung mit 52,2 % und 40,2 % für die korrekte Bestimmung von Schaft und Pfanne. Layher et al. untersuchten 607 Schaftversorgungen und 656 Pfannenversorgungen und erreichten ähnliche Werte bei der präoperativen 2D-Planung. In 51 % der Fälle wurde der Schaft und in 43 % die Pfanne korrekt bemessen [65]. In einer weiteren großen Studie berichten Dammerer et al. bei 620 untersuchten Hüftprothesen eine Trefferquote bei der 2D-Planung für den Schaft von 52 % und bei der Pfanne bei 51 % [20].

In der eigenen Untersuchung konnten bei 533 Patienten mit der 2D-Planung in 52,2 % der korrekte Schaft, in 40,2 % die korrekte Pfanne und in 58,9 % der richtige Hals vorhergesagt werden. In 10,7 % stimmten alle Parameter überein. Damit lassen sich mit dieser einfachen Messmethode sehr ähnliche Werte wie in der Literatur erreichen. Wenn man den korrekten Vorhersagebereich auf \pm eine Größe ausweitet, konnte in der eigenen Untersuchung sogar für den Schaft eine Genauigkeit von 83 %, für die Pfanne von 63 % und für den Hals von 91 % erreicht werden.

Damit kann mit der 2D-Planung eine sehr gute Vorhersage für die Komponentengrößen getroffen werden. Dies erleichtert das Vorgehen des Operateurs, der bei größeren Abweichungen intraoperativ Lage und Größe

überprüfen muss und zur Kontrolle zusätzlich sogar intraoperativ durchleuchten sollte.

Planung mit 3D-Software:

Deutlich bessere Planungswerte lassen sich bei der CT-Vermessung erreichen. Hier kommen besondere CT-Protokolle zum Einsatz, um die Strahlenbelastung für den Patienten zu minimieren [48], [49].

Sariali et al. verglichen prospektiv jeweils 30 Patienten mit 2D- und 3D-Planung. Bei der 3D-Planung konnte eine hoch signifikant bessere Vorhersage mit 100 % für den Schaft, 96 % für die Pfanne und 96 % für beide Komponenten erreicht werden als bei der 2D-Planung (Schaft und Pfanne jeweils nur 43 % und für beide Komponenten 16 %) [96]. Sariali et al. konnten in einer weiteren retrospektiven Studie mit 154 Patienten korrekte 3D-Planungen bei 96 % der Schäfte, bei 97 % der Pfannen und 100 % der Halslängen erreichen. Bei keinem der Patienten kam es intraoperativ zu einer periprothetischen Fraktur und innerhalb eines fünf Jahres Follow up zu einer Luxation [95]. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Ding et al. bei einem retrospektiven Vergleich von 316 Patienten mit primärer TEP, die sowohl mit 2D- als auch mit 3D-Planung vermessen wurden. Bei der 3D-Planung wurde der Schaft in 87,7 % und die Pfanne in 94,0 % korrekt bestimmt, bei der 2D-Planung waren es für den Schaft nur 58,9 % und die Pfanne 65,2 %. Der Unterschied war statistisch signifikant [26].

Hassani et al. untersuchten 50 Patienten prospektiv mit der 3D-Planung. Er konnte in 100 % den Schaft, in 94 % die Pfanne und in 88 % den Hals präoperativ korrekt bestimmen [40]. Er beschreibt in seiner Arbeit zwar eine sehr gute Vorhersage, kritisiert aber auch den hohen Zeit- und Kostenaufwand und die hohe Strahlenbelastung von bis zu 4 mSv. Er empfiehlt die 3D-Planung daher nur bei besonderen Situationen wie Dysplasie oder Revisionsoperationen [40]. Huppertz et al. untersuchten Kosten, Aufwand und Strahlenbelastung bei der 3D-Planung bei Hüftprothesen. Für jeweils eine Untersuchung waren der Radiologe im Mittel vier Minuten, der Chirurg 16 Minuten, die MTRA zwölf Minuten und eine

Begleitperson vier Minuten beschäftigt. Zuzüglich zu den Personalkosten wurden die reinen CT-Kosten mit dem einfachen Satz von 52,80 € berechnet. Die Nutzungszeit im CT wurde mit durchschnittlich elf Minuten gemessen. Auch hier wurden die Patienten einer Strahlung mit einer mittleren Effektivdosis von 4 mSv ausgesetzt [49].

In der eigenen Untersuchung wurden 533 Patienten mit primärer Hüftprothese in einem Endoprothesenzentrum der Maximalversorgung in einem Jahr eingeschlossen. Alleine im CT wären in einem Jahr Kosten von 28.142,40 € ohne Personal angefallen. Das CT wäre für 5.863 Minuten, 97,7 Stunden oder 12,2 Arbeitstage ausschließlich für die präoperative Planung belegt gewesen. Huppertz et al. beschreiben bei der 3D-Planung für Hüftprothesen bei 390 Patienten bei besonders angepassten lowdose Protokollen eine Effektivdosis von 2,8 mSv pro Patient und ein mittleres Dosislängenprodukt (mDLP) von 235 mGy*cm [48]. Bei einer normalen knöchernen diagnostischen CT-Untersuchung des Beckens werden bis maximal 260 mGy*cm als diagnostische Referenzwerte zugelassen [16]. Jede Strahlenbelastung muss aber nach dem Strahlenschutzgesetz begründet und überflüssige Untersuchungen vermieden werden [10].

Die 3D-Planung hat demnach zwar die beste Vorhersagekraft für die definitive Hüftprothese, sollte aber wegen der erheblichen Belastung für Patienten und Personal und des höheren Kosten-, Zeit- und Ressourcenaufwandes nur in Sonderfällen wie Revisionsendoprothetik oder schweren Dysplasiehüften durchgeführt werden. In der Routinediagnostik findet die 3D-Planung keinen Platz.

Eine positive Vorhersage wie im eigenen Kollektiv für die korrekten Komponenten mit einer Größe kleiner oder größer für den Schaft von 83,86 % für der Pfanne von 76,36 % und den Hals von 91,56 % stellt ein im Vergleich zur Literatur gutes Ergebnis dar.

Mögliche Parameter zur Beeinflussung der Planungsdaten:

Durch ein höheres Gewicht der Patienten wäre es denkbar, dass es bei den Planungsdaten zu Veränderungen oder Verzerrungen kommen könnte. So würde eine nicht optimal positionierte Planungskugel zu möglichen Abweichungen von bis zu 10 % führen (s. Seite 24). Scholler untersuchte bei 632 Patienten, die einer präoperativen 2D-Planung unterzogen wurden, die Abhängigkeit von Planungssicherheit und Body-Mass-Index. Der Autor konnte lediglich bei den Schäften einen signifikanten Zusammenhang von Planung und BMI aufzeigen, wobei Fehlplanungen häufiger bei Übergewichtigen als bei Normalgewichtigen auftraten. Die Erfahrung des Operateurs zeigte nur hinsichtlich der Schäfte bei Oberärzten eine signifikant bessere Übereinstimmung als bei Assistenzärzten. Das Geschlecht und das Alter der Patienten nahmen keinen Einfluss [99]. Huo et al. konnten bei 53 primären Prothesen, die sowohl mit 2D- als auch mit 3D-Planung versehen wurden, keinen statistisch signifikanten Zusammenhang vom BMI und der korrekt geplanten Prothesengröße nachweisen [47]. Dies entspricht den Messungen in der eigenen Studie. Auch hier waren weder das Alter, noch das Gewicht (BMI) oder der Operateur beeinflussende Faktoren für die zuverlässige Planung. Hinsichtlich des Geschlechts jedoch gab es bei Frauen signifikant bessere Planungsergebnisse der Halslänge und der Schaftgröße. Grund dafür könnte der bei Männern härtere Knochen sein, der es oft nur ermöglicht eine kleinere Größe als in der Planung einzubringen. Auch die Fixationstechnik scheint die Reliabilität der korrekten Schaftgröße zu beeinflussen, da in der eigenen Arbeit signifikant mehr zementierte Schäfte korrekt implantiert wurden. Dies könnte sich dadurch erklären lassen, dass bei zu klein geplanten Schäften intraoperativ durch Auffüllen mit Zement etwas mehr Fehlplanung ausgeglichen werden kann, als bei den zementfreien Pressfit-Schäften.

Die Erfahrung des Planers hingegen spielt eine Rolle. Waldstein et al. berichten über 120 Patienten, die mit 2D-Planung von zwei verschiedenen Personen vermessen wurden. Einmal wurde die Planung von einem Studenten und einmal durch einen erfahrenen Operateur durchgeführt. Erst nach 50 bis 100 Messungen und entsprechender Anleitung konnte der Student ähnliche Werte

wie die erfahrene Person erreichen [112]. Auch Buller et al. untersuchten bei 43 Patienten mit 2D-Planung die Vergleichbarkeit von zwei geschulten Untersuchern und hatten Übereinstimmungen von 96 % bei den Schäften und von 94 % bei den Pfannen [8]. Mainard et al. berichten über 31 Prothesenplanungen mit 2D und 3D. Übereinstimmung zwischen den Untersuchern wurde in 71 % der 2D-Planungen und in 84 % der 3D-Planung für die Pfanne erreicht [70]. In der Untersuchung von Mahmood et al. wurden die 2D-Planungen der 90 Patienten mehrfach von drei verschiedenen Personen durchgeführt. Eine Übereinstimmung zwischen den unterschiedlichen Betrachtern wurde in über 80 % erreicht. Auch bei der Wiederholbarkeit der Untersuchungen durch einen Planer wurde eine Übereinstimmung von über 80 % erreicht [69]. Dies bedeutet, dass es sowohl innerhalb des gleichen Untersuchers, als auch zwischen verschiedenen Untersuchern, Abweichungen geben kann. Diese Abweichungen könnten durch die nicht ganz genaue 2D-Messmethode erklärt werden. Nicht immer gelingt es bei fortgeschrittener Arthrose den Planungskreis für die Pfanne exakt mit korrektem Drehzentrum anzulegen. Auch beim Schaft könnten kleine Abweichungen durch die nicht immer genaue Abgrenzung von Spongiosa und Kortikalis entstehen und so zu unterschiedlichen Schaftplanungen führen.

Auch in der eigenen Untersuchung kam es bei der korrekten Schaftmessung bei der geschulten Person zu schlechteren Planungsergebnissen im Vergleich zu den Mitarbeitern der OKS. Während die geschulte Person die korrekte Größe des Schaftes in 40 % bestimmte, konnten die Mitarbeiter der OKS den Schaft in 52,2 % signifikant besser bestimmen. Grund dafür könnte die deutlich größere klinische und operative Erfahrung der Assistenzärzte gegenüber der nur geschulten Person sein. Die Mitarbeiter der OKS arbeiten bereits seit vielen Jahren mit der Planungssoftware, während die geschulte Person lediglich 100 Planungen durchgeführt hat. Bei der korrekten Halslänge und der Pfanne bestand jedoch kein signifikanter Unterschied. Die Halslänge wurde von der geschulten Person in 64 % und den Mitarbeitern des OKS in 58,9 % getroffen. Die Pfanne wurde von der geschulten Person in 36 % und von den Mitarbeitern des OKS in 40,2 % richtig vorhergesagt. Bezieht man auch eine Größe kleiner

oder größer mit ein, betrug die Genauigkeit bei der geschulten Person beim Schaft 83 %, der Pfanne 63 % und bei der Halslänge 91 %. Bei den Mitarbeitern der OKS wurde der Schaft in 83,9 %, die Pfanne in 76,4 % und die Halslänge in 91,6 % auf \pm eine Größe richtig vorhergesagt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die präoperative 2D-Planung von einer geschulten Person mit einer hohen Genauigkeit durchgeführt werden kann. Die ersten hundert Messungen sollten unter Anleitung und Kontrolle erfolgen. Im Schnitt benötigt eine komplette 2D-Messung mit Planung circa 30 Minuten. Bei 533 Messungen im Jahr würden knapp sieben Arbeitswochen anfallen mit einem Stellenkontingent von 13 %.

Klinische Relevanz:

Die Wahl der richtigen Implantatgröße ist von großer Bedeutung, da falsch dimensionierte Implantate erhebliche Komplikationen verursachen können.

Grimberg et al. berichten, dass die aseptische Lockerung für über ein Drittel aller Komplikationen der Hüftendoprothetik verantwortlich ist und damit die häufigste Indikation für Folgeeingriffe darstellt. Luxationen und periprothetische Frakturen sind mit jeweils zwölf Prozent ebenfalls häufig auftretende Komplikationen, die es zu vermeiden gilt [33].

Aseptische Lockerung:

Die aseptische Lockerung ist ein häufiges Langzeitrisiko. Zu den Risikofaktoren für die aseptische Prothesenlockerung zählen patientenimmanente Faktoren wie Übergewicht, die Knochenqualität und das Aktivitätslevel des Patienten, die durch die Operation nicht beeinflusst werden können. Eine korrekte präoperative Planung des operativen Vorgehens hingegen hat wesentliche Einflüsse auf das Ergebnis und damit die Standzeit des Implantates [77].

Ein wesentlicher Grund für die aseptische Lockerung ist ein unterdimensioniertes Implantat, sowohl am Schaft, als auch an der Pfanne. Schmidutz et al. konnten

nachweisen, dass bereits geringfügige Unterdimensionierung eines Hüftprothesenschaftes signifikant häufiger und früher zu Lockerung führte. An Kunstknochen wurden zementfreie CLS Spotorno Schäfte eingebracht, anschließend dynamisch belastet und die dreidimensionalen Mikrobewegungen gemessen. Bereits um eine Größe zu klein eingebrachte Schäfte wiesen eine signifikant höhere Mikrobeweglichkeit im proximalen und mittleren Prothesenbereich auf. Die Autoren schlussfolgerten, dass nur optimal sitzende Implantate das geringste Risiko zur aseptischen Lockerung haben [98]. Daher ist eine optimale Planung präoperativ und die korrekte Implantierung wichtig, um das Risiko einer aseptischen Lockerung zu minimieren.

In der Orthopädischen Klinik Sindelfingen traten nach den Daten der Qualitätssicherung im Gesundheitswesen 2018 bei vollständiger präoperativer Planung keine Lockerungen während des stationären Aufenthaltes auf [58]. Bundesweit betrug die Rate der Lockerungen 0,23 % [52].

periprothetische Frakturen:

Faschingbauer et al. geben bei 0,3 % der zementierten und bei 5,4 % der zementfreien Hüft-TEPs periprothetische Frakturen an [29]. Gründe hierfür können intraoperativ zu groß gewählte Raspelgrößen sein, die beim Einschlagen das Femur sprengen können [77]. Die gute präoperative Planung minimiert das Risiko einer periprothetischen Fraktur, da der Operateur bereits vor der Operation die zu erwartende Größe kennt. In der Orthopädischen Klinik Sindelfingen traten nach den Daten der Qualitätssicherung im Gesundheitswesen 2018 bei vollständiger präoperativer Planung nur in 0,35 % der Fälle periprothetische Frakturen auf [58]. Bundesweit betrug die Rate 1,04 % [52].

Luxation:

Laut des Schottischen Prothesenregisters treten Luxationen nach 1,9 % der Operationen auf [75]. Ursache für eine Luxation kann einerseits ein

traumatisches Ereignis sein, häufig ist der Grund aber auch eine nicht optimale Positionierung der Pfanne. Zu steil stehende Pfannen mit einem vergrößerten Inklinationswinkel können bei Adduktion des gestreckten Beines zur Luxation führen. Zusätzlich gelten zu kleine Hüftköpfe als Risikofaktor für Luxationen, da die sogenannte „Jumping-Distanz“ klein ist und somit schnell überwunden werden kann [21], [46], [106].

Somit stellen die korrekt gewählten Pfannen- und Kopfgrößen einen wesentlichen Indikator zur Vermeidung von Luxationen auf. In der Orthopädischen Klinik Sindelfingen traten nach den Daten der Qualitätssicherung im Gesundheitswesen 2018 bei vollständiger präoperativer Planung nur in 0,18 % der Fälle Luxationen auf [58]. Bundesweit betrug die Rate 0,61 % [52].

Qualitätssicherung:

Die präoperative Prothesenplanung ist laut Anforderungskatalog für zertifizierte Endoprothetikzentren Voraussetzung für eine Prothesenimplantation. Jeder Patient muss präoperativ einer Planung unterzogen werden [35]. Dies ist eine wichtige Maßnahme zur Qualitätssicherung. Auch in der OKS werden die Messungen bei jedem Patienten durchgeführt. Zusätzlich werden die Ergebnisse in der präoperativen Visite und am Morgen der Operation demonstriert und überprüft. Im OP-Saal sind die Planungsbilder während der Operation auf dem Monitor aufgerufen, um einen reibungsfreien Ablauf zu gewährleisten. Periprothetische Frakturen, aseptische Lockerungen und Luxationen sollen so auf ein Minimum reduziert werden.

Schlussfolgerung:

Die Planung mit Schablonen ist wegen der geringen Genauigkeit heute nicht mehr die Technik der Wahl. Die 2D-Planung hat sehr gute Ergebnisse, insbesondere, wenn eine Größe kleiner oder grösser mit einbezogen wird. Sie ist ein wichtiger Bestandteil der Qualitätskontrolle und gibt dem Operateur eine gute Sicherheit bei der korrekten Dimensionierung. Eine 3D-Planung sollte wegen der

Strahlen- und Kostenbelastung nur in Sonderfällen erfolgen. Eine geschulte Person mit mindestens 50 überprüften Untersuchungen kann die präoperative Planung vornehmen. Es ist nicht zwingend erforderlich dies von ärztlichem Personal durchführen zu lassen.

4.3. Beantwortung der aufgestellten Hypothesen

Die präoperativen Messparameter unterscheiden sich von den tatsächlichen postoperativen Werten.

Durch eine präoperative 2D-Planung lassen sich der Schaft in 52,2 %, die Pfanne in 40,2 % und die Halslänge in 58,9 % richtig bestimmen. Auf \pm eine Größe kann der Schaft in 83,9 %, die Pfanne in 76,4 % und die Halslänge in 91,6 % richtig bestimmt werden.

Die vorhandenen Abweichungen sind abhängig von den patientenimmanenten Parametern, der Wahl der Prothesenverankerung und der Erfahrung des Operateurs.

Weder die patientenimmanenten Parameter Alter und BMI, noch die Erfahrung des Operateurs hatten einen signifikanten Einfluss auf die Zuverlässigkeit der Planung. Lediglich hinsichtlich des Geschlechts fiel bei Frauen eine signifikant bessere Planung der Schaftgröße und der Halslänge auf, die sich durch den härteren Knochen bei Männern und der dadurch häufig kleiner gewählten Prothesengröße erklären lassen könnte. Ein weniger starker aber dennoch signifikanter Unterschied bezüglich der Reliabilität ließ sich außerdem bei der Schaftgröße feststellen, die bei zementierten Schäften besser übereinstimmte als bei zementfreien Schäften, da intraoperativ mehr Fehlplanung durch Auffüllen mit Zement ausgeglichen werden kann.

Die präoperativen Endoprothesen-Planungen variieren in Abhängigkeit vom Betrachter.

Ein signifikanter Unterschied bei der Bemessung der richtigen Größe lag nur bei der Schaftgröße vor (40 % bei der geschulten Person vs. 52,2 % bei den Mitarbeitern der OKS). Die signifikant höhere Reliabilität der Mitarbeiter der OKS lässt sich durch die jahrelange klinische und operative Erfahrung der Ärzte erklären, während die speziell geschulte Person hier nur begrenzte Erfahrung

und zu wenig Einarbeitung hat. Bei der korrekten Halslänge und der Pfannengröße bestand jedoch kein signifikanter Unterschied. Die Halslänge wurde von der geschulten Person in 64 % und den Mitarbeitern des OKS in 58,9 % getroffen. Die Pfanne wurde von der geschulten Person in 36 % und von den Mitarbeitern des OKS in 40,2 % richtig vorhergesagt. Auf \pm eine Größe genau betrug die Trefferquote bei der geschulten Person 83 % für den Schaft, 63 % für die Pfanne und 91 % für die Halslänge. Bei den Mitarbeitern der OKS wurde der Schaft in 83,9 %, die Pfanne in 76,4 % und die Halslänge in 91,6 % richtig vorhergesagt. Die Messungen könnten somit von einer geschulten Person übernommen werden und müssen nicht zwangsläufig von ärztlichem Personal durchgeführt werden.

5. Zusammenfassung

Die Implantation einer Hüftendoprothese stellt eine der erfolgreichsten orthopädischen Eingriffe dar. Die wiedergewonnene Mobilität in Verbindung mit Schmerzfreiheit steigert die Lebensqualität deutlich. Dies bedingt eine hohe Patientenzufriedenheit. Zudem besitzt die Endoprothetik des Hüftgelenkes eine hohe sozioökonomische Bedeutung. Jährlich werden in Deutschland knapp 200.000 Hüftprothesen-Implantationen durchgeführt. Aufgrund der demographischen Entwicklung unserer Gesellschaft mit einer Tendenz zur zunehmenden Alterung, ist mit einer weiteren Steigerung der Fallzahlen innerhalb der nächsten Jahrzehnte zu rechnen. Die stetige Verbesserung des Implantatdesigns, der Verankerungstechniken und der zur Anwendung kommenden Gleitpaarung hat in Verbindung mit minimal-invasiven Operationstechniken die Standzeiten der Implantate stetig erhöht. Heute werden in der Hüftendoprothetik Prothesenstandzeiten von 20 Jahren und mehr erreicht.

Die Einbringung der korrekten Prothesengrößen hat dabei wesentliche Relevanz für die Kurz- und Langzeitergebnisse. Zu kleine Prothesen bergen das Risiko einer aseptischen Lockerung und begünstigen Luxationen. Zu große Prothesen oder zu lang gewählte Halslängen haben ein erhöhtes Risiko von periprothetischen Frakturen, Beinlängendifferenzen und Nervenschäden.

In dieser retrospektiven Studie sollte anhand von 533 Patienten aus dem Jahr 2018, die in der OKS Sindelfingen mit einer primären Hüftprothese versorgt wurden, geklärt werden, inwieweit die präoperativ von den Ärzten der OKS bestimmten Implantatgrößen mit den intraoperativ eingebrachten Prothesengrößen übereinstimmten. Alle Patienten wurden entsprechend der Qualitätsanforderungen des EndoProthetikZentrums der Maximalversorgung (EPZmax) präoperativ mit einer digitalen 2D-Planung vermessen, um die erforderlichen Prothesengrößen festzulegen.

Zusätzlich sollte anhand von 100 konsekutiven Patienten geklärt werden, ob es Unterschiede in der Größenbestimmung zwischen einer geschulten Person (hier Doktorandin) und den Ärzten der OKS gab.

Bei 533 Patienten konnten die Ärzte der OKS mit der 2D-Planung in 52,2 % die korrekte Schaftgröße, in 40,2 % die korrekte Pfannengröße, in 58,9 % die richtige Halslänge und in 69,4 % das richtige Offset vorhersagen. In 10,7 % stimmten alle vier Parameter überein. Damit konnten mit dieser Messmethode sehr ähnliche Werte wie in der Literatur erreicht werden. Wenn der korrekte Vorhersagebereich auf \pm eine Größe erweitert wurde, konnten in der eigenen Untersuchung für den Schaft eine Genauigkeit von 83,9 %, für die Pfanne von 76,4 % und für den Hals von 91,6 % erreicht werden.

Die patientenimmanenten Parameter Alter und BMI, sowie der Operateur, beeinflussten die korrekte präoperative Größenbestimmung nicht signifikant. Beim Geschlecht zeigten sich signifikant bessere Ergebnisse bezüglich der Halslänge und Schaftgröße bei Frauen, wobei dies vermutlich durch den härteren Knochen männlicher Patienten zu erklären ist. Hinsichtlich der Fixationstechnik zeigten sich grenzwertig signifikant bessere Ergebnisse bei zementierten Schäften gegenüber zementfrei implantierten Schäften, was sich durch den etwas größeren Spielraum bei zementierten Schäften erklären lassen könnte.

Beim Vergleich der geschulten Person mit den Ärzten der OKS kam es bei der korrekten Schaftmessung bei der geschulten Person zu schlechteren Planungsergebnissen. Während die geschulte Person die korrekte Größe in 40 % bestimmte, konnten die Mitarbeiter der OKS den Schaft in 52,2 % signifikant besser bestimmen. Eine Erklärung hierfür könnte die längere klinische und vor allem operative Erfahrung des ärztlichen Personals sein, die die geschulte Person nach lediglich 100 Planungen nicht in diesem Maße aufweisen konnte. Bei der korrekten Halslänge und der Pfanne bestand jedoch kein signifikanter Unterschied. Die Halslänge wurde von der geschulten Person in 64 % und den Mitarbeitern des OKS in 58,9 % getroffen. Die Pfanne wurde von der geschulten Person in 36 % und von den Mitarbeitern des OKS in 40,2 % richtig vorhergesagt. Bei einer Größe kleiner oder größer betrug die Trefferquote bei der geschulten Person beim Schaft 83 %, der Pfanne 63 % und bei der Halslänge 91 %. Bei den Mitarbeitern der OKS wurde der Schaft in 83,9 %, die Pfanne in 76,4 % und die Halslänge in 91,6 % auf \pm eine Größe genau richtig vorhergesagt.

Im direkten Vergleich der 2D-Planung der OKS mit den Literaturdaten der 3D-Planung in der Computertomographie konnten bei der 3D-Planung zwar bessere Übereinstimmungen für alle Prothesenkomponenten festgestellt werden, allerdings rechtfertigen die höhere Strahlenbelastung der Patienten und der erhöhte Kosten-, Personal- und Ressourcenaufwand keinen routinemäßigen Einsatz. Daher sollte diese Technik lediglich Ausnahmefällen vorbehalten sein.

Unterschiede zwischen der für diese Studie speziell geschulten Person und den Mitarbeitern der OKS zeigten, dass die präoperative 2D-Planung mit guter Genauigkeit die wesentlichen Komponenten der Hüftendoprothetik vorhersagen kann, dies jedoch nicht zwangsläufig von einem Arzt durchgeführt werden muss.

6. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schablonen für den Müller-Geradschaft mit Standard- und lateralisiertem Offset [30].	17
Abbildung 2: Röntgenuntersuchung mit Eichkugel zwischen den Beinen.	24
Abbildung 3: Projektionsbedingte Größenabweichung bei Variieren des Abstandes von Strahlenquelle zur Röntgenplatte.	25
Abbildung 4: präoperative Becken-Röntgenaufnahme, weiblich, 70 Jahre alt.	26
Abbildung 5: Arbeitsplatz zur präoperativen Planung.	27
Abbildung 6: Import des präoperativen Röntgenbildes in MediCAD.	27
Abbildung 7: Arbeitsschritte zur korrekten vollständigen Implantatbestimmung.	28
Abbildung 8: Auswahlmöglichkeiten der Implantate von verschiedenen Herstellern und in allen vorhandenen Größen.	29
Abbildung 9: endgültige präoperative Planung, weiblich, 70 Jahre alt.	30
Abbildung 10: postoperatives Röntgenbild, weiblich, 70 Jahre alt.	31
Abbildung 11: Geschlechterverteilung.	33
Abbildung 12: Altersverteilung.	34
Abbildung 13: BMI-Verteilung.	35
Abbildung 14: Verteilung der Operateure.	36
Abbildung 15: Verteilung der Fixierungstechniken.	37
Abbildung 16: Abweichung der Halslänge von der präoperativen Planung.	38
Abbildung 17: Abweichung der Schaftgröße von der präoperativen Planung.	39
Abbildung 18: Abweichung des Offsets von der präoperativen Planung.	40
Abbildung 19: Abweichung der Pfannengröße von der präoperativen Planung.	41
Abbildung 20: Abweichung der Halslänge in zwei Altersgruppen.	43
Abbildung 21: Abweichung der Schaftgröße in zwei Altersgruppen.	44
Abbildung 22: Abweichung des Offsets in zwei Altersgruppen.	45
Abbildung 23: Abweichung der Pfannengröße in zwei Altersgruppen.	46
Abbildung 24: Abweichung der Halslänge bei Frauen und Männern.	47
Abbildung 25: Abweichung der Schaftgröße bei Frauen und Männern.	48
Abbildung 26: Abweichung des Offsets bei Frauen und Männern.	49
Abbildung 27: Abweichung der Pfannengröße bei Frauen und Männern.	50
Abbildung 28: Abweichung der Halslänge in vier BMI-Gruppen.	53
Abbildung 29: Abweichung der Schaftgröße in vier BMI-Gruppen.	54
Abbildung 30: Abweichung des Offsets in vier BMI-Gruppen.	55
Abbildung 31: Abweichung der Pfannengröße in vier BMI-Gruppen.	56

Abbildung 32: Abweichung der Halslänge je nach Operateur.....	57
Abbildung 33: Abweichung der Schaftgröße je nach Operateur.....	58
Abbildung 34: Abweichung des Offsets je nach Operateur.	59
Abbildung 35: Abweichung der Pfannengröße je nach Operateur.....	60
Abbildung 36: Abweichung der Halslänge je nach Art der Fixierung.	62
Abbildung 37: Abweichung der Schaftgröße je nach Art der Fixierung.....	63
Abbildung 38: Abweichung des Offsets je nach Art der Fixierung.	64
Abbildung 39: Abweichung der Pfannengröße je nach Art der Fixierung.....	65
Abbildung 40: Abweichung der Halslänge von der präoperativen Planung der speziell geschulten Person.	67
Abbildung 41: Abweichung der Schaftgröße von der präoperativen Planung der speziell geschulten Person.	68
Abbildung 42: Abweichung des Offsets von der präoperativen Planung der speziell geschulten Person.	69
Abbildung 43: Abweichung der Pfannengröße von der präoperativen Planung der speziell geschulten Person.	70
Abbildung 44: Poweranalyse zur Berechnung der benötigten Größe des Kollektivs....	77

7. Literaturverzeichnis

- 1 Abdel MP, Della Valle CJ. *Complications After Primary Total Hip Arthroplasty: A Comprehensive Clinical Guide*. Springer International Publishing, Cham (2017).
- 2 Amboss. Studientypen der medizinischen Forschung. www.amboss.com/de/wissen/Studientypen_der_medizinischen_Forschung#xid=1j02zf&anker=Z0d9087a413ee3937e8698015f7df3dc5 (Accessed 4 July 2022)
- 3 Apostu D, Lucaciu O, Berce C, Lucaciu D, Cosma D. Current methods of preventing aseptic loosening and improving osseointegration of titanium implants in cementless total hip arthroplasty: a review. *The Journal of international medical research* 46(6), 2104–2119 (2018).
- 4 Arbab D, König DP. Atraumatic Femoral Head Necrosis in Adults: Epidemiology, etiology, diagnosis and treatment. *Deutsches Arzteblatt international* 113(3), 31–38 (2016). www.aerzteblatt.de/archiv/173555/Atraumatische-Femurkopfnekrose-des-Erwachsenen (Accessed 2 August 2021).
- 5 Bleß H-H, Kip MJ (Eds). *Weißbuch Gelenkersatz: Versorgungssituation endoprothetischer Hüft- und Knieoperationen in Deutschland*. Springer, Berlin Heidelberg (2017).
- 6 Bonnaire F, Engler K-J, Günther K-P, Thielemann F. Becken, Hüfte und Oberschenkel. In: Winker KH (Ed.). *Facharzt Orthopädie Unfallchirurgie*. Elsevier, 649–706 (2011).
- 7 Brand RA, Mont MA, Manring MM. Biographical sketch: Themistocles Gluck (1853-1942). *Clinical orthopaedics and related research* 469(6), 1525–1527 (2011). www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3094624/ (Accessed 3 August 2021).
- 8 Buller LT, McLawhorn AS, Maratt JD, Carroll KM, Mayman DJ. EOS Imaging is Accurate and Reproducible for Preoperative Total Hip Arthroplasty Templating. *The Journal of Arthroplasty* 36(3), 1143–1148 (2021). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33616064/ (Accessed 4 July 2022).
- 9 Bundesgesetzblatt. § 27 BDSG Datenverarbeitung zu wissenschaftlichen oder historischen Forschungszwecken und zu statistischen Zwecken. dsgvo-gesetz.de/bdsg/27-bdsg/ (Accessed 7 November 2021)
- 10 Bundesministerium der Justiz und Bundesamt für Justiz. Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz -

- StrlSchG). www.gesetze-im-internet.de/strlschg/StrlSchG.pdf (Accessed 5 July 2022)
- 11 Burn E, Edwards CJ, Murray DW *et al.* Lifetime risk of knee and hip replacement following a diagnosis of RA: findings from a cohort of 13 961 patients from England. *Rheumatology (Oxford, England)* 58(11), 1950–1954 (2019). www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6848958/pdf/kez143.pdf (Accessed 2 August 2021).
 - 12 Charnley J. Arthroplasty of the hip. A new operation. *The Lancet*(7187), 1129–1132 (1961). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15898154/ (Accessed 6 August 2021).
 - 13 Chen X, Wang Y, Ma R *et al.* Validation of CT-Based Three-Dimensional Preoperative Planning in Comparison with Acetate Templating for Primary Total Hip Arthroplasty. *Orthopaedic surgery* 14(6), 1152–1160 (2022). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35524643/ (Accessed 4 July 2022).
 - 14 Claes L, Kirschner P, Perka C, Rudert M (Eds). *AE-Manual der Endoprothetik: Hüfte und Hüftrevision*. Arbeitsgemeinschaft Endoprothetik, Berlin, Heidelberg (2012).
 - 15 Claßen T, Scheid C, Landgraeber S, Jäger M. Besonderheiten beim elektiven Hüftgelenkersatz des älteren Menschen. *Der Orthopäde* 46(1), 25–33 (2017). link.springer.com/article/10.1007/s00132-016-3364-4#citeas (Accessed 1 August 2021).
 - 16 CO.RA Consulting Radiologie GbR. Übersicht der Diagnostischen Referenzwerte für Übersicht der Diagnostischen Referenzwerte für diagnostische und interventionelle Röntgenanwendungen und Schwellwerte für bedeutsame Vorkommnisse. www.co-ra.de/informationen/CO.RA_Diagnostische_Referenzwerte_und_Schwellwerte_fuer_bedeutsame_Vorkommnisse.pdf (Accessed 5 July 2022)
 - 17 Colombi A, Schena D, Castelli CC. Total hip arthroplasty planning. *EFORT open reviews* 4(11), 626–632 (2019). www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6851526/ (Accessed 3 August 2021).
 - 18 Crawford RW, Murray DW. Total hip replacement: indications for surgery and risk factors for failure. *Annals of the rheumatic diseases* 56(8), 455–457 (1997). ard.bmj.com/content/annrheumdis/56/8/455.full.pdf (Accessed 1 August 2021).
 - 19 Croft P, Coggon D, Cruddas M, Cooper C. Osteoarthritis of the hip: an occupational disease in farmers. *BMJ (Clinical research ed.)* 304(6837), 1269–

- 1272 (1992). www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1881870/ (Accessed 2 August 2021).
- 20 Dammerer D, Keiler A, Herrnegger S, Putzer D, Strasser S, Liebensteiner M. Accuracy of digital templating of uncemented total hip arthroplasty at a certified arthroplasty center: a retrospective comparative study. *Archives of orthopaedic and trauma surgery* doi:10.1007/s00402-021-03836-w (2021) (Epub ahead of print) .
- 21 Dargel J, Oppermann J, Brüggemann G-P, Eysel P. Dislocation following total hip replacement. *Deutsches Arzteblatt international* 111(51-52), 884–890 (2014). www.aerzteblatt.de/archiv/166727/Luxationen-nach-Hueftendoprothese (Accessed 3 August 2021).
- 22 Debarge R, Lustig S, Neyret P, Ait Si Selmi T. Confrontation de la planification radiographique préopératoire et des données postopératoires lors de la mise en place des prothèses totales de hanche non cimentées. *Revue de chirurgie orthopédique et réparatrice de l'appareil moteur* 94(4), 368–375 (2008). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18555863/ (Accessed 4 July 2022).
- 23 Decking R, Flören M, Reichel H. Komplikationen in der Endoprothetik. In: Wirth CJ, Mutschler W, Bischoff H-P, Püschmann H, Neu J (Eds). *Komplikationen in Orthopädie und Unfallchirurgie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 366–392 (2010).
- 24 Della González Valle A, Comba F, Taveras N, Salvati EA. The utility and precision of analogue and digital preoperative planning for total hip arthroplasty. *International orthopaedics* 32(3), 289–294 (2008). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17404731/ (Accessed 4 July 2022).
- 25 Della Valle AG, Padgett DE, Salvati EA. Preoperative planning for primary total hip arthroplasty. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 13(7), 455–462 (2005). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16272270/ (Accessed 10 August 2021).
- 26 Ding X, Zhang B, Li W *et al.* Value of preoperative three-dimensional planning software (AI-HIP) in primary total hip arthroplasty: a retrospective study. *The Journal of international medical research* 49(11), 3000605211058874 (2021). www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8597071/ (Accessed 25 May 2022).
- 27 Dutka J, Kiepusa S, Bukowczan M. Is analog preoperative planning still applicable?-comparison of accuracy of analog and computer preoperative

- planning methods in total hip arthroplasty. *Annals of translational medicine* 9(9), 749 (2021). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34268362/ (Accessed 4 July 2022).
- 28 Egli S, Pisan M, Müller ME. The value of preoperative planning for total hip arthroplasty. *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 80(3), 382–390 (1998). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9619923/ (Accessed 4 July 2022).
- 29 Faschingbauer M, Kessler S, Jürgens C. Periprothetische Frakturen bei einliegender Hüfttotalendoprothese. *Trauma Berufskrankh* 16(S4), 349–353 (2014). link.springer.com/article/10.1007/s10039-014-2085-3 (Accessed 3 August 2021).
- 30 Flater J. Original M. E. Müller Geradschaft: Operationstechnik. docplayer.org/31798629-Original-m-e-mueller-geradschaft.html (Accessed 3 August 2021)
- 31 Garellick G, Rogmark C, Kärrholm J, Rolfson O. *Swedish Hip Arthroplasty Register: Annual Report 2012* (2012).
- 32 Grasselli C, Jerosch J. Vergrößerungsfaktoren von Messschablonen für die analoge präoperative Planung in Hüft-, Knie-, und Schulterendoprothetik. In: *Orthopädische Praxis: Schwerpunkt: Endoprothetik*. Medizinisch literarische Verlagsgesellschaft MBH, Uelzen, 246–251 (2009).
- 33 Grimberg A, Jansson V, Liebs T, Melsheimer O, Steinbrück A. *Endoprothesenregister Deutschland [EPRD] - Jahresbericht 2017*, Berlin (2018).
- 34 Grimberg A, Jansson V, Melsheimer O, Steinbrück A. *Endoprothesenregister Deutschland [EPRD] - Jahresbericht 2019*, Berlin (2019).
- 35 Haas H, Grifka J, Günther K-P *et al.* Anforderungskatalog für EndoProthetikZentren zur Zertifizierung von EndoProthetikZentren als qualitätssichernde Maßnahme in der Behandlung von Gelenkerkrankungen. [www.clarcert.com/_Resources/Persistent/c4f5b3f5b4a5e29f148b837ae96a39660738afcd/___anforderungskatalog%20epz-K1%20\(190528\).pdf](https://www.clarcert.com/_Resources/Persistent/c4f5b3f5b4a5e29f148b837ae96a39660738afcd/___anforderungskatalog%20epz-K1%20(190528).pdf) (Accessed 5 July 2022)
- 36 Hackenbroch MH. Coxarthrose. In: König B, Reinhardt D, Schuster H-P (Eds). *Kompendium der praktischen Medizin*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 1071–1078 (2000).
- 37 Hagel A, Siekmann H, Delank K-S. Periprosthetic femoral fracture - an interdisciplinary challenge. *Deutsches Arzteblatt international* 111(39), 658–664 (2014). www.aerzteblatt.de/archiv/162125/Periprothetische-Femurfraktur-eine-interdisziplinaere-Herausforderung (Accessed 1 August 2021).

- 38 Halder AM, Stiehler M, Günther K-P. Historie und Epidemiologie. In: Claes L, Kirschner P, Perka C, Rudert M (Eds). *AE-Manual der Endoprothetik: Hüfte und Hüftrevision*. Arbeitsgemeinschaft Endoprothetik, Berlin, Heidelberg, 1–20 (2012).
- 39 Hartmann B, Spahn G. Zu den Ursachen der Arthrose: Genetik, Belastung, Lebensweise. *Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Umweltmedizin*(51), 466 (2016). www.asu-arbeitsmedizin.com/praxis/zu-den-ursachen-der-arthrose-genetik-belastung-lebensweise.
- 40 Hassani H, Cherix S, Ek ET, Rüdiger HA. Comparisons of preoperative three-dimensional planning and surgical reconstruction in primary cementless total hip arthroplasty. *The Journal of Arthroplasty* 29(6), 1273–1277 (2014). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24502952/ (Accessed 4 July 2022).
- 41 Hedlundh U, Ahnfelt L, Hybbinette CH, Weckstrom J, Fredin H. Surgical experience related to dislocations after total hip arthroplasty. *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 78(2), 206–209 (1996).
- 42 Heintze S. Präoperative Planung Postoperative Kontrolle. docplayer.org/80077470-Praeoperative-planung-postoperative-kontrolle.html (Accessed 9 August 2021)
- 43 Hofmann S, Kramer J, Plenck H. Die Osteonekrose des Hüftgelenks im Erwachsenenalter. *Der Radiologe* 42(6), 440–450 (2002). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12149904/ (Accessed 2 August 2021).
- 44 Hofmann S, Mazières B. Osteonekrose: Natürlicher Verlauf und konservative Therapie. *Der Orthopäde* 29(5), 403–410 (2000). link.springer.com/article/10.1007/PL00003737 (Accessed 2 August 2021).
- 45 Höhle P, Schröder SM, Pfeil J. Comparison between preoperative digital planning and postoperative outcomes in 197 hip endoprosthesis cases using short stem prostheses. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)* 30(1), 46–52 (2015). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25434789/ (Accessed 3 August 2021).
- 46 Howie DW, Holubowycz OT, Middleton R. Large femoral heads decrease the incidence of dislocation after total hip arthroplasty: a randomized controlled trial. *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 94(12), 1095–1102 (2012). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22717828/ (Accessed 3 August 2021).
- 47 Huo J, Huang G, Han D *et al.* Value of 3D preoperative planning for primary total hip arthroplasty based on artificial intelligence technology. *Journal of orthopaedic*

- surgery and research* 16(1), 156 (2021). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33627149/ (Accessed 25 May 2022).
- 48 Huppertz A, Lembcke A, Sariali E-H *et al.* Low Dose Computed Tomography for 3D Planning of Total Hip Arthroplasty: Evaluation of Radiation Exposure and Image Quality. *Journal of computer assisted tomography* 39(5), 649–656 (2015). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26125297/ (Accessed 5 July 2022).
- 49 Huppertz A, Radmer S, Asbach P *et al.* Computed tomography for preoperative planning in minimal-invasive total hip arthroplasty: radiation exposure and cost analysis. *European journal of radiology* 78(3), 406–413 (2011). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20022723/ (Accessed 5 July 2022).
- 50 Iffland A. Arbeitsanweisung Röntgen Becken mit Referenzkugel. F:/Dissertation%20Marie/Radiologie%20Anweisung%20R%C3%B6ntgenkugel.pdf (Accessed 18 August 2021)
- 51 Intensive RA-Therapie reduziert TEP-Bedarf. *Orthop. Rheuma* 21(4), 1–20 (2018). www.springermedizin.de/rheumatoide-arthritis/hueft-tep/intensive-ra-therapie-reduziert-tep-bedarf/16052022 (Accessed 2 August 2021).
- 52 IQTIG - Institut für Qualitätssicherung und Transparenz im Gesundheitswesen. Hüftendoprothesenversorgung: Qualitätsindikatoren und Kennzahlen. iqtig.org/downloads/auswertung/2018/hep/QSKH_HEP_2018_BUAW_V02_2019-07-23.pdf (Accessed 5 July 2022)
- 53 Jacob B (2014). Der minimalinvasive anteriore Zugang Micro Hip© im Vergleich zum konventionellen transglutealen Zugang nach Bauer zur Implantation von Hüfttotalendoprothesen, Universität Regensburg. epub.uni-regensburg.de/29917/
- 54 Jerosch J. Die instabile Hüftendoprothese: Ursachen, Diagnostik, Behandlungsoptionen. *OUP* (2016). docplayer.org/79616554-Die-instabile-hueftendoprothese.html (Accessed 3 August 2021).
- 55 Jerosch J, Stobbe S, Schmid G, Schunck J, Filler T. Prospektive, randomisierte Studie zwischen Bauer- und ALMI-Zugang unter Berücksichtigung von MRI-Befunden und muskelspezifischen Blutparametern. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* 150(6), 615–623 (2012). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23296557/.
- 56 Karonitsch T. Rheumatoide Arthritis (RA). *Wien. Klin. Wochenschr. Educ* 11(1-4), 1–10 (2016). link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11812-016-0076-y.pdf (Accessed 2 August 2021).

- 57 Kavanagh BF, Wallrichs S, Dewitz M *et al.* Charnley low-friction arthroplasty of the hip. *The Journal of Arthroplasty* 9(3), 229–234 (1994).
www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0883540394900760 (Accessed 3 August 2021).
- 58 Kliniken Sindelfingen. Hüftendoprothesenversorgung: Individuelle Modulauswertung.
[file:///C:/Users/marie/AppData/Local/Packages/microsoft.windowscommunicationapps_8wekyb3d8bbwe/LocalState/Files/S0/2/Attachments/Kennzahlen%20Orthop%C3%A4die%202018\[7955\].pdf](file:///C:/Users/marie/AppData/Local/Packages/microsoft.windowscommunicationapps_8wekyb3d8bbwe/LocalState/Files/S0/2/Attachments/Kennzahlen%20Orthop%C3%A4die%202018[7955].pdf) (Accessed 5 July 2022)
- 59 Knight JL, Atwater RD. Preoperative planning for total hip arthroplasty. *The Journal of Arthroplasty* 7, 403–409 (1992). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1431923/ (Accessed 4 July 2022).
- 60 Knöpfle E. Prothesenlockerung. eref.thieme.de/cockpits/clRadio0001/0/coRadSBNS00080/4-44866 (Accessed 9 August 2021)
- 61 Kölbl O, Barthel T, Krödel A, Seegenschmiedt MH. Prävention von heterotopen Ossifikationen nach Totalendoprothese des Hüftgelenks. *Deutsches Ärzteblatt* 100(45), 2944–2954 (2003).
- 62 Kosashvili Y, Shasha N, Olschewski E *et al.* Digital versus conventional templating techniques in preoperative planning for total hip arthroplasty. *Canadian Journal of Surgery* 52(1), 6–11 (2009). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19234645/ (Accessed 4 July 2022).
- 63 Krapac L, Perković D, Mimica N, Vojnić-Zelić D. Disability and arthrotic changes in the lower extremity. *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju* 40(3), 297–304 (1989).
- 64 Landesrecht BW Bürgerservice. Landesdatenschutzgesetz (LDStG) vom 12. Juni 2018. www.landesrecht-bw.de/jportal/?quelle=jlink&query=DSG+BW+%C2%A7+13&psml=bsbawueprod.psml&max=true (Accessed 7 November 2021)
- 65 Layher F, Babisch J, Sander K. Die präoperative Vorhersagegenauigkeit der Implantatgröße in der Hüftendoprothetik mittels digitaler Operationsplanung - ein Vergleich zwischen mediCAD©-Planung und operativer Realisierung: Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie. 70. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie, 92. Tagung der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie und 47. Tagung des Berufsverbandes

- der Fachärzte für Orthopädie. *Joint German Congress of Orthopaedics and Trauma Surgery* (2006).
- 66 Learmonth ID (Ed.). *Interfaces in Total Hip Arthroplasty*. Springer London, London (2000).
- 67 Łęgosz P, Otworowski M, Sibilska A *et al*. Heterotopic Ossification: A Challenging Complication of Total Hip Arthroplasty: Risk Factors, Diagnosis, Prophylaxis, and Treatment. *BioMed research international* 2019 (2019). www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6500709/ (Accessed 3 August 2021).
- 68 Lübbecke A, Katz JN, Perneger TV, Hoffmeyer P. Primary and revision hip arthroplasty: 5-year outcomes and influence of age and comorbidity. *The Journal of rheumatology* 34(2), 394–400 (2007). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17143967/ (Accessed 3 August 2021).
- 69 Mahmood SS, Al-Amiry B, Mukka SS, Baea S, Sayed-Noor AS. Validity, reliability and reproducibility of plain radiographic measurements after total hip arthroplasty. *Skeletal radiology* 44(3), 345–351 (2015). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25403426/ (Accessed 4 July 2022).
- 70 Mainard D, Barbier O, Knafo Y, Belleville R, Mainard-Simard L, Gross J-B. Accuracy and reproducibility of preoperative three-dimensional planning for total hip arthroplasty using biplanar low-dose radiographs : A pilot study. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR* 103(4), 531–536 (2017). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28323248/ (Accessed 4 July 2022).
- 71 Malchau H, Herberts P, Eisler T, Garellick G, Söderman P. The Swedish Total Hip Replacement Register. *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 84-A Suppl 2, 2–20 (2002).
- 72 Matziolis G. Koxarthrose. www.awmf.org/leitlinien/detail/II/033-001.html (Accessed 6 August 2021)
- 73 Mclawhorn A, Carroll K, Esposito C, Maratt J, Mayman DJ. EOS IMAGING IS ACCURATE FOR PRE-OPERATIVE TOTAL HIP ARTHROPLASTY TEMPLATING. *Orthopaedic Proceedings* 98-B (2018). online.boneandjoint.org.uk/doi/abs/10.1302/1358-992X.98BSUPP_1.ISTA2014-124 (Accessed 3 July 2022).
- 74 mediCAD Hectec GmbH. Bildvoraussetzungen und Skalierungen. F:/Dissertation%20Marie/Radiologie%20Handbuch%20Skalierung%20MediCAD.pdf (Accessed 18 August 2021)

- 75 Meek RMD, Allan DB, McPhillips G, Kerr L, Howie CR. Epidemiology of dislocation after total hip arthroplasty. *Clinical orthopaedics and related research* 447, 9–18 (2006). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16672897/ (Accessed 3 August 2021).
- 76 Miashiro EH, Fujiki EN, Yamaguchi EN *et al.* Preoperative planning of primary total hip arthroplasty using conventional radiographs. *Revista brasileira de ortopedia* 49(2), 140–148 (2014). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26229790/ (Accessed 4 July 2022).
- 77 Ochsner PE (Ed.). *Die Hüfttotalprothese: Implantationstechnik und lokale Komplikationen*. Springer, Berlin, Heidelberg (2003).
- 78 Pabinger C, Geissler A. Utilization rates of hip arthroplasty in OECD countries. *Osteoarthritis and cartilage* 22(6), 734–741 (2014). [www.oarsijournal.com/article/S1063-4584\(14\)01044-9/pdf](http://www.oarsijournal.com/article/S1063-4584(14)01044-9/pdf) (Accessed 1 August 2021).
- 79 Peng H-M, Feng B, Chen X *et al.* Usefulness of a Simple Preoperative Planning Technique using Plain X-rays for Direct Anterior Approach for Total Hip Arthroplasty. *Orthopaedic surgery* 13(1), 145–152 (2021). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33305484/ (Accessed 4 July 2022).
- 80 Peters KM, Fritzen ME, Klosterhalfen B. Aseptische versus septische Hüft-TEP-Lockerung: Gibt es zelluläre Unterschiede? In: Peters KM, König DP (Eds). *Fortbildung Osteologie 2*. Steinkopff, Darmstadt, 85–87 (2008).
- 81 Postler AE, Beyer F, Wegner T *et al.* Patient-reported outcomes after revision surgery compared to primary total hip arthroplasty. *Hip international : the journal of clinical and experimental research on hip pathology and therapy* 27(2), 180–186 (2017). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27886353/ (Accessed 3 August 2021).
- 82 Pulido L, Parvizi J, Macgibeny M *et al.* In hospital complications after total joint arthroplasty. *The Journal of Arthroplasty* 23(6), 139–145 (2008).
- 83 Rabenberg M. Arthrose(54) (2013) (Accessed 2 August 2021).
- 84 Rachbauer F. Minimal-invasive Hüftendoprothetik über einen direkten vorderen Zugang. *Orthopäde* 34(11), 1103-4, 1106-8, 1110 (2005). link.springer.com/article/10.1007/s00132-005-0854-1 (Accessed 4 November 2021).
- 85 Radtke R. Anzahl der Implantationen künstlicher Hüftgelenke in ausgewählten OECD-Ländern in den Jahren 2013 bis 2017. de.statista.com/statistik/daten/studie/182669/umfrage/hueftgelenksoperationen-in-ausgewaehlten-oecd-laendern/#professional (Accessed 1 August 2021)

- 86 Radtke R. Häufigste Operationen an vollstationär behandelten Krankenhauspatienten in Deutschland in den Jahren 2017 bis 2019. de.statista.com/statistik/daten/studie/182503/umfrage/haeufigste-operationen-an-vollstationaerer-krankenhauspatienten-in-deutschland/ (Accessed 1 August 2021)
- 87 Rasch B, Friese M, Hofmann WJ, Naumann E. *Quantitative Methoden 1.Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler (3rd Edition)*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg (2010).
- 88 Raschke MJ, Stange R, Kösters C. Versorgung periprothetischer und periimplantärer Frakturen: Moderne Plattenosteosyntheseverfahren. *Der Unfallchirurg* 115(11), 1009–1021 (2012). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23143032/ (Accessed 1 August 2021).
- 89 Riddick A, Smith A, Thomas DP. Accuracy of preoperative templating in total hip arthroplasty. *Journal of orthopaedic surgery (Hong Kong)* 22(2), 173–176 (2014). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25163949/ (Accessed 4 July 2022).
- 90 Rinio M. Wechseloperation bei Lockerung der Hüftprothese: Aseptische Lockerung der Hüftprothese und Prothesenmigration. gelenk-klinik.de/hueftgelenk/hueft-operation/wechsel-hueftprothese.html (Accessed 6 August 2021)
- 91 Roberts P, Grigoris P. Metal on Metal Articulation in Total Hip Replacement. In: Learmonth ID (Ed.). *Interfaces in Total Hip Arthroplasty*. Springer London, London, 121–133 (2000).
- 92 Roth A, Venbrocks R-A. *Minimal invasive Hüftendoprothetik (1. Aufl.)*. UNI-MED Verl., Bremen (2007).
- 93 Rudert M. *Zementfreie Hüftendoprothese: minimalinvasiver anteriorer Zugang: Operationstechniken Orthopädie Unfallchirurgie*. Springer, Berlin, Heidelberg (2019).
- 94 Sánchez-Riera L, Carnahan E, Vos T *et al.* The global burden attributable to low bone mineral density. *Annals of the rheumatic diseases* 73(9), 1635–1645 (2014). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24692584/ (Accessed 2 August 2021).
- 95 Sariali E, Catonne Y, Pascal-Moussellard H. Three-dimensional planning-guided total hip arthroplasty through a minimally invasive direct anterior approach. Clinical outcomes at five years' follow-up. *International orthopaedics* 41(4), 699–705 (2017). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27312191/.

- 96 Sariali E, Mauprivez R, Khiami F, Pascal-Mousselard H, Catonné Y. Accuracy of the preoperative planning for cementless total hip arthroplasty. A randomised comparison between three-dimensional computerised planning and conventional templating. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR* 98(2), 151–158 (2012). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22381566/ (Accessed 3 August 2021).
- 97 Schett G, Kleyer A, Perricone C *et al.* Diabetes is an independent predictor for severe osteoarthritis: results from a longitudinal cohort study. *Diabetes care* 36(2), 403–409 (2013). care.diabetesjournals.org/content/36/2/403 (Accessed 2 August 2021).
- 98 Schmidutz F, Kistler M, Woiczinski M *et al.* Bereits geringfügiges Unterdimensionieren eines Hüftprothesenschaftes beeinträchtigt erheblich die primäre Stabilität. *Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie* doi:10.3205/17dkou588 (2017) (Epub ahead of print) .
- 99 Scholler G. *Präoperative Planung in der Hüfttotalendoprothetik* (2014).
- 100 Sesselmann S, Reinmuth M, Tiefenböck S, Strödl N, Forst R. Retrospektiver Vergleich der Ergebnisse präoperativer Planung in der Hüftendoprothetik mittels 2D- bzw. 3D-Software. www.hectec.de/downloads/pdf/mediCAD_Hip_Poster_Dr_Sesselmann.pdf (Accessed 3 August 2021)
- 101 Shichman I, Factor S, Shaked O *et al.* Effects of surgeon experience and patient characteristics on accuracy of digital pre-operative planning in total hip arthroplasty. *International orthopaedics* 44(10), 1951–1956 (2020). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32699933/ (Accessed 4 July 2022).
- 102 Si H, Zeng Y, Cao F, Pei F, Shen B. Accuracy of a Simple Digital Templating in Primary Uncemented Total Hip Arthroplasty. *Chinese medical sciences journal = Chung-kuo i hsueh k'o hsueh tsa chih* 30(3), 150–155 (2015). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26564413/ (Accessed 4 July 2022).
- 103 Småbrekke A, Espehaug B, Havelin LI, Furnes O. Operating time and survival of primary total hip replacements: an analysis of 31,745 primary cemented and uncemented total hip replacements from local hospitals reported to the Norwegian Arthroplasty Register 1987-2001. *Acta orthopaedica Scandinavica* 75(5), 524–532 (2004). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15513482/ (Accessed 3 August 2021).
- 104 Solomon L. Patterns of osteoarthritis of the hip. *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 58(2), 176–183 (1976).

- 105 Strahlensatz-Rechner. rechneronline.de/physik/strahlensatz.php (Accessed 3 July 2022)
- 106 Stroh DA, Issa K, Johnson AJ, Delanois RE, Mont MA. Reduced dislocation rates and excellent functional outcomes with large-diameter femoral heads. *The Journal of Arthroplasty* 28(8), 1415–1420 (2013). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23602233/ (Accessed 3 August 2021).
- 107 Thirion T, Georis P, Gillet P. L'intérêt de la planification préopératoire d'une prothèse totale de hanche. *Revue médicale de Liege* 74(11), 593–597 (2019). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31729848/ (Accessed 16 August 2021).
- 108 Tingart M, Betsch M, Andruszkow J, Quack V. Hüftkopfnekrose im Erwachsenenalter. In: Wirtz DC, Stöckle U (Eds). *Expertise Orthopädie und Unfallchirurgie Hüfte*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 221–237 (2018).
- 109 Tingart M, Lüring C, Schaumburger J, Grifka J. Rheumatische Weichteil- und Gelenkerkrankungen. In: Grifka J, Kuster M (Eds). *Orthopädie und Unfallchirurgie: Für Praxis, Klinik und Facharztprüfung ; mit 155 Tabellen*. Springer Medizin, Berlin, 299–329 (2011).
- 110 Universitätszentrum für Orthopädie, Unfall- & plastische Chirurgie. Ersatz des Hüftgelenkes: Wie häufig ist der Gelenkersatz? www.uniklinikum-dresden.de/de/das-klinikum/kliniken-polikliniken-institute/oupc/fuer-patienten/patienteninformation-uebungsprogramme/huefte/ersatz-des-hueftgelenkes/Wie-haeufig-ist-Gelenkersatz (Accessed 6 August 2021)
- 111 Volkmann MR (2016). Mittelfristige Ergebnisse des minimal-invasiven anterioren Zugangs im Vergleich mit dem lateralen Zugang zur Implantation von primären Hüfttotalendoprothesen, *Dissertation*, Universität Würzburg.
- 112 Waldstein W, Bouché PA, Pottmann C *et al.* Quantitative and individualized assessment of the learning curve in preoperative planning of the acetabular cup size in primary total hip arthroplasty. *Archives of orthopaedic and trauma surgery* 141(9), 1601–1608 (2021). pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33709204/ (Accessed 11 July 2022).
- 113 Weidekamm C, Teh J. Entzündliche Veränderungen des Hüftgelenks. *Der Radiologe* 61(3), 307–320 (2021). link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00117-021-00811-9.pdf (Accessed 2 August 2021).
- 114 Wessinghage D. Historische Aspekte des Gelenkersatzes. Eine bibliographische Studie. *Orthopäde* 29(12), 1067–1071 (2000).

- 115 Windhagen H, Gronewold Jens, Budde S. Koxarthrose. In: Wirtz DC, Stöckle U (Eds). *Expertise Orthopädie und Unfallchirurgie Hüfte*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 237–262 (2018).
- 116 Winkelmann M, Gaulke R. Das künstliche Gelenk bei entzündlich rheumatischen Erkrankungen: Eine besondere Herausforderung. *Chirurgische Praxis*(85), 1–13 (2019). cme.mgo-fachverlage.de/uploads/exam/exam_261.pdf (Accessed 2 August 2021).
- 117 Wirries N, Flörkemeier T. Endoprothetik & Revisions-Endoprothetik: Planung und Ergebnisse Hüft-TEP. *Passion Chirurgie* 8(09) (2018). www.bdc.de/endoprothetik-und-revisionsendoprothetik-planung-und-ergebnisse-hueft-tep/ (Accessed 3 August 2021).
- 118 Wirth CJ, Mutschler W, Bischoff H-P, Püschmann H, Neu J (Eds). *Komplikationen in Orthopädie und Unfallchirurgie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart (2010).
- 119 Wu D, Liu X, Zhang Y, Chen J, Tang P, Chai W. Research and application of artificial intelligence based three-dimensional preoperative planning system for total hip arthroplasty. *Zhongguo xiu fu chong jian wai ke za zhi = Zhongguo xiufu chongjian waike zazhi = Chinese journal of reparative and reconstructive surgery* 34(9), 1077–1084 (2020).
- 120 Zacher J. Arthrose. *Der Orthopade* 45(2), 180–182 (2016).
- 121 Zimmer Biomet. The CLS Spotorno Stem. *Zimmer Biomet*, 1–16. pdf.medicaexpo.com/pdf/zimmer-biomet/cls-spotorno-stem/74894-226134.html (Accessed 3 August 2021).
- 122 Zink A, Minden K, List SM (Eds). *Entzündlich-rheumatische Erkrankungen*. Robert Koch-Inst, Berlin (2010).

8. Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde in der Orthopädischen Klinik Sindelfingen im Klinikum Sindelfingen-Böblingen des Klinikverbunds Südwest unter Betreuung von Professor Dr. Stefan Kessler durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit Professor Dr. Stefan Kessler.

Die statistische Auswertung erfolgte eigenständig.

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

Tübingen, den 22.08.2022

Marie Prokop

9. Danksagung

Ich bedanke mich recht herzlich bei Herrn Prof. Dr. Kessler für die gute Betreuung und Unterstützung. Außerdem danke ich Frau Dr. Berweiler für das Bereitstellen der für diese Dissertation notwendigen Daten.

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Familie, die mich in jeder Hinsicht unterstützt hat und auf die ich mich zu jeder Zeit verlassen kann.