

Aus der Klinik für Orthopädie des
Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Einfluss der Blutsperre auf den Blutverlust nach
Knieendoprothese

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät

Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Ninja Voerkelius

aus München

Datum der Promotion: 09.09.2016

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Zusammenfassung	4
Abstract	6
1 Einleitung	8
1.1 Historischer Überblick	8
1.2 Perioperativer Blutverlust bei Knie-TEP	10
1.3 Risiken durch den Blutverlust	10
1.4 Operieren in Blutleere	12
1.5 Die Blutsperre und deren Vorteile und Risiken	14
1.6 Methoden zur Bestimmung des Blutverlustes	15
1.7 Arbeitshypothese und Ziele	18
2 Material und Methoden	19
2.1 Patientenauswahl	19
2.2 Patientendokumentation	19
2.3 Klinischer Verlauf	23
2.4 Perioperative Medikation	24
2.5 Narkoseverfahren	24
2.6 Blutleere	24
2.7 Operationstechnik	25
2.8 Mobilisation	25
2.9 Berechnung des Blutverlustes	25
2.10 Zementeindringtiefe	26

2.11	Statistik	27
3	Ergebnisse	29
3.1	Auswertung der demographischen Daten	29
3.2	Operationsspezifische Daten	33
3.3	Blutverlust	36
3.3.1	Hämatokrit	36
3.3.2	Sauger	36
3.3.3	Drainage	37
3.3.4	Berechneter Blutverlust	38
3.4	Schmerzintensität	39
3.5	Bewegungsumfang	43
3.6	Knieumfang / Schwellung	46
3.7	Zementeindringtiefe	48
4	Diskussion	51
4.1	Diskussion der Methodik	51
4.1.1	Studienauftrag	51
4.1.2	Studiendesign	51
4.1.3	Ermittlung des Blutverlusts	52
4.1.4	Berechnungsmethoden	53
4.2	Blutverlust	54
4.3	Einfluss der Blutsperre auf den Blutverlust	55
4.4	Einfluss des Inflationsdrucks und der Öffnungszeit der Blutsperre	57
4.5	Einfluss der Blutsperre auf die Operationszeit	58

4.6	Einfluss der Blutsperre auf den postoperativen Schmerz	58
4.7	Einfluss der Blutsperre auf den Bewegungsradius und die Schwellung	59
4.8	Einfluss der Blutsperre auf die Zementeindringtiefe	61
4.9	Limitationen der Studie	62
5	Abbildungsverzeichnis	64
6	Tabellenverzeichnis	67
7	Literaturverzeichnis	68
	Selbstständigkeitserklärung	80
	Curriculum vitae	81
	Danksagung	82

Zusammenfassung

Die Implantation von Knieendoprothesen (K-TEP) gehört zu einer der am häufigsten durchgeführten Operationen. Aufgrund kontroverser Diskussionen existiert bis zum heutigen Zeitpunkt keine einheitliche Empfehlung für die Verwendung einer Blutsperre. Widersprüchliche Studienergebnisse bestehen zu deren Auswirkung auf den Blutverlust.

Ziel der vorliegenden Arbeit war den Einfluss der Blutsperren-Anwendung auf den Blutverlust zu ermitteln. Weiterhin sollte die Auswirkung auf postoperative Schmerzen, Schwellung und Bewegungsausmaß untersucht werden.

80 Patienten wurden in diese prospektiven Studie eingeschlossen und randomisiert zu zwei Gruppen mit jeweils 40 Probanden zugeteilt ($n = 40$ mit Blutsperre, $n = 40$ ohne Blutsperre). Eine Selektion der Patienten hinsichtlich Alter, Geschlecht oder Body Mass Index erfolgte nicht. Jedem Patienten wurde eine zementierte K-TEP über einen medialen Mini-Midvastus Zugang implantiert. Alle Eingriffe wurden in der gleichen Klinik von einem Operateur durchgeführt. In den Fällen mit Anwendung der Blutsperre wurde diese vor dem Eingriff angelegt, ab dem Hautschnitt ein konstanter Manschettendruck von 350 mmHg angewandt. Die Deflation erfolgte nach dem Wundverschluss.

Zur Bestimmung des perioperativen Blutverlusts wurde der Gesamtblutverlust kalkuliert, welcher auch den versteckten Blutverlust mit einbezieht. Unter Verwendung des Hämatokritwertes von präoperativ und vom 1. postoperativen Tag wurde der perioperative Blutverlust mit Hilfe der Formel nach Bourke und Smith berechnet, welche den Blutverlust unter isovolämischer Hämodilution berücksichtigt. Das Ausgangsblutvolumen des Patienten wurde nach der Formel von Nadler et al ermittelt.

In der Studiengruppe, welche mit Blutsperre operiert wurde, konnte ein signifikant höherer Gesamtblutverlust berechnet werden: ($p = 0,0125$), Blutverlust ohne Blutsperre 0,75 l (0,24 l - 2,0 l), mit Anwendung der Blutsperre 0,91 l (0,27 l - 1,5 l). Zudem gaben die Patienten in dieser Gruppe signifikant stärkere postoperative Schmerzen in Ruhe ($p = 0,0002$) und Belastung ($p = 0,0033$) an. Jedoch zeigte sich bei Operation mit Blutsperre eine signifikant tiefere Zementeindringtiefe in das Knochenlager ($p = 0,004$); eine kumulative Eindringtiefe ohne Blutsperre 12,8 mm (8 mm – 19 mm), mit Blutsperre 14,2 mm (9 mm – 18 mm). Die Operationszeit, das postoperative Bewegungsausmaß

und die Schwellung der operierten Extremität differierte zwischen den Untersuchungsgruppen nicht signifikant.

Es lässt sich konstatieren, dass die Anwendung der Blutsperre zwar einen größeren Blutverlust und stärkere postoperative Schmerzen verursacht, jedoch zu einer verbesserten Zementierqualität führt. Allerdings werden in vorhergehenden Arbeiten weitere Nebenwirkungen wie Wundheilungsstörung oder thrombembolische Ereignisse beschrieben.

Um eine eindeutige Empfehlung zu geben sind weitere prospektive Studien notwendig um den Langzeiteffekt zu untersuchen. Bis dahin sollte der Operateur in Hinblick auf die individuellen Komorbiditäten des Patienten entscheiden ob eine Blutsperre bei Implantation der Knieendoprothese zur Anwendung kommt.

Abstract

Implantation of primary total knee arthroplasty (TKA) is one of the most frequently applied surgeries in Germany. Due to controversial discussions no guideline about the use of a tourniquet exists. Recent studies have shown contradictory results about the influence on blood loss.

Object of the study was whether the use of the tourniquet leads to higher blood loss than operating without tourniquet. Furthermore its influence on postoperative pain, swelling, stiffness and cement mantle thickness was to examine.

80 probands were enrolled in this prospective, randomised trial and assigned to two groups with each 40 patients ($n = 40$, with tourniquet; $n = 40$, without tourniquet). No selection was made regarding to age, sex and body-mass-index. Every patient received a cemented, posterior-stabilised TKA, using a medial mini-midvastus approach. All operations took place in the same hospital, performed by a single senior surgeon. In cases where the pneumatic tourniquet was used, it was applied before operation and inflated to 350 mmHg before skin incision and deflated after skin closure.

To determine the perioperative blood loss, overall blood loss was calculated, taking into account obvious and hidden blood loss. Using the haematocrit from preoperative and first postoperative day, blood loss was calculated applying the formula by Bourke and Smith, respecting isovolumetric haemodilution. Initial blood volume of the patient was measured according to the formula by Nadler et al.

Calculated blood loss was significantly higher in the study-group operated with tourniquet ($p = 0,0125$): blood loss without tourniquet 0,75 l (0,24 l - 2,0 l), with tourniquet: 0,91 l (0,27 l - 1,5 l). In addition, by using a tourniquet during operation the patients complained about higher postoperative pain-levels during rest ($p = 0,0002$) and mobilisation ($p = 0,0033$). However tourniquet apply resulted in a significant increased cement mantle thickness at the tibial component ($p = 0,004$): cumulative cement penetration without tourniquet 12,8 mm (8 mm – 19 mm); with tourniquet 14,2 cm (9 mm - 18mm). There was no significant difference in the length of operation, the postoperative range of motion and swelling of the limb between the two study groups.

In conclusion the application of the tourniquet in TKA causes a major perioperative calculated blood loss and postoperative pain-levels but increases the tibial cement mantle thickness. Nevertheless recent studies mentioned additional side effects like wound healing issues or thrombembolic complications.

1 Einleitung

1.1 Historischer Überblick

Heute gehört die Implantation von Knieendoprothesen mit einer Anzahl von etwa 160.000 pro Jahr in Deutschland zu einer der am häufigsten durchgeführten Operationen in der orthopädischen Chirurgie[28]. Die meisten Patienten befinden sich zum Zeitpunkt der Operation im Alter zwischen 60 und 79 Jahren[16]. Im Hinblick auf den Anstieg des durchschnittlichen Lebensalters und der damit verbundenen Zunahme degenerativer Erkrankungen sowie die demographische Entwicklung der kommenden Jahrzehnte ist mit steigenden Operationszahlen beim Gelenkersatz zu rechnen.

Die primäre Gonarthrose bildet mit 90 % die Hauptindikation für den Gelenkersatz. Je nach Schweregrad des Defektes und der Stabilität des Kapsel-Bandapparates werden entweder unikondyläre Knieprothesen, bikondyläre Oberflächenersatzprothesen (mit und ohne Patellarrückflächenersatz), teilgekoppelte Knieprothesen, oder gekoppelte Implantatsysteme gewählt. Dabei werden etwa 80 % vollzementiert eingesetzt[28].

Die Anfänge dieser heute als Standardverfahren etablierten Operation führen bis ins 19. Jahrhundert zurück und haben bis heute einen enormen Wandel und Fortschritt auf vielerlei Ebenen erlebt. 1885 implantierte Themistocles Gluck mit Hilfe von Kolophonium und Gips einen Kniegelenkersatz, bestehend aus einem einfachen Scharniergelenk aus Elfenbein[101, 123]. Die Implantationen schlugen oft fehl und die Knieendoprothetik wurde vorerst vernachlässigt. In den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts wurde die Entwicklung der Scharnierendoprothesen unter anderem mit den Modellen von Walldius und Schiers vorangetrieben. Diese Prothesen wurden anfangs aus Acryl, dann Stahl und später aus Vitallium (eine CoCrMo-Legierung) gefertigt[39]. Verankert wurden sie mit langen intramedullären, zementfreien Schäften. Bei diesen gekoppelten Scharniergelenken mit starrer, lasttragender Achse kam es zu hohen Lockerungs-, Bruch- und Infektionsraten. Spätere Modelle wie die GSB-Endoprothese führten zur nichttragenden Achse und Vergrößerung der Kontaktfläche zwischen dem metallischen Femurteil und dem Tibiaplateau mit Polyethylen-Lauffläche[50]. Moderne Modelle verfügen über eine verbesserte Kinematik und der Knochenverlust wird reduziert. Diese "Rotating-Hinge-Endoprothesen" sind heutzutage in der Primärendoprothetik des Kniegelenkes nur in

wenigen Fällen bei insuffizientem Bandapparat indiziert. Das Hauptindikationsspektrum liegt in der Revisionsendoprothetik[28].

Der heute meist verwendete Endoprothesentyp ist der ungekoppelte Oberflächenersatz. Bereits Mitte der 90er Jahre machte dieser in Deutschland etwa zwei Drittel der Knieprothesen-Implantationen aus[59]. Das Prinzip beruht auf dem Ersatz der destruierten Knorpelfläche. Er erfordert zwar eine ausreichende ligamentäre Gelenkführung, erlaubt aber den weitgehenden Erhalt des Kapselbandapparates mit dessen propriozeptiven Eigenschaften und ein an die normale Anatomie angelehntes Rollgleitverhalten des Kniegelenkes[50].

Die Anfänge des Oberflächenersatzes gehen auf Gunston zurück, welcher 1969 eine Prothese mit ungekoppelten Femurschlitten und korrespondierenden Tibiainlays vorstellte[83]. Er machte sich dabei Sir John Charnleys wesentliche Erkenntnisse zum Einsatz von Knochenzement zur Verankerung von Prothesen und die Einführung der Metall-Polyethylen-Gleitpaarung zu Nutze[101].

Der Durchbruch in Bezug auf Funktionalität und Überlebensdauer gelang 1974 Insall et al. mit der bikondylären „Total Condylar Prothesis“[47]. Die Tibiakomponente war dabei bereits mit einem Kurzschaft versehen und aus Polyethylen (und später mit Metallbasisplatte) gefertigt. Mit dem Implantat wurde ein hoher Kontaktschluss durch nahezu vollständige Kongruenz der Femur- und Tibiakomponente erreicht, jedoch um den Preis eines geringen Bewegungsumfangs. Die Prothese wurde in den folgenden Jahrzehnten weiterentwickelt, wobei der Fokus auf einer Annäherung an die physiologische Kinematik und damit Optimierung der Funktion sowie auf einer Minimierung des Polyethylen-Abriebs lag.

Ende der 90er Jahre wurde bereits von 10-Jahresüberlebensraten von 95 % berichtet[98, 105]. Es entstand eine Vielzahl an Prothesendesigns und später kompletter modularer Prothesensysteme. Diese ermöglichen intraoperativ das Implantat bei Revisionseingriffen individuell an die jeweilige Knochen- und Weichteil- Defektsituation anzupassen[45, 50, 59].

Durch minimal invasive Zugänge und Weiterentwicklung der Operationstechnik soll das chirurgische Ergebnis verbessert und verkürzte Rehabilitationsphasen erreicht wer-

den[83]. Die Operationstechnik und –methode beeinflusst aber auch den Blutverlust beim Kniegelenksersatz.

1.2 Perioperativer Blutverlust bei Knie-TEP

Das Kniegelenk wird durch den Ramus articularis, der Arteria descendens genu aus der Arteria femoralis sowie Abgängen aus der Arteria poplitea mit Blut versorgt. Die Äste bilden mit der Arteria recurrens tibialis anterior ein Netz, welches vor allem an der Vorderseite des Kniegelenks stark ausgebildet ist[60].

Während der Operation werden größere Gefäße ligiert, kleinere Gefäße elektrokoaguliert. Auf die Weise kann jedoch nicht die diffuse Blutung aus dem Knochen gestillt werden, welche während der Präparation und Resektion des Knochens mit Eröffnung des Markraumes und Verletzung der Kortikalis auftritt. Des Weiteren findet nach der Operation eine diffuse Blutung in das Gewebe statt.

Der Blutverlust bei Knieendoprothesenimplantation wird häufig unterschätzt[100]. Er beträgt nach Studienberichten bis zu 2000 ml[58, 88]. Dies stellt in Bezug auf die operierte Patientenklientel bei Knie-TEP-Implantationen ein den Patienten beeinträchtigendes Volumen dar.

1.3 Risiken durch den Blutverlust

Nach den Daten des BQS-Instituts für Patientensicherheit von 2008 sind 60 % der Patienten, welche eine primäre Knie-TEP erhalten, der ASA-Gruppe 2 und 30 % der ASA-Gruppe 3 nach der Risiko-Klassifizierung der American Society of Anesthesiologists zuzuordnen[5, 16]. Damit ist die Mehrzahl von einer leichten-, und etwa ein Drittel von einer schweren Allgemeinerkrankung mit Leistungsminderung betroffen. Häufig sind diese Erkrankungen dem Herz-Kreislaufsystem zuzuordnen, was wiederum mit einer höheren Morbidität und Mortalität bei größeren Blutverlusten einhergeht[18].

Um die Sauerstoffversorgung nach Blutverlust aufrecht zu erhalten, setzen Kompensationsmechanismen ein. Die dadurch verursachte normovoläme Anämie führt am Herzen akut zu einer Steigerung des Auswurfvolumens durch Erhöhung der Herzfrequenz oder des Schlagvolumens bzw. beider Mechanismen[35]. Dies erfordert eine erhöhte Koro-

nardurchblutung, welche bei koronarer Herzkrankheit das Risiko der Minderperfusion des Myokards und gegebenenfalls eines Infarkts birgt[113].

Bei erniedrigtem Hämoglobin-Gehalt wird eine Dilatation der peripheren Gefäße und Mikrozirkulationsstörungen beobachtet.

Abhängig von der Ausprägung der Anämie und der Fähigkeit des Patienten, eine verminderte Sauerstofftransportkapazität auszugleichen, sowie vom Sauerstoffbedarf des Gewebes, sollte die Entscheidung über eine Transfusion individuell getroffen werden. Dabei werden kardiale, pulmonale und andere artherosklerotische Vorerkrankungen erfasst und mit einbezogen[111].

Allogene Bluttransfusionen sind mit verschiedenen Risiken verbunden. Dabei ist das virale Infektionsrisiko für Hepatitis-B (HBV), Hepatitis-C (HCV) und HIV in den vergangenen Jahren durch verbesserte serologische und molekularbiologische Testmethoden erheblich gesunken[33]. Nach neueren Studien wird das Risiko einer transfusionsassoziierten HBV-Übertragung mit $1 : 3,6 \times 10^5$, für eine HCV-Übertragung mit $1 : 1,1 \times 10^7$ und für das HI-Virus mit $1 : 4,3 \times 10^6$ beziffert[43].

Weitaus häufiger sind, wie auch in der viel zitierten SHOT- (Serious-Hazards-of-Transfusion) -Studie genannt, die nichtinfektiösen unerwünschten Wirkungen bei Transfusionen[107]. Hierzu gehören immunologisch ausgelöste Reaktionen, wie die Bildung von Alloantikörpern gegen Erythrozyten oder Plasmabestandteile mit akuter oder verzögerter Hämolyse. Ursachen hierfür sind Antikörper, welche in der immunhämatologischen Diagnostik nicht immer erfasst werden, aber auch Fehltransfusionen durch Verwechslung der Blutgruppen des ABO-Systems. Häufig treten allergische Transfusionsreaktionen auf, die aber nur zu einem sehr geringen Anteil zur Ausprägung eines anaphylaktischen Schocks ($1 : 10\ 000$ bis $1 : 100\ 000$) führen[30, 34].

Die derzeit häufigste transfusionsassoziierte Todesursache ist die akute transfusionsassoziierte Lungeninsuffizienz, welche in eine immunogene und nicht-immunogene Form unterteilt wird. In den USA wird von einer Inzidenz von $1 : 5000$ und einer Mortalität von etwa 6 % berichtet[117].

An nicht-immunologischen Reaktionen wird die Transfusion hämolytischer Erythrozyten und Hypervolämie durch Transfusionen und Infusionen genannt[29]. Die Hypervolämie

mit einer Häufigkeit von 1 : 100 bis 1 : 1000 birgt vor allem für ältere Patienten mit kardialen Vorerkrankungen eine Gefahr. Des Weiteren zählen Fehltransfusionen mit einem Auftreten von 1 : 1000 bis 1 : 10 000 und bakterielle Kontaminationen mit einer Häufigkeit von 1 : 10 000 bis 1 : 100 000 zu den größten Risiken von Bluttransfusionen[30].

Ein anderer nachteiliger Aspekt von Transfusionen sind die gesteigerten Kosten, welche durch die Transfusionen und ihre Nebenwirkungen mit längeren Klinikaufenthalten in Verbindung gebracht werden[119]. Auch gilt es zu bedenken, dass durch den demographischen Wandel die Anzahl derer, die die altersbedingte Spendergrenze überschritten haben steigt, zugleich fällt die Zahl potentieller Fremdblutspender[36].

Ein erhöhter Blutverlust und unter Umständen damit verbundene Bluttransfusionen können oben genannte Risiken bergen und zu Komplikationen führen. Deshalb sollten sämtliche Möglichkeiten zur Verringerung des Blutverlustes sowie zur Einsparung von Fremdbluttransfusionen ausgeschöpft werden, um Morbidität und Mortalität zu senken. Dazu zählen bei elektiven Eingriffen präoperativ die Gabe von Erythropoetin und Eisen zur Steigerung der endogenen Erythropoese und Anhebung des Ausgangshämokrits[4].

Postoperativ hat in der Hüft- und Kniearthroplastie die Retransfusion von intra- und/oder postoperativ gesammelten Wund- und Drainagebluts zu einer Minimierung der Transfusionsrate allogenen Blutes geführt[70]. Intraoperativ hat die Operationsmethode einen großen Einfluss auf den Blutverlust. Hierzu werden minimalinvasive Techniken, sparsame Verwendung von Wunddrainagen und das Operieren in Blutleere genannt[85].

1.4 Operieren in Blutleere

Neben prä- und postoperativen Maßnahmen existieren auch intraoperative Maßnahmen, um Blutverluste zu verringern. Um die Blutung während der Implantation von Knie-Totalendoprothesen zu reduzieren und ein nahezu blutleeres Operationsfeld zu erhalten, kommt die Blutsperre (Synonym: Tourniquet) zum Einsatz. Dabei wird der Oberschenkel mittels aufblasbarer Manschette komprimiert und somit die Blutzirkulation temporär unterbunden.

Die Operation in Blutleere beschreibt den Vorgang, die Extremität vor dem Befüllen der Blutsperre mit Luft anzuheben und mit einer Binde das darin befindliche venöse Blut auszuwickeln. Damit kann das restliche, in der Extremität vorhandene Blut in den Körper zurückströmen und tritt nicht während der Operation aus.

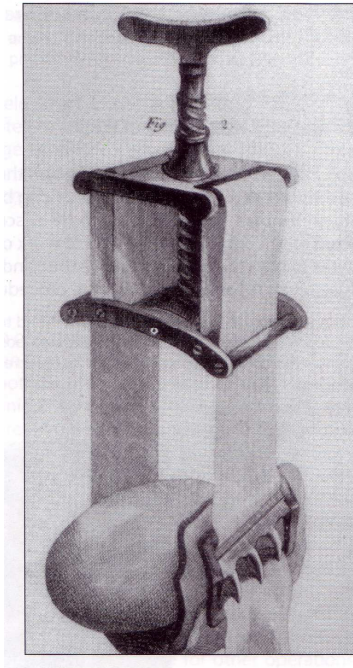


Abbildung 1: „Tourniquet“ nach J. Louis Petit, 1798: Extremität umgebende Binde, welche in einen mechanischen Drehapparat eingespannt ist[57]

Kompressionsmittel zur Kontrolle der Blutung wurden bereits sehr früh bei Amputationen verwendet. Schon vor etwa 150 Jahren wurde das Tourniquet auch bei anderen Operationen eingesetzt. J. Louis Petit entwickelte in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts einen mechanischen Drehapparat, den er „Tourniquet“ nannte (Abb.1). Joseph Lister war der erste Chirurg, der das „Tourniquet“ für andere Operationen als Amputationen anwendete um ein „Blutleeres Feld“ herzustellen. Er wechselte auf die Methode von J. von Esmarch, nachdem dieser 1873 die Esmarch-Binde, bestehend aus einem breiten Gummiband, vorstellte. Nachdem hiermit Extremitätenparalysen aufgetreten waren, entwickelte H. Cushing 1904 ein belüftbares sog. Pneumatisches Tourniquet mit aufblasbarer Manschette und einem Manometer, abgewandelt von dem gerade entwickelten Blutdruckmessgerät von Riva Rocci[57].

Diese Blutsperre war schnell anzulegen sowie zu entfernen und es traten weniger Komplikationen auf.

1.5 Die Blutsperre und deren Vorteile und Risiken

Die Entwicklung in den letzten 30 Jahren führte zu einer Vielfalt an automatischen Blutsperrensystemen bestehend aus einer Druckquelle mit Regulator, einer aufblasbaren Manschette und einer integrierten Pumpe bzw. Anschluss an die zentrale Druckluftversorgung. Durch intraoperatives Monitoring von Blutdruck, Manschettendruck und Zeit wird das Risiko für Komplikationen vermindert.

Das Operieren mit Blutsperre wird seit vielen Jahrzehnten praktiziert doch wird der Nutzen in Relation zu auftretenden Komplikationen immer noch kontrovers diskutiert.

In der Endoprothetik des Knies wurde die Verwendung der Blutsperre primär zur Verringerung des intraoperativen Blutverlustes und zur besseren Übersicht über das Operationsgebiet eingeführt. Zudem wird auch bei zementierten Implantaten die Zementierqualität verbessert sowie die Operationszeit verkürzt[32, 110].

Die Anwendung der Blutsperre ist jedoch auch mit Nebenwirkungen und Risiken verbunden. Diese betreffen in erster Linie neuromuskuläre Verletzungen, bedingt durch die verursachte Ischämie von Muskel- und Nervengewebe, aber auch durch direkte Kompression von Nerven[108]. Postoperativ äußert sich dies u.a. in Schwellung und Versteifen der Extremität und kann eine verlängerte Rehabilitationsphase zur Folge haben[56, 104, 109].

Aber auch hämodynamische Veränderungen können bei der In- und/oder Deflation der Blutsperre auftreten. Bei der Öffnung der Blutsperre wird Blut mit erniedrigtem pH-Wert, erhöhtem Bicarbonat- und Kaliumwert eingeschwemmt. Bei Patienten mit kardialen Vorerkrankungen, Anämie oder Hypovolämie mit verminderter Pufferkapazität kann dies zu Komplikationen führen [55, 81].

Durch die Öffnung der Blutsperre und die damit verbundene Wiederherstellung des Blutflusses nach einer Ischämieperiode kann es zum sog. "Reperfusionssyndrom" kommen. Dies beschreibt einen komplexen Prozess, welcher u.a. durch Adhäsion immunkompetenter Zellen an die Gefäßwände sowie Freisetzung freier Radikale zu Zell-

und Gewebeschäden führt[31, 87, 103]. Studien zeigen, dass ein größerer Anteil mikrovasculärer Schäden während der Reperfusionphase als während der Ischämiezeit entstehen.[62]

Die Implantation einer Knieendoprothese ist mit einem erhöhten Risiko für die Entstehung einer tiefen Beinvenenthrombose sowie einer Lungenembolie verknüpft[67, 116]. Dieses Risiko kann durch das Operieren mit Blutsperre erhöht werden, wobei über das Auftreten einer Lungenembolie nur in seltenen Fällen berichtet wird[26, 52, 81, 92]. Als Entstehungsmechanismus wird die durch die Blutsperre verursachte venöse Stase und der Endothelschaden angeführt, die durch gesteigerte Thrombozytenanheftung die Entstehung von Thromben begünstigen [69].

Lokal können Hautalterationen durch die Manschette der Blutsperre hervor gerufen werden[23].

1.6 Methoden zur Bestimmung des Blutverlustes

Die genaue Menge des operativen Blutverlustes lässt sich nur annähernd abschätzen und erfolgt meist mit Hilfe des postoperativen Hämatokrits und des Hämoglobinwertes. Um verschiedene Blut sparende Operationsmethoden zu vergleichen ist ein möglichst genaues Erfassen des Blutverlustes notwendig[46].

Hierzu entwickelten mehrere Arbeitsgruppen mit unterschiedlichen Ansätzen Methoden, um den Blutverlust genauer zu berechnen[14, 37, 40, 46].

Wir wählten die Formel, welche auf der mathematischen Erstbeschreibung von Bourke und Smith gründet[13].

Häufig wird die Menge des Blutverlustes nur geschätzt. Hierbei orientiert man sich meist an der Reduktion des Hämoglobinwertes und des Hämatokrits[17, 85]. Dabei beträgt der intraoperativ geschätzte Wert aber oft nur die Hälfte des errechneten Werts[15].

Standardmäßig wird der chirurgische Blutverlust primär durch die Infusion kristalloider oder kolloidaler Lösungen ausgeglichen, um eine Normovolämie zu gewährleisten[11, 40, 75, 112]. Dieses Verfahren ist bei größeren Blutverlusten mit starkem Abfall des

Hämatokrits und somit vermindertem systemischem Sauerstofftransport nicht mehr anwendbar. Die Transfusion von Erythrozytenkonzentraten wird erforderlich, um eine Gewebhypoxämie zu vermeiden[40].

Es wurden verschiedene mathematische Modelle entwickelt, um den Blutverlust zu erfassen. Eine einfache Methode stellt die Berechnung mit einer linearen Formel dar[73, 91].

$$V = EBV \times (Hb_0 - Hb_1) / Hb_0$$

$$V = \text{Blutverlust (l)}$$

$$EBV = \text{Blutvolumen (l)}$$

$$Hb_0 = \text{Ausgangshämatokrit}$$

$$Hb_1 = \text{minimaler Hämatokrit}$$

Die Berechnungsbasis bildet hier das Blutvolumen, der präoperative Hb-Wert (Hämoglobin-Wert) und ein festgelegter minimaler Hb-Wert. Dabei wird vorausgesetzt, dass das gesamte verlorene Blut die anfängliche Hb-Konzentration reflektiert. Die Hämodilution durch die Infusionstherapie wird nicht beachtet[37, 73]. Durch den Flüssigkeitserersatz sinkt jedoch der Hämatokrit, da jeder Milliliter Blut weniger Hämoglobin enthält als vor den Infusionen. Dadurch überschätzt oben stehende Formel den Verlust an Hämoglobin bei größeren Blutverlusten[37]. Erst komplexere Gleichungen mit der Anwendung des Logarithmus naturalis (ln) berücksichtigen diese Zusammenhänge und können den chirurgischen Blutverlust unter Beachtung der Reduktion des Hämatokrits bei isovolä-mischer Hämodilution beschreiben[13, 14, 37, 42, 73].

$$V = EBV \times \ln(Hct_0 / Hct_1)$$

$$V = \text{Blutverlust (l)}$$

$$EBV = \text{Blutvolumen (l)}$$

$$Hct_0 = \text{präoperativer Hämatokrit}$$

$$Hct_1 = \text{Hämatokrit am ersten post-OP Tag}$$

Gross modifizierte diese Formel, um ihre Anwendung zu erleichtern und veröffentlichte seine Berechnungsmethode 1983[37]. Er verwendete an Stelle des Logarithmus natura-

lis eine Annäherung an den Wert den man mit der Anwendung der logarithmischen Formel erreichen würde, indem er den Mittelwert von initialem und minimal tolerierbarem Hämatokrit (= Hct_m) einsetzte:

$$V = x (Hct_0 - Hct_1) / Hct_m$$

$Hct_m = \text{Mittelwert Hämatokrit}$

Die Werte für den Blutverlust, die sich aus den Berechnungen mit dieser Formel ergeben, erreichen näherungsweise die Ergebnisse, welche man mittels der Formel mit Logarithmus naturalis erhält (Abb. 2).

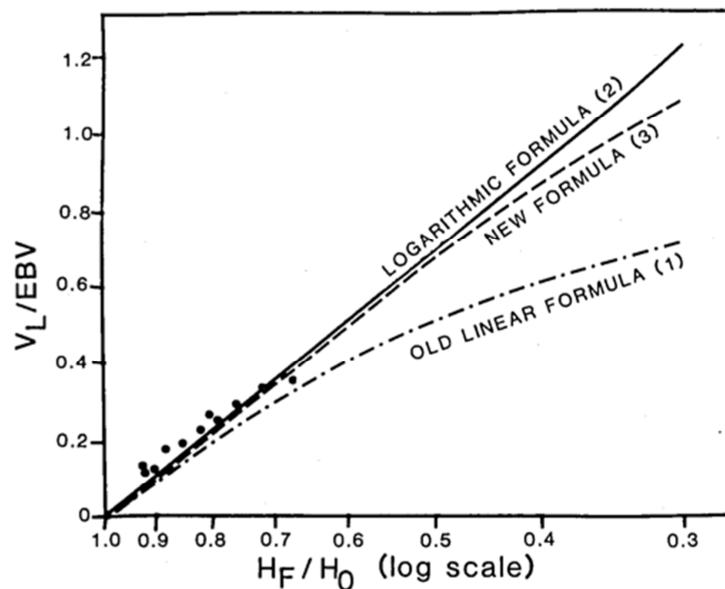


Abbildung 2: Diagramm von Gross: Blutverlust (als Anteil des geschätzten Blutvolumens) vs. Hämatokrit (als Anteil des Ausgangshämatokrits), (H_0 = initialer Hämatokrit des Patienten, H_f = minimal tolerierbarer Hämatokrit des Patienten, VL / EBV = Blutverlust). Die Berechnung des Blutverlustes mit der „neuen Formel“ nach Gross = (3) ergibt näherungsweise die Ergebnisse der „Formel mit Logarithmus naturalis“ = (2), im Vgl. zur „alten, linearen Formel“ = (1); [37]

Bei der genauen Berechnung des Blutverlustes ist auch das Ausgangsblutvolumen des Patienten zu berücksichtigen. Denn die gleiche Menge an Blutverlust mit entsprechender isovolämischer Hämodilution durch Infusionen führt bei Personen mit geringerem Blutvolumen zu einer größeren Reduktion des Hämatokrits, als bei Personen mit größerem Ausgangsblutvolumen[91].

Die meisten Formeln verwenden ein geschätztes Ausgangsblutvolumen. Einfache Methoden berechnen das Blutvolumen dabei mit etwa 65 ml pro Kilogramm Körpergewicht für Frauen und 70 ml bzw. 75 ml pro Kilogramm Körpergewicht für Männer[53, 73, 91].

Komplexere Formeln beziehen die Körpergröße oder die Körperoberfläche in die Berechnung mit ein. Die von Nadler et al. 1962 erstmals publizierte Formel verwendet als Parameter die Körpergröße, das Körpergewicht und berücksichtigt das Geschlecht zur Abschätzung des Blutvolumens[89].

$$EBV = A \times H^{0,725} \times G^{0,425} - B$$

EBV = geschätztes Blutvolumen

H = Körpergröße (cm)

G = Körpergewicht (kg)

A = 0,0236 für Männer

A = 0,0248 für Frauen

B = 1,229 für Männer

B = 1,954 für Frauen

1.7 Arbeitshypothese und Ziele

Die Hypothese der prospektiven Studie wurde wie folgt formuliert:

Der perioperative Blutverlust nach Knieendoprothesenimplantation ist bei Operation in Blutleere größer als ohne Blutleere.

Hierzu wurde als Primärziel der Blutverlust untersucht. Als Sekundärziele wurden Hämatombildung, Schwellung, Schmerzen, Mobilisation, stationäre Aufenthaltsdauer und Zementeindringtiefe mit und ohne Anwendung der Blutsperre näher betrachtet.

Dabei war zu eruieren, ob die Anwendung der Blutsperre durch eine suffizientere Blutstillung intraoperativ eine geringere postoperative hypoxische Hyperperfusion bewirkt. Des Weiteren war zu untersuchen, ob als Folge davon Schmerzen und Schwellung reduziert und eine schnellere Rehabilitation und eine bessere Prothesen-Fixation ermöglicht werden.

2 Material und Methoden

2.1 Patientenauswahl

In die Studie wurden Patienten eingeschlossen, welche einen einseitigen, totalendoprothetischen Ersatz ihres Kniegelenkes aufgrund einer primären Gonarthrose erhalten sollten.

Ausgeschlossen wurden Patienten, welche eine medikamentöse Antikoagulation mit Vitamin-K-Antagonisten oder Thrombozytenaggregationshemmern erhielten, diese nicht bis 4 Wochen vor der stationären Aufnahme abgesetzt hatten und somit eine höhere Blutungsneigung aufwiesen. Des Weiteren wurden Patienten exkludiert, welche eine Leberfunktions- oder Gerinnungsstörung aufwiesen, die dadurch gekennzeichnet sind, dass einer der folgenden Laborparameter außerhalb des Referenzbereichs liegt:

- partielle Thromboplastinzeit
- Quick
- Glutamat-Oxalacetat-Transaminase
- Glutamat-Pyruvat-Transaminase

Um eine Bias zu vermeiden, wurden Patienten mit peripherer arterieller Verschlusskrankheit, Ulcera cruris oder einer Thromboseanamnese ebenfalls aus der Studie ausgeschlossen, da hier standardisiert die Operation ohne Blutsperre erfolgte.

2.2 Patientendokumentation

Das untersuchte Kollektiv umfasste 80 Patienten, denen von einem Operateur eine zementierte Knieendoprothese (Knie-TEP) vom Typ NexGen LPS, Firma Zimmer, Warsaw, Indiana, implantiert wurde.

Nach positivem Votum durch die Ethikkommission erfolgte die Zuteilung der Probanden prospektiv, randomisiert mittels Randomisierungsprotokoll (Consort-Fluss-Diagramm siehe Abb. 3). Insgesamt wurden 114 Patienten bestimmt, 34 wurden ausgeschlossen,

dabei entsprachen 20 nicht den Einschlusskriterien, 4 lehnten die Teilnahme ab, 10 wurden aus anderen Gründen exkludiert. Demnach wurden 80 Patienten randomisiert zu zwei Gruppen mit Einsatz der Blutsperrung (Gruppe 1, n = 40) und ohne Einsatz der Blutsperrung (Gruppe 2, n = 40). Zum Beginn der Operation erfolgte die Zuteilung zu der jeweiligen Studiengruppe.

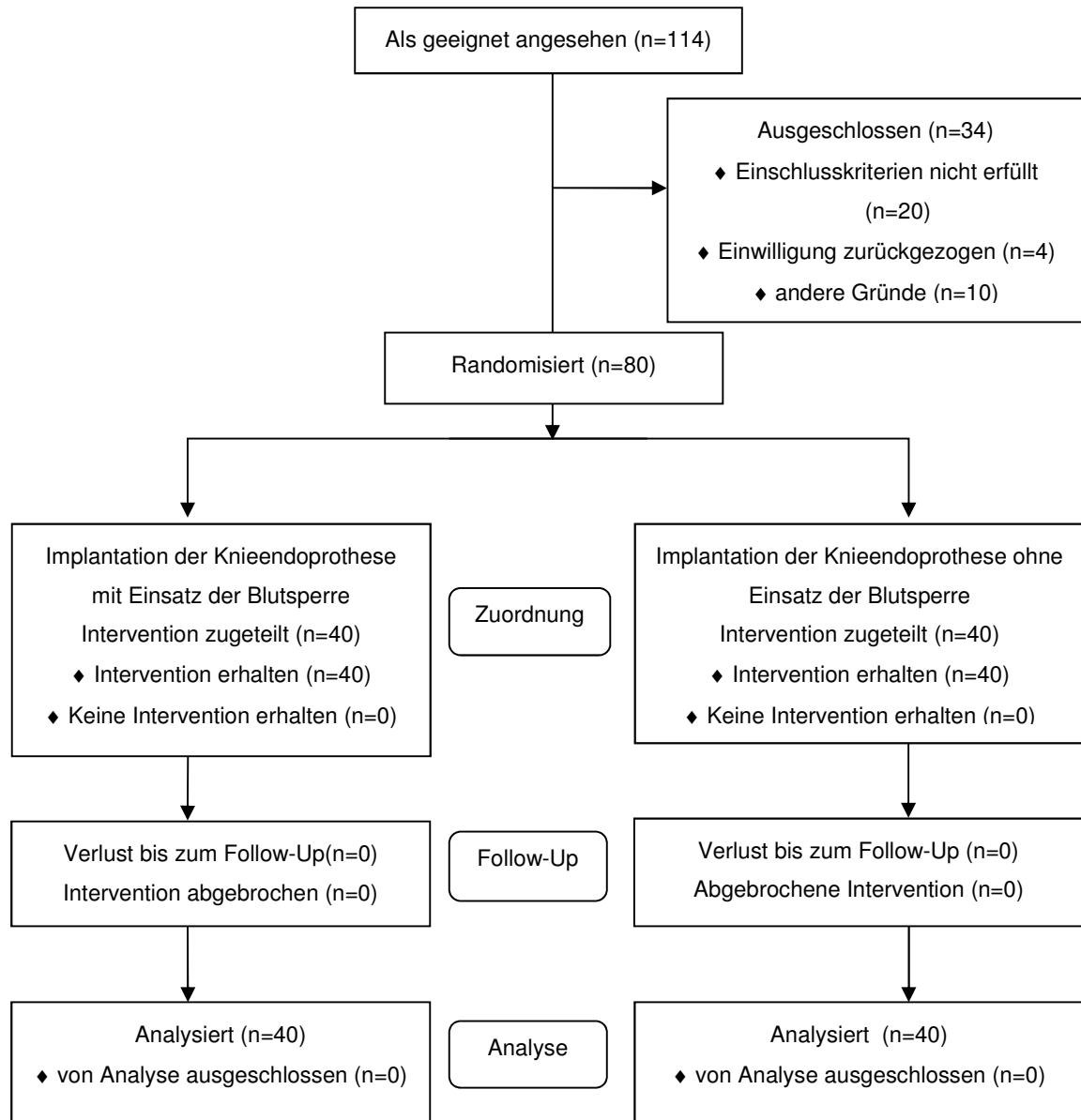


Abbildung 3: Consort-Fluss-Diagramm zu den Patientenzahlen und -zuteilungen während der verschiedenen Studienabschnitte

Bei der Operationsvorbereitung wurden die Parameter Alter, Geschlecht, Körpergröße und Gewicht erhoben. Aus der Körpergröße und dem Körpergewicht wurde der Body Mass Index (BMI) berechnet und die Patienten anhand der BMI-Klassifikation der WHO eingeteilt (Tab. 1).

Klassifikation	BMI (kg/m²)
Untergewicht	< 18,50
Starkes Untergewicht	< 16,00
Mäßiges Untergewicht	16,00 - 16,99
Leichtes Untergewicht	17,00 - 18,49
Normalgewicht	18,50 - 24,99
Übergewicht	≥ 25,00
Präadipositas	25,00 - 29,99
Adipositas	≥ 30,00
Adipositas Grad I	30,00 - 34,99
Adipositas Grad II	35,00 - 39,99
Adipositas Grad III	≥ 40,00

Tabelle 1: Einteilung der Patienten mittels BMI-Klassifikation aus dem Englischen nach WHO BMI Klassifikation. Global Database on Body Mass Index World Health Organization (WHO), Genf: 2012 [124]

Zudem wurden die Diagnose und etwaige präoperative Beinachsenfehlstellung (varus, valgus) dokumentiert.

Zur prä-/perioperativen Risikostratifizierung wurden die Patienten nach Anamnese möglicher Begleiterkrankungen anhand der ASA-Klassifikation der American Society of Anesthesiologists eingeteilt[5].

Diese umfasst 6 Gruppen und dient der Zuordnung der Patienten bezüglich ihres Gesundheitszustandes (Tab. 2).

Klassifikation	Körperlicher Zustand
ASA 1	Gesunder Patient
ASA 2	Patient mit leichter systemischer Erkrankung
ASA 3	Patient mit schwerer systemischer Erkrankung
ASA 4	Patient mit lebensbedrohlicher systemischer Erkrankung
ASA 5	Moribunder Patient, der ohne Operation voraussichtlich nicht überleben wird
ASA 6	Hirntoter Patient dessen Organe zur Organspende entnommen werden

Tabelle 2: Einteilung von Patienten nach Gesundheitszustand mittels ASA-Klassifikation, aus dem Englischen nach ASA Physical Status Classification System. American Society of Anesthesiologists (ASA), Washington, DC [5]

Der Kniegelenksumfang wurde am Tag vor der Operation und am 2. postoperativen Tag auf Höhe des Kniegelenkspaltes sowie 20 cm oberhalb und 15 cm unterhalb dessen gemessen und dokumentiert.

Der passive Bewegungsumfang, „Range of Motion“ (ROM) des Kniegelenkes wurde mit der Neutralnullmethode in Rückenlage mit gebeugtem Hüftgelenk präoperativ am Aufnahmetag sowie am 2. postoperativen Tag erfasst.

Der Schmerzzustand der Patienten wurde mit Hilfe der visuellen Analogskala (VAS) erfragt. Hierbei wird die Schmerzintensität auf einer 100 mm langen Linie eingetragen, welche in 10 Einheiten unterteilt ist, wobei 0 = keinen Schmerzen und 10 = unerträglichen Schmerzen entspricht. An Hand dieser beschreibt der Patient das Ausmaß des Schmerzes. Die Befragung erfolgte bei Patientenaufnahme und am 4. postoperativen Tag in Ruhe und bei Belastung sowie am 2. postoperativen Tag in Ruhe.

Die Narkoseform, die Dauer der Operation und der Blutsperre, die Prothesengröße sowie die Inlayhöhe der Prothese und gegebenenfalls auftretende perioperative Komplikationen wurden protokolliert.

Die Zementeindringtiefe wurde anhand postoperativer Röntgenbilder vom 4. postoperativen Tag gemessen.

Mögliche postoperative Komplikationen wie Thrombose und Embolie wurden bis zur Entlassung der Patienten aus der Klinik erfasst.

Zur Berechnung des perioperativen Blutverlustes wurde der Hämatokritwert des Patienten einen Tag vor und einen Tag nach der Operation sowie das Blutvolumen der Drainagen dokumentiert. Zusätzlich wurde die Blutmenge, welche mittels Sauger intraoperativ aufgefangen wurde, gemessen.

2.3 Klinischer Verlauf

Die Patienten wurden am Vortag der Operation aufgenommen. Dabei wurden folgende Laborparameter bestimmt:

- kleines Blutbild
- Hämatokrit
- Gerinnung (Quickwert, partielle Thromboplastinzeit)
- Leberwerte (Transaminasen)
- Nierenwerte (Kreatininwert)
- C-reaktives Protein (CRP)

Am Morgen des ersten postoperativen Tages wurde erneut der Hämatokrit bestimmt. Nach der Operation erfolgte eine sterile Wundabdeckung und elastische Wicklung des operierten Beines unter Kompression der Wunde. Die Redondrainagen wurden nach 24 h gezogen. Die Mobilisation des Kniegelenkes erfolgte ab dem ersten postoperativen Tag standardisiert bei allen Patienten in gleicher Weise. Eine Röntgenkontrolle wurde unmittelbar postoperativ und am 4. postoperativen Tag durchgeführt. Die Studienteilnehmer verblieben bis mindestens 5 Tage nach der Operation stationär und wurden mindestens einmal täglich visitiert.

2.4 Perioperative Medikation

Perioperativ wurde als Antibiotikaprophylaxe Cefuroxim 3g i.v. (intravenös) 30 min. vor Beginn der Operation verabreicht.

Zur Vorbeugung einer tiefen Venenthrombose erhielten die Patienten eine medikamentöse Antikoagulation mit einem niedermolekularen Heparin (Clexane 40 mg) für 30 Tage. Die erste Gabe erfolgte am Vorabend der Operation.

Die postoperative Schmerztherapie erfolgte mittels Femoraliskatheter (Plexo Long/Meier 19G, 50 mm) und oraler Standardmedikation mit Diclofenac 150 mg (alle 12 h), Ibuprofen 600 mg (alle 8 h) und Metamizol 30 Tropfen (alle 8 h). Bei Bedarf wurde zusätzlich Schmerzmittel entsprechend dem WHO-Stufenschema verabreicht: Pritramid 60 mg (alle 4 h), Schmerztropf mit Metamizol 2,5 mg, Paspertin 10 mg und Tramadol (alle 24 h), Oxycodon 5 mg (alle 8 - 12 h). Nach 72 Stunden wurde der Schmerzkatheter gezogen und nur die orale Schmerzmedikation fortgeführt.

2.5 Narkoseverfahren

Als Narkoseverfahren wurde abhängig vom individuellen Risiko und körperlichen Zustand des Patienten nach Indikation des Anästhesisten eine Spinalanästhesie oder Intubationsnarkose gewählt. In jedem Fall wurde eine Leitungsanästhesie des Nervus femoralis durch Platzierung eines Schmerzkatheters (mit 0,2 %igem Naropin) durchgeführt.

2.6 Blutleere

Die Operation wurde bei der Hälfte der Patienten in Blutleere durchgeführt. Hierbei wurde eine pneumatische Blutsperre mit belüftbarer Manschette verwendet. Die Manschette wurde präoperativ, proximal der Inzision möglichst hüftgelenknah angelegt. Die Extremität wurde unmittelbar vor der Inflation mit einer sterilen Binde ausgewickelt. Kurz vor dem Hautschnitt wurde die Manschette aufgeblasen und nach Abschluss der Hautnaht wieder geöffnet. Während der Operation wurde die Manschette nicht entlüftet und ein konstanter Inflationsruck beibehalten. Der Manschettendruck betrug einheitlich 350 mmHg.

2.7 Operationstechnik

Den Patienten wurde eine zementierte Knie-TEP vom Typ NexGen LPS (Firma Zimmer, Warsaw, Indiana) minimalinvasiv mit einem sogenannten Mini-Midvastus-Zugang implantiert[44]. Die Zementierung der Implantate erfolgte nach Säuberung des Knochenlagers mittel pulsierender Lavage. Bei den Patienten, die ohne Blutsperre operiert wurden, erfolgte die Blutstillung kontinuierlich während der OP. Nach Einlegen einer intraartikulären und einer subkutanen Redondrainage wurde die Gelenkkapsel mittels Einzelknopfnahnt verschlossen. Ein weiterer Verschluss des Wundgebietes wurde mit Subkutannaht und intrakutan verlaufender Hautnaht durchgeführt.

2.8 Mobilisation

Am ersten postoperativen Tag wurde mit Stützen der 3- oder 4-Punkt-Gang - und je nach Schmerztoleranz - mit aktiv assistierter Kniemobilisation begonnen. Zusätzlich wurde das Kniegelenk passiv mit der Motorschiene für 30 Minuten je nach Toleranz beginnend mit 30° mobilisiert.

Ab dem 2. postoperativen Tag wurde zusätzlich mit Krankengymnastik am Gerät begonnen und die Motorschiene mit individueller Steigerung im schmerzfreien Bereich für 30 Minuten am Patienten belassen.

2.9 Berechnung des Blutverlustes

Aus dem prä- und postoperativen Hämatokrit sowie dem Gesamtblutvolumen des Patienten wurde der perioperative Blutverlust bestimmt. Dabei wird der chirurgische Blutverlust unter Beachtung der Reduktion des Hämatokrits bei isovolämischer Hämodilution erfasst[13, 14, 37, 73].

Der in der oben genannten Gleichung (siehe 1.6.) verwendete Wert für das Gesamtblutvolumen des Patienten (EBV) wurde unter Einbeziehung der Körpergröße, des Körpergewichtes und des Geschlechts ermittelt. Die Bestimmung erfolgte entsprechend der von Nadler et al. 1962 erstmals veröffentlichten Formel, welche auch schon in einigen weiteren Arbeiten angewendet wurde[15, 42, 46, 73, 89, 91].

2.10 Zementeindringtiefe

In der vorliegenden Arbeit wurde anhand von postoperativen Röntgenaufnahmen der Einfluss der Anwendung der Blutsperre auf die Zementeindringtiefe untersucht.

Die Analyse erfolgte auf Basis der Einteilung der Knee Society, in Anlehnung an Kopec et al. [27, 61]. Die Zementeindringtiefe in Millimetern wurde anhand der digitalisierten Röntgenaufnahmen des 4. postoperativen Tages im anterior-posterioren (ap) sowie lateralen (lat) Strahlengang bestimmt. Dabei wurde die tibiale Komponente der Prothese von medial nach lateral in Zone 1 - 4 sowie von anterior nach posterior in Zone 1 - 2 unterteilt. Die Zementeindringtiefe wurde in jeder einzelnen Zone bestimmt und zudem die Summe der einzelnen Werte addiert (Abb. 4).

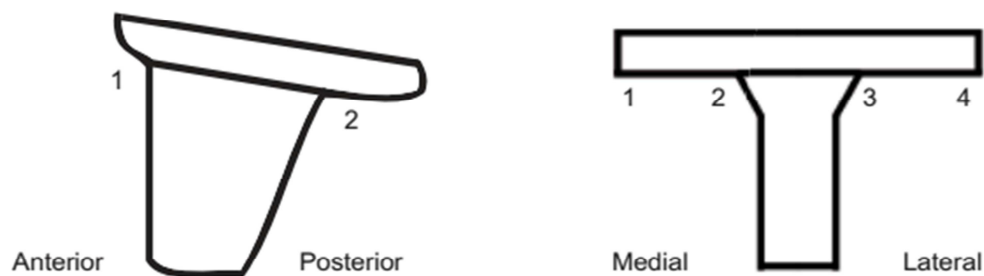


Abbildung 4: Messpunkte für die Zementeindringtiefe aus den Röntgenaufnahmen im anterior-posterioren (ap) sowie lateralen (lat) Strahlengang

Abbildung 5 zeigt beispielhaft den Ausschnitt einer Röntgenaufnahme einer Knieendoprothese im anterior-posterioren Strahlengang mit eingezeichneten Messpunkten. Die Zementeindringtiefe unter der tibialen Komponente der Prothese wurde an diesen im 90° Winkel unter der Prothese gemessen.

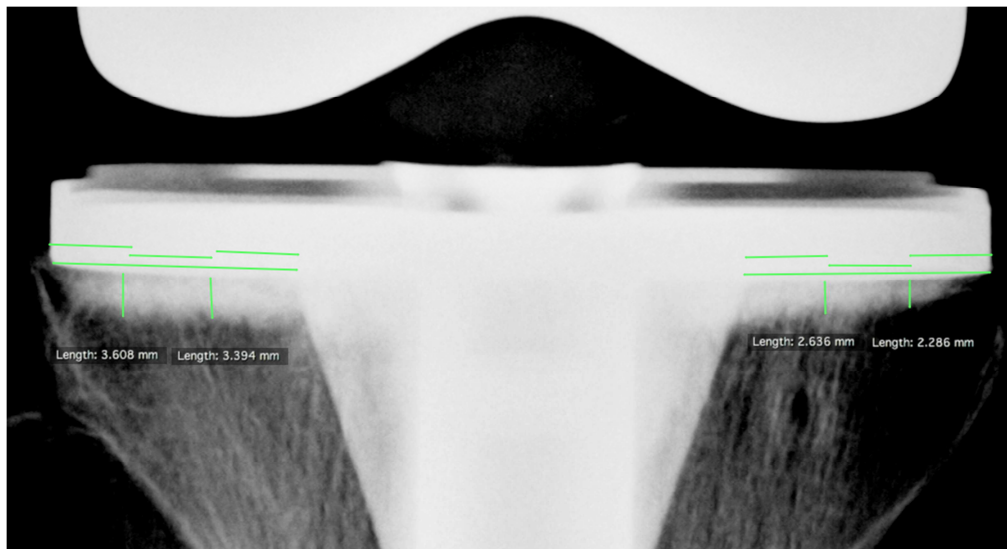


Abbildung 5: Röntgenaufnahme der tibialen Komponente einer Knieendoprothese im ap Strahlengang mit eingezeichneten Messpunkten zur Bestimmung der Zementeindringtiefe unter der Prothese

2.11 Statistik

Die statistische Auswertung wurde mit den Programmen Excel (Microsoft) und XLStat (Addin Software) sowie der Statistiksoftware GraphPad Prism (Graphpad Software, Inc.) vorgenommen.

Es wurde ein Vergleich des berechneten Blutverlustes zwischen den beiden Untersuchungsgruppen mittels Mann-Whitney U-Test (nicht-parametrisch, unverbundene Stichproben) vorgenommen. Das Signifikanzniveau wurde auf $p = 0,05$, die Power auf $1 - \beta = 0,85$ festgelegt. Die beantragte Fallzahl ergibt sich aus einer Poweranalyse, die sich auf die Ergebnisse der vorhergehenden eigenen retrospektiven Studie stützt.

Die Randomisierung erfolgt durch einen Computerzufallsgenerator, der die Zahlen 1 bis 80 in eine zufällige Reihenfolge bringt. Gerade Zahlen werden der Gruppe A zugeordnet, ungerade der Gruppe B. Dadurch wird gewährleistet, dass beiden Gruppen die gleiche Probandenzahl zugeteilt wird.

3 Ergebnisse

In dieser prospektiv randomisierten Studie wurden die Daten von 80 Patienten ausgewertet, denen in der gleichen Klinik vom selben Operateur eine zementierte Knie totalprothese über einen Mini-Midvastus-Zugang implantiert wurde. Die Operation wurde bei 40 Patienten mit, bei 40 Patienten ohne Anwendung der Blutsperre durchgeführt.

3.1 Auswertung der demographischen Daten

Von den 80 operierten Patienten waren 62,5 % weiblich, 37,5 % männlichen Geschlechts (Abb. 6). Die Operation wurde bei 50 % der Patienten mit Anwendung der Blutsperre (Gruppe A), bei 50 % ohne Blutsperre (Gruppe B) durchgeführt. In Gruppe A waren 52,5 % weiblich, 47,5 % männlich, in der Gruppe B waren 72,5 % weiblich, 27,5 % männlich.

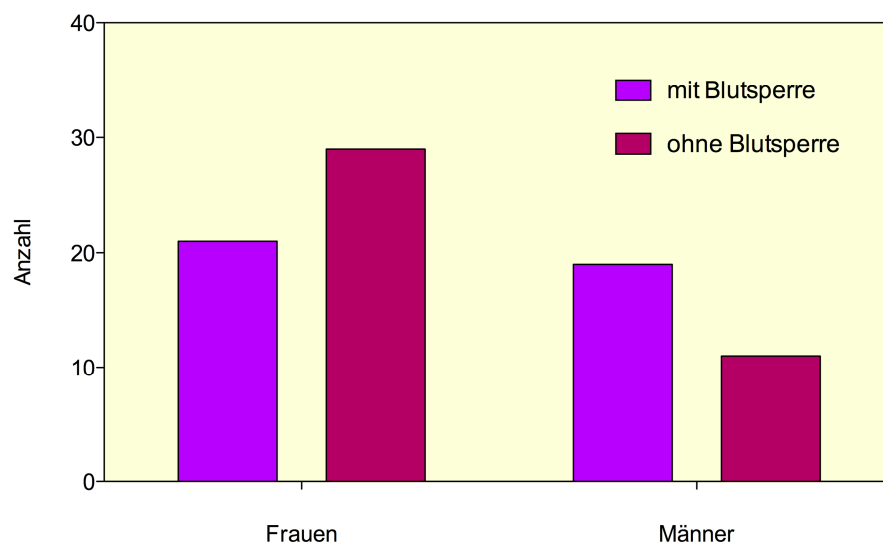


Abbildung 6: Geschlechterverteilung der Untersuchungsgruppe

Der Altersdurchschnitt aller Patienten betrug 69,7 Jahre und war in beiden Untersuchungsgruppen vergleichbar. Der jüngste Patient war zum Zeitpunkt der Operation 48 Jahre, der Älteste 90 Jahre alt, die Mehrzahl der Patienten befand sich im Alter von zwischen 66 und 75 Jahren. (Abb. 7). In Gruppe A lag die Altersspanne zwischen 48 und 85 Jahren, in Gruppe B zwischen 50 und 90 Jahren zum Zeitpunkt des Eingriffs.

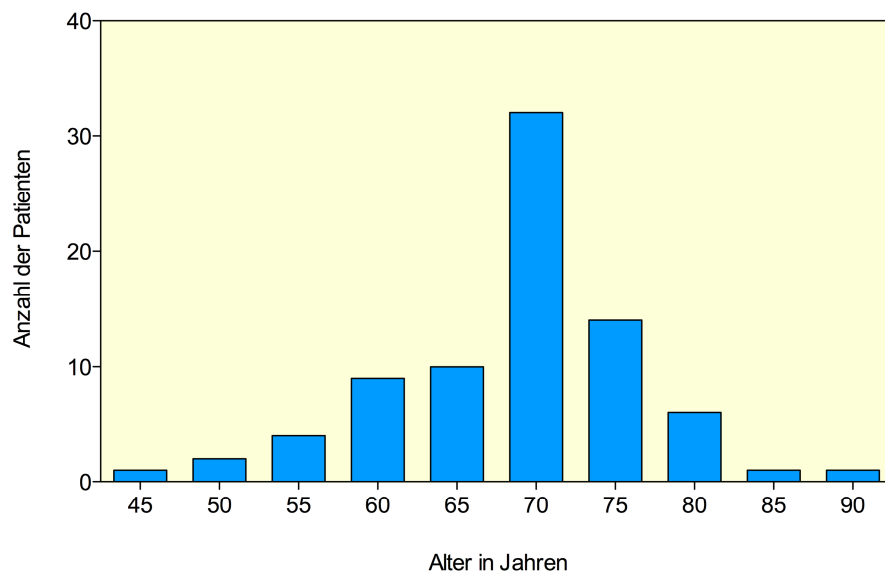


Abbildung 7: Verteilung der untersuchten Patienten nach Altersgruppen

Der durchschnittliche BMI lag bei $26,5 \text{ kg/m}^2$, der niedrigste Wert bei $18,5 \text{ kg/m}^2$, der höchste bei $38,1 \text{ kg/m}^2$ (Abb. 8). In Gruppe A betrug der durchschnittliche BMI $27,1 \text{ kg/m}^2$ ($18,5 - 38,1$), in Gruppe B lag der durchschnittliche BMI bei $25,9 \text{ kg/m}^2$ ($18,5 - 33,9$). Insgesamt war die Mehrzahl der Patienten nach der Einteilung der WHO der Gruppe der Präadipositas zuzuordnen, der zweitgrößte Teil war als normalgewichtig einzustufen.

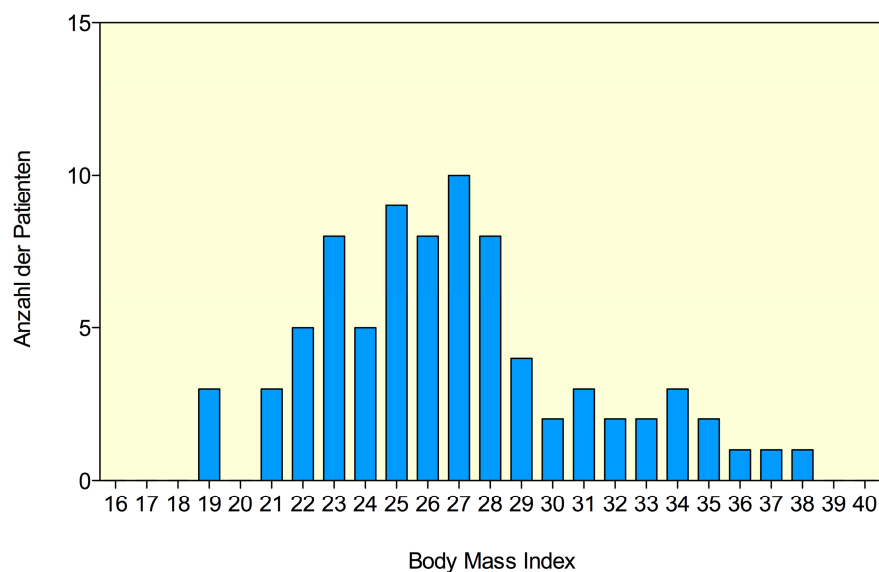


Abbildung 8: Verteilung der Patienten nach Body Mass Index

Die präoperative Risikoeinschätzung erfolgte nach der ASA-Klassifikation der American Society of Anesthesiologists. Demnach war die Mehrzahl der behandelten Patienten der Klasse II mit leichter Allgemeinerkrankung zuzuordnen, fast alle restlichen Patienten waren als gesund einzustufen (Abb. 9). Im Durchschnitt betrug der Wert aller untersuchten Patienten nach dem ASA-Score 1,56 Punkte. In Gruppe A war ein Wert von 1,63 (1,00 - 3,00) Punkten, in Gruppe B von 1,50 (1,00 - 2,00) Punkten zu ermitteln.

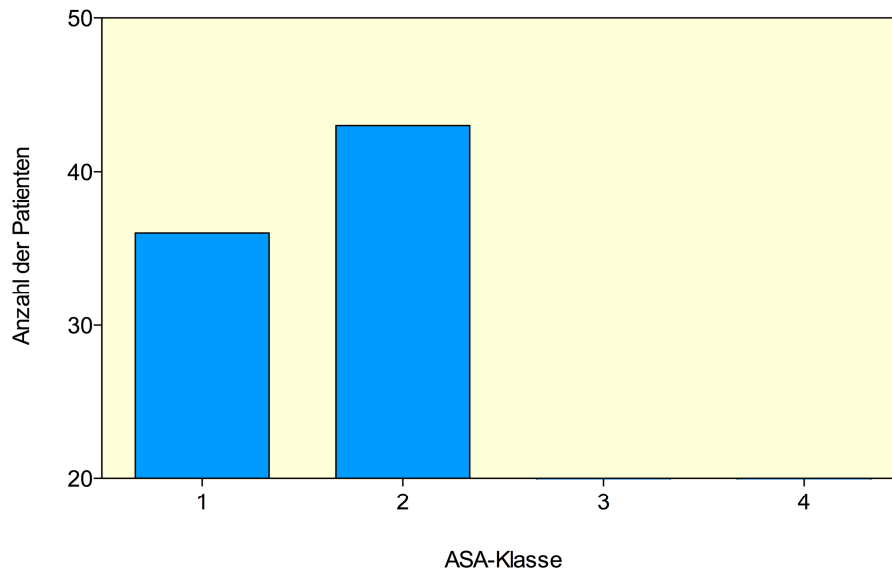


Abbildung 9: Verteilung der Patienten nach ASA-Klassifikation

3.2 Operationsspezifische Daten

Die durchschnittliche Operationszeit aller durchgeführten 80 Eingriffe betrug 38,84 Minuten. Der kürzeste Eingriff dauerte 30, der längste 70 Minuten (Abb. 10). Die Mehrzahl der Eingriffe wurde zwischen 36 und 41 Minuten durchgeführt.

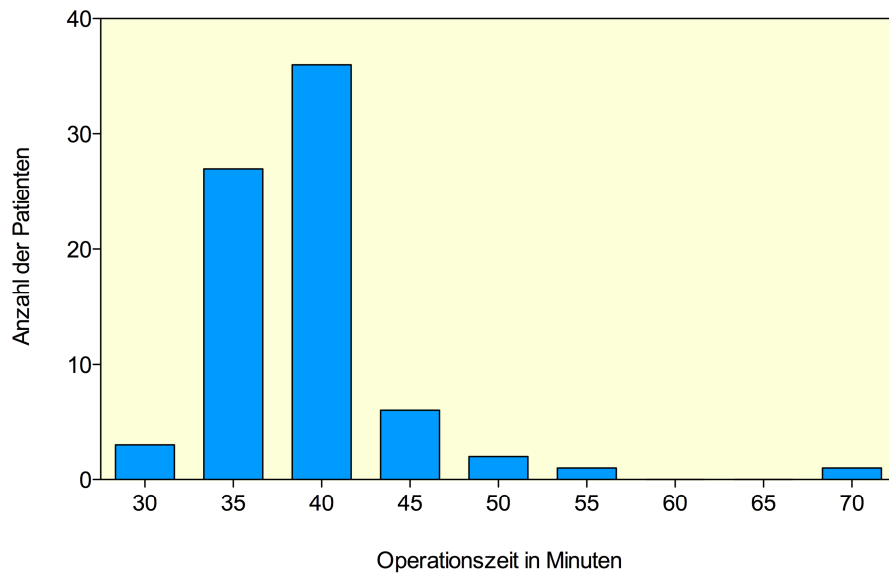


Abbildung 10: Verteilung der Anzahl der Patienten nach Operationszeit in Minuten

Bei Anwendung der Blutsperre dauerte die Operation durchschnittlich 37,5 Minuten, der kürzeste Eingriff davon 30 Minuten, der längste 45 Minuten. Wurde der Eingriff ohne Blutsperre durchgeführt, wurde eine längere durchschnittliche Operationsdauer von 40,28 Minuten gemessen. Die längste Operationsdauer betrug hier 70 Minuten, die kürzeste 32 Minuten. In der Gruppe, in der mit Blutsperre operiert wurde, dauerte der Eingriff bei 25 % der Patienten unter 34 Minuten, bei 75 % unter 40 Minuten. Ohne Anwendung der Blutsperre war bei 75 % der Patienten eine Operationsdauer von weniger als 42 Minuten, bei 25 % unter 37 Minuten zu verzeichnen. Der Median war in beiden Gruppen identisch (Abb. 11). Der Vergleich beider Untersuchungsgruppen mittels Mann-Whitney U-Test ergab keinen signifikanten Unterschied bezüglich der Operationsdauer ($p = 0,05$).

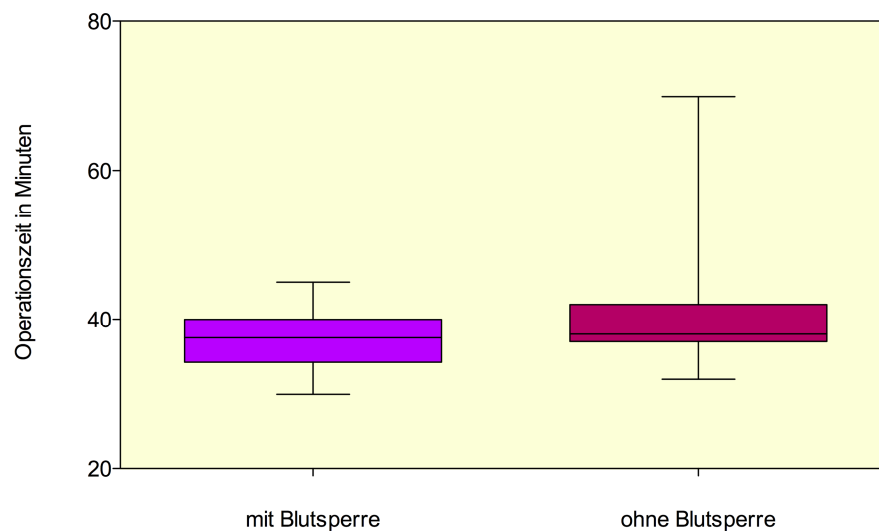


Abbildung 11: Durchschnittliche Operationszeit in Minuten mit und ohne Blutsperre im Box - Plot - Diagramm

Die durchschnittliche Krankenhausverweildauer betrug 10,5 (6 - 15) Tage (Abb. 12). 75 % der Krankenhausaufenthalte dauerten unter 10 Tage, 25 % unter 8 Tage. In beiden Untersuchungsgruppen war die Mehrzahl der Patienten zwischen 9 und 11 (Gruppe A: 6 - 15 Tage; Gruppe B: 7 - 13 Tage) Tage stationär.

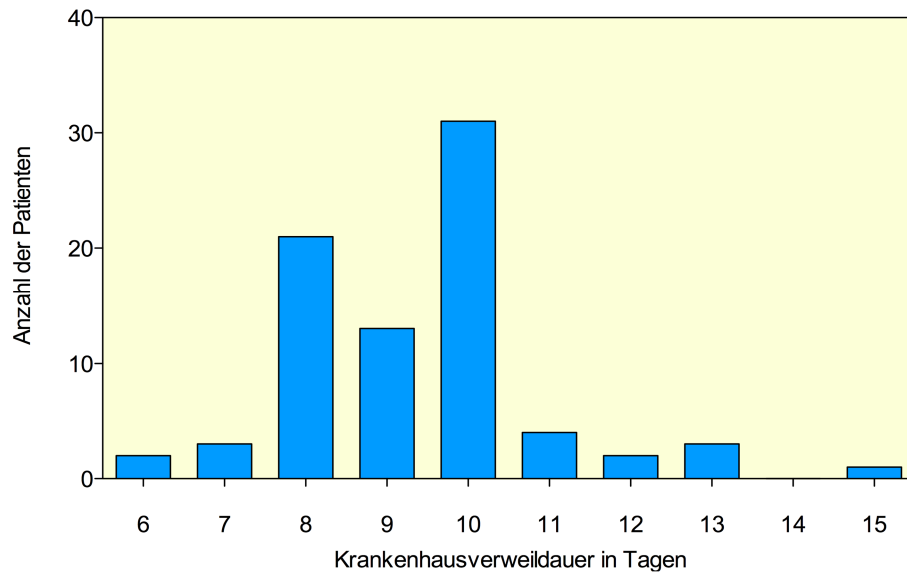


Abbildung 12: Verteilung der Anzahl der Patienten auf Krankenhausverweildauer in Tagen

3.3 Blutverlust

Neben der Darstellung des Hämatokritabfalls von prä- zu postoperativ wurde der offensichtliche Blutverlust intraoperativ im Sauger und postoperativ in den Drainagen gemessen. Zusätzlich erfolgte die quantitative Bestimmung des Blutverlustes mit den Berechnungsformeln nach Bourke und Smith sowie nach Nadler.

3.3.1 Hämatokrit

Der präoperative Hämatokrit aller Patienten lag zwischen 0,34 und 0,55 und betrug durchschnittlich 0,42. In der Gruppe mit Blutsperre war ein Hämatokrit mit durchschnittlich 0,42 (0,37 - 0,48), in der Gruppe ohne Blutsperre mit durchschnittlich 0,42 (0,34 - 0,55) zu ermitteln (Abb. 13). Die Gruppen unterschieden sich nicht signifikant ($p = 0,1889$).

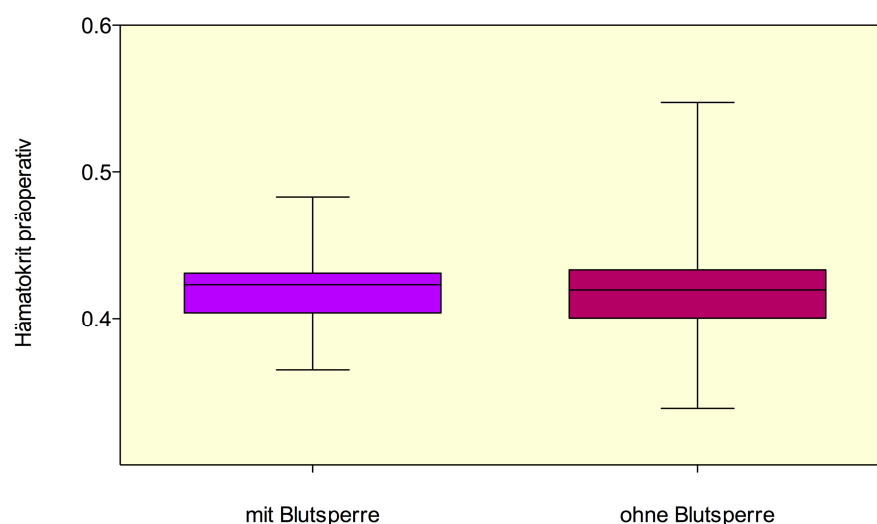


Abbildung 13: Hämatokrit präoperativ mit und ohne Blutsperre

3.3.2 Sauger

Bei Operation ohne Blutsperre betrug das intraoperative Blutvolumen im Op-Sauger zwischen 0 l und 0,38 l durchschnittlich 0,242 l. In der Gruppe mit Blutsperre war kein intraoperativer Blutverlust zu verzeichnen.

3.3.3 Drainage

Die durchschnittliche Blutmenge in den Drainagen betrug 176 ml. Bei Durchführung der Operation mit Blutsperre wurden durchschnittlich 161 ml, minimal 0 ml und maximal 1300 ml in den Drainagen erfasst. Die maximale Differenz der Werte ist zwar hoch, in 75 % der Fälle war das Blutvolumen in der Drainage jedoch kleiner als 180 ml. Bei Operation ohne Blutsperre konnten zwischen 5 ml und 600 ml, durchschnittlich 192 ml in den Drainagen erfasst werden. Die Schwankungen fielen geringer aus.

Beim Vergleich der beiden Gruppen zeigt sich sowohl im Median als auch bei der 75. Perzentile ein geringerer Wert bei Operation mit Blutsperre (Abb. 14). Nach Anwendung des Mann-Whitney U-Tests ist der Unterschied als signifikant zu bewerten mit einem p-Wert von 0,02.

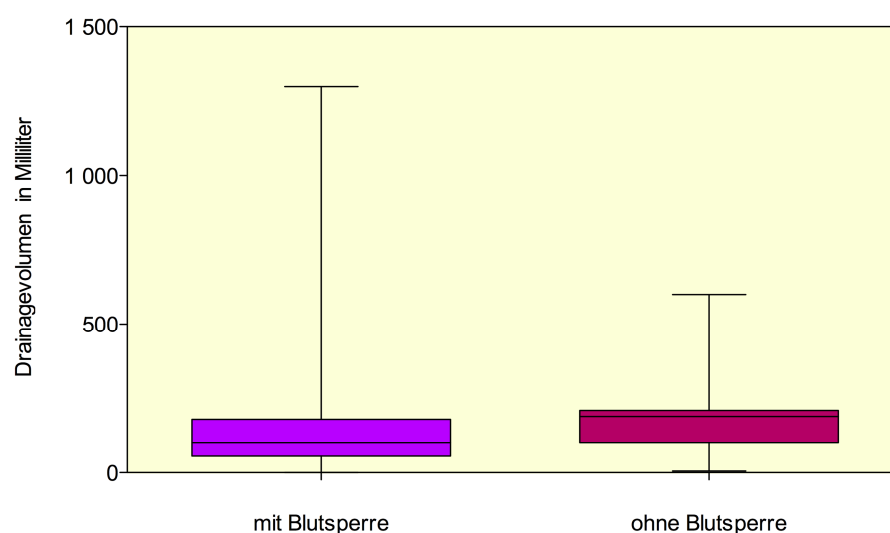


Abbildung 14: Blutvolumen in der Drainage in ml mit und ohne Blutsperre in Millilitern

3.3.4 Berechneter Blutverlust

Der berechnete Gesamtblutverlust ergab einen durchschnittlichen Blutverlust aller untersuchten Patienten von 0,83 l (0,24 - 2,01l).

Ohne Anwendung der Blutsperre betrug der durchschnittliche Wert 0,75 l. Es war eine große Differenz zwischen minimalen und maximalen Werten für den Blutverlust von 0,24 l bis 2,01 l zu ermitteln. Bei 75 % der Patienten betrug der Verlust jedoch weniger als 1,02 l. Der Median lag bei 0,66 l. Mit Anwendung der Blutsperre betrug der durchschnittliche Blutverlust 0,91 l. Es zeigte sich eine geringere Spannweite der Werte zwischen minimal 0,35 l und maximal 1,5 l, dabei lag der Blutverlust bei 75 % der Probanden unter 1,21 l. Der Median lag mit 0,92 l über dem der Vergleichsgruppe (Abb. 15).

Beim Vergleich der zwei Gruppen erwies sich unter Anwendung des Mann-Whitney U-Test ein statistisch signifikant höherer Blutverlust bei Operation mit Blutsperre ($p= 0,01$).

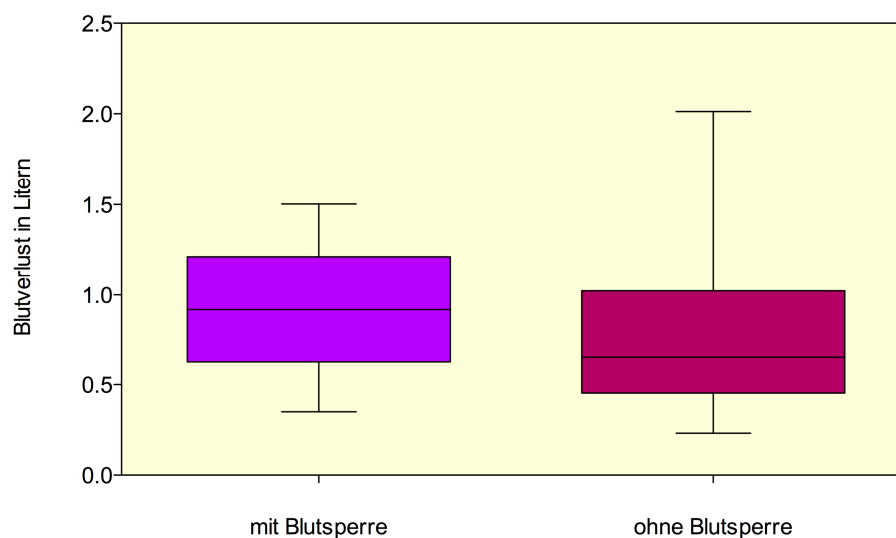


Abbildung 15: Berechneter Blutverlust in Litern im Vergleich bei Operation mit und ohne Blutsperre, dabei signifikant geringerer Blutverlust bei Operation ohne Blutsperre

3.4 Schmerzintensität

Die Schmerzintensität wurde mit Hilfe der visuellen Analogskala (VAS) bestimmt.

Patienten, welche mit Blutsperre operiert wurden gaben in Ruhe präoperativ einen VAS-Schmerzscore von minimal 0, maximal 8 und durchschnittlich 3,1 an. Am 1. postop Tag betrug der kleinste Wert 0, der größte Wert 7, im Durchschnitt wurde eine Schmerzintensität von 3,1 angegeben. Am 4. postop. Tag maß der Maximalwert 5, der minimale Wert 0 und der durchschnittliche 2,43. Die Patienten, welche ohne Blutsperre operiert wurden gaben in Ruhe präoperativ einen durchschnittlichen VAS-Schmerzscore von 2,45, minimal 0, maximal 8 an. Am 1. postop. Tag betrug der minimale Wert 1, der maximale 8 und der durchschnittliche 3,2. Am 4. postop. Tag wurde eine durchschnittliche Schmerzintensität von 1,3, eine minimale von 0, eine maximale von 3 erhoben.

Am ersten postoperativen Tag fielen die Werte für den Median (VAS = 3), die 25. Perzentile (VAS = 2) und die 75. Perzentile (VAS = 4) in beiden Untersuchungsgruppen in Ruhe gleich aus, und es war kein signifikanter Unterschied zu ermitteln (p-Wert = 0,992).

Am 4. postoperativen Tag ließen sich jedoch in Ruhe signifikant höhere Schmerzangaben nach Operation mit Blutsperre ermitteln (p-Wert = 0,0002). In dieser Untersuchungsgruppe war eine größere Spannweite der Werte zu erfassen, als in der Gruppe ohne Blutsperre. Die Werte für den Median, sowie für die 75. und die 25. Perzentile lagen ohne Blutsperre jeweils einen Punkt niedriger auf dem VAS-Score, als die entsprechenden Werte bei Operation mit Blutsperre.

Präoperativ in Ruhe war in beiden Untersuchungsgruppen bei 75 % der Patienten ein Schmerz kleiner oder gleich 4 nach dem VAS-Score zu erheben. Zwischen den Gruppen war kein signifikanter Unterschied zu ermitteln (p -Wert = 0,0984), (Abb. 16).

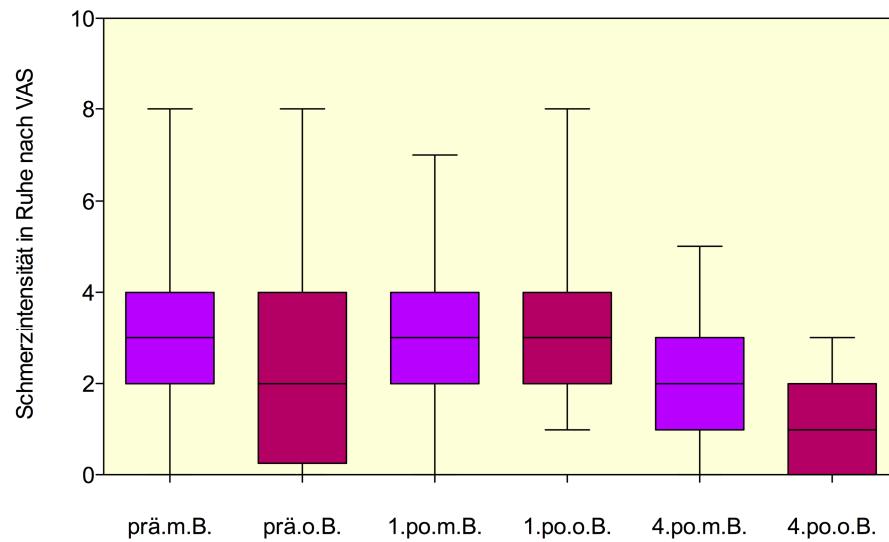


Abbildung 16: Schmerz nach VAS-Score in Ruhe bei Operation mit Blutsperre (= m.B.) und ohne Blutsperre (= o.B.). Vergleich präoperativ sowie 1. und 4. postoperativer Tag (prä. = präoperativ, 1. po. = 1. postoperativer Tag, 4. po. = 4. postoperativer Tag)

Die Ermittlung der Schmerzstärke bei Belastung ergab in der Gruppe mit Blutsperrung präoperativ einen VAS-Schmerzscore von minimal 3, maximal 10 und durchschnittlich 6,9. Am 4. postop. Tag war eine deutliche Reduktion der Schmerzen zu beobachten mit Werten von durchschnittlich 3 sowie minimal 1 und maximal 6. In der Gruppe ohne Blutsperrung wurde bei Belastung präoperativ ein VAS-Schmerzscore von minimal 2, maximal 10 und durchschnittlich 6,8 erhoben. Am 4. postop. Tag wurde eine durchschnittliche Schmerzintensität von 2 angegeben, das Minimum betrug 0 das Maximum 4.

Die präoperativen Schmerzangaben auf der VAS-Skala bei Belastung zeigten eine gute Vergleichbarkeit der beiden Untersuchungsgruppen, ohne signifikanten Unterschied ($p = 0,8515$). Die Angaben unterschieden sich weder im Median noch im Maximum, der 25. oder der 75. Perzentile.

Am 4. postoperativen Tag bei Operation ohne Blutsperrung zeigte sich bei der 25. und 75. Perzentile sowie beim Median ein Wert, der auf der VAS-Skala gegenüber Operation mit Blutsperrung um einen Punkt geringer war. Bei Operation mit Blutsperrung waren signifikant stärkere Schmerzen mit $p = 0,0033$ gegenüber der Operation ohne Blutsperrung auf dem VAS-Score zu messen (Abb.17).

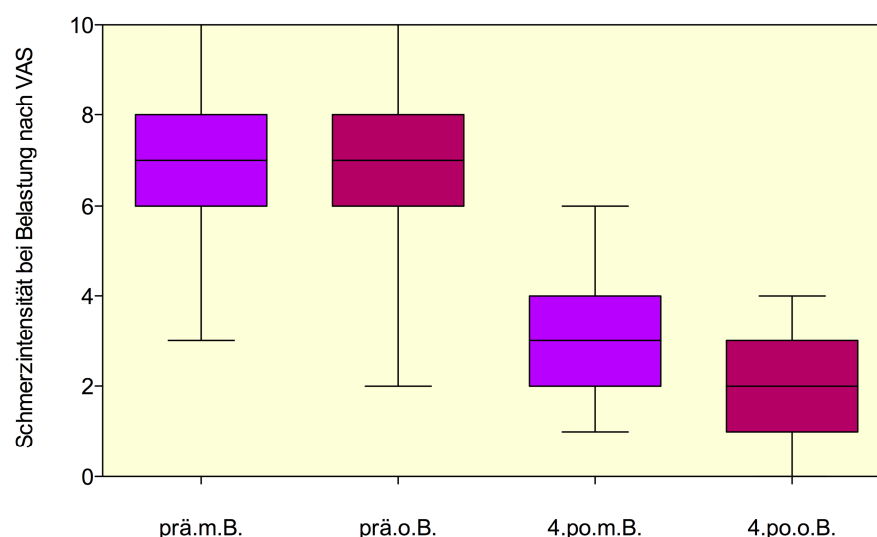


Abbildung 17: Schmerz nach VAS-Score bei Belastung bei Operation mit Blutsperrung (= m.B.) und ohne Blutsperrung (= o.B.). Vergleich präoperativ mit 4. postoperativem Tag (prä. = präoperativ; 4. po. = 4. postoperativer Tag): bei Operation ohne Blutsperrung signifikant geringere Schmerzen am 4. postoperativen Tag

Zusammenfassend zeigte sich präoperativ sowohl in Ruhe, als auch bei Belastung kein signifikanter Unterschied des VAS-Schmerzscore zwischen den beiden Untersuchungsgruppen. Im Verlauf zeigte sich in beiden Untersuchungsgruppen eine Schmerzreduktion von prä- zu postoperativ. Die Patienten, welche mit Blutsperre operiert wurden gaben jedoch postoperativ eine signifikant höhere Schmerzintensität sowohl in Ruhe ($p = 0,0002$), als auch bei Belastung ($p = 0,0033$) an.

3.5 Bewegungsumfang

Präoperativ reichte der passive Bewegungsumfang in der Gruppe mit Blutsperre von 70° - 140° und maß durchschnittlich $114,5^{\circ}$. In der Gruppe ohne Blutsperre waren zwischen 25° und 135° und durchschnittlich $106,5^{\circ}$ zu messen (Abb. 18).

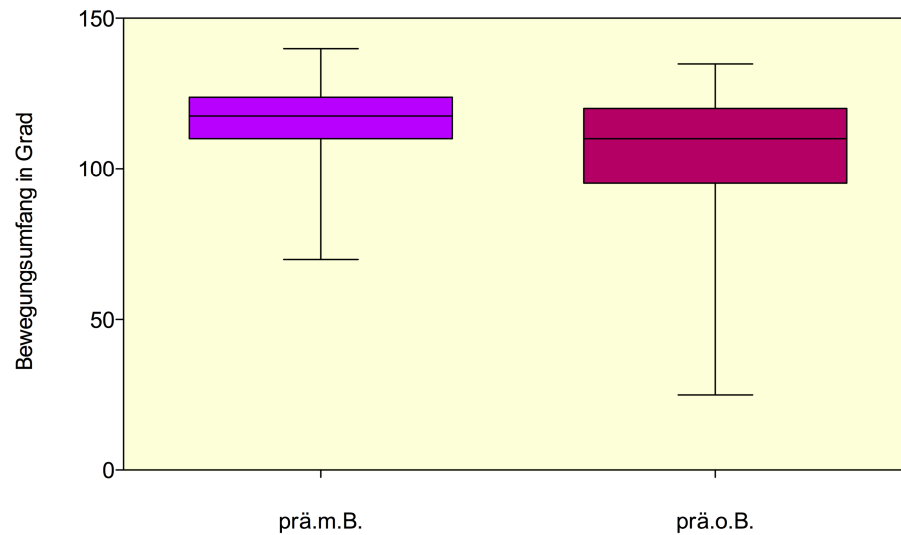


Abbildung 18: Bewegungsumfang präoperativ passiv in Grad, Vergleich mit Blutsperre (= m.B.) und ohne Blutsperre (= o.B.) präoperativ (= prä.)

Der passive Bewegungsumfang am 2.postoperativen Tag reichte in der Gruppe mit Blutsperre von 25° - 75° , durchschnittlich betrug er $49,25^{\circ}$. In der Gruppe ohne Blutsperre konnte ein Bewegungsumfang von 20° - 60° und durchschnittlich von $45,88^{\circ}$ gemessen werden (Abb. 19). Nach Anwendung des Mann-Whitney U-Tests unterschieden sich die Gruppen nicht signifikant ($p = 0,1278$).

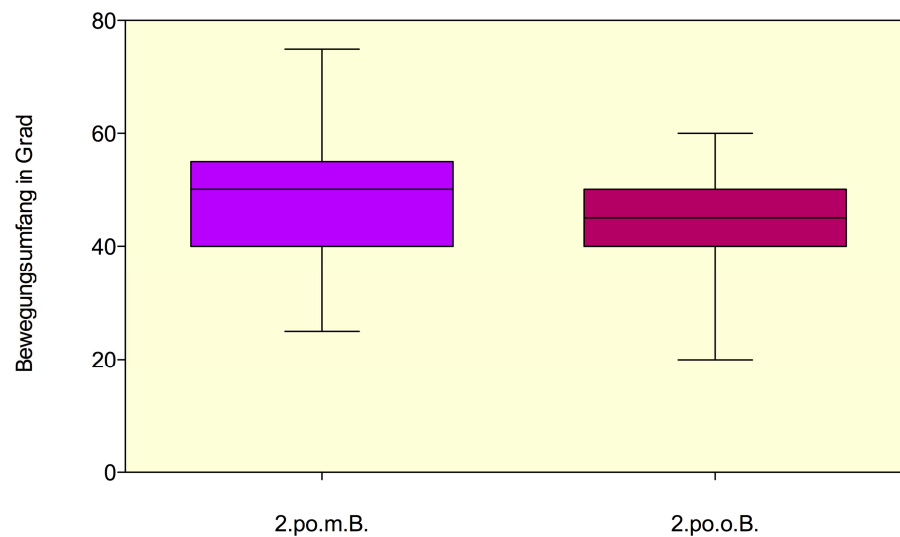


Abbildung 19: Bewegungsumfang passiv in Grad Vergleich mit Blutsperre (= m.B.) und ohne Blutsperre(= o.B.) am 2. postoperativen Tag (= 2.po.)

Die Abbildung 20 vergleicht den Bewegungsumfang von präoperativ zum 2.postoperativen Tag mit und ohne Blutsperre. In der Gruppe mit Blutsperre fand von präoperativ zum 2.postoperativen Tag eine Reduktion des passiven Bewegungsumfanges von durchschnittlich $65,2^{\circ}$ statt. Im Minimum verringerte sich der Bewegungsumfang um 40° im Maximum um 75° . In 75 % der Fälle lag die Abnahme des Bewegungsumfanges unter $68,8^{\circ}$, bei 25 % unter 70° . Ohne Anwendung der Blutsperre war von präoperativ zum 2.postoperativen Tag eine Reduktion des Bewegungsumfanges um durchschnittlich $60,2^{\circ}$ zu beobachten. Die Differenz der Minima betrug 5° , die der Maxima 75° . 75 % der Werte lagen unter 70° , 25 % unter 55° .

Die durchschnittliche Reduktion des Bewegungsumfanges fiel in der Gruppe mit Blutsperre um 5° größer aus als in der Gruppe ohne Blutsperre. Außerdem sind die Werte in der Gruppe ohne Blutsperre auf einen größeren Bereich verteilt als diejenigen in der Gruppe mit Blutsperre.

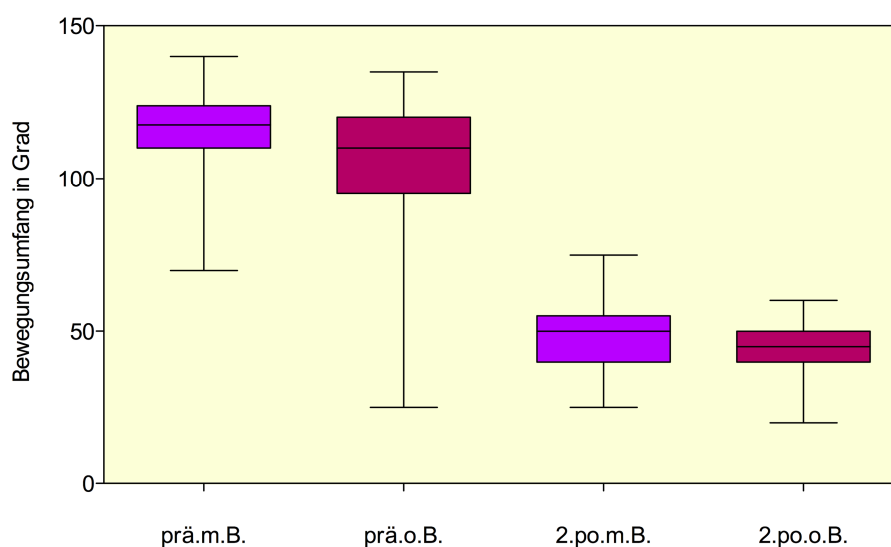


Abbildung 20: Bewegungsumfang passiv in Grad präoperativ (= prä.) und am 2.postoperativen Tag (= 2.po.) im Vergleich mit Blutsperre (= m.B.) und ohne Blutsperre (= o.B.)

3.6 Knieumfang / Schwellung

Zur Bestimmung und zum Vergleich des Knieumfanges wurden die jeweils auf drei Beinhöhen gemessenen Werte addiert und die Werte der zwei Untersuchungsgruppen einander gegenüber gestellt. Dabei war von prä- zu postoperativ zwar eine Zunahme des Umfanges messbar. Es zeigte sich jedoch präoperativ wie auch am 2. postoperativen Tag kein signifikanter Unterschied im Knieumfang zwischen den Untersuchungsgruppen (präoperativ $p = 0,7396$, am 2. postoperativen Tag $p = 0,9616$). Durchschnittlich war in der Gruppe mit Blutsperre präoperativ ein Umfang von 124,4 cm, am 2. postoperativen Tag 132,9 cm zu messen, in der Gruppe ohne Blutsperre präoperativ 122,4 cm und am 2. postoperativen Tag 131,9 cm (Abb. 21).

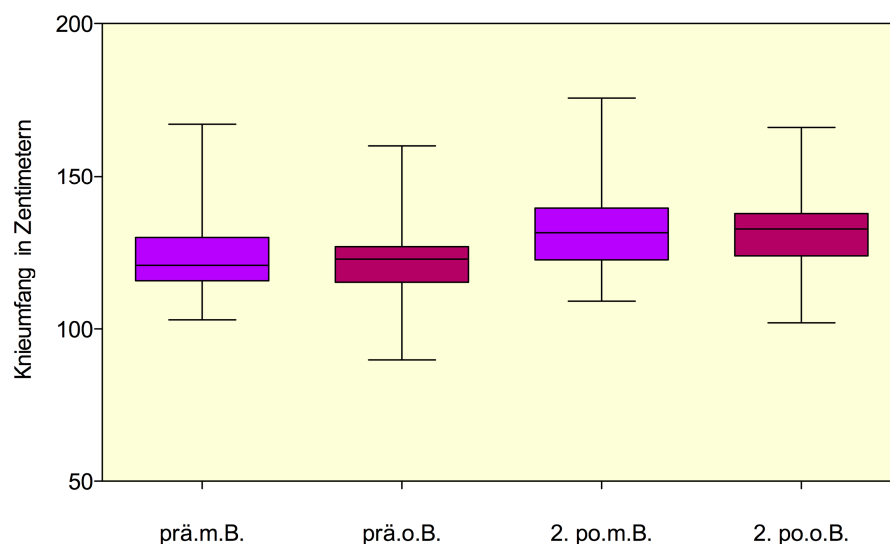


Abbildung 21: Knieumfang in Zentimetern prä- und postoperativ (= prä. bzw. = po.); mit (= m.B.) vs. ohne Blutsperre (= o.B.)

Auch der Vergleich der Knieumfangszunahme insgesamt ergab nach Auswertung mit dem Mann-Whitney U-Test keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen Operation mit und ohne Blutsperre ($p = 0,3698$). Mit Anwendung der Blutsperre waren minimal 0 cm, maximal 21 cm und durchschnittlich 8,55 cm zu messen, ohne Blutsperre minimal 0 cm, maximal 22 cm und durchschnittlich 9,48 cm Umfangszunahme erfasst (Abb. 22).

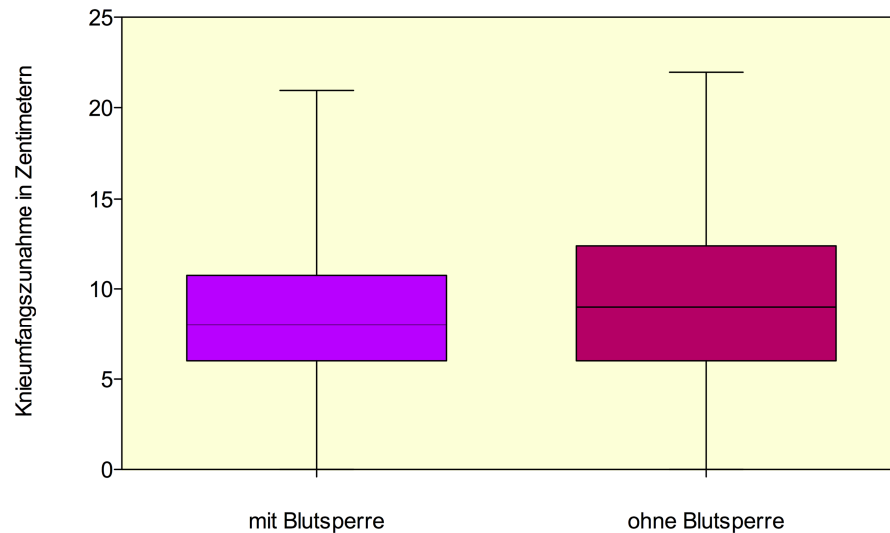


Abbildung 22: Knieumfangszunahme gesamt in Zentimetern von prä- zu postoperativ mit vs. ohne Blutsperre

3.7 Zementeindringtiefe

Die Zementeindringtiefe wurde an definierten Punkten unter der tibialen Komponente der Prothese aus den postoperativen Röntgenaufnahmen gemessen. Für die Ermittlung der Gesamtzementeindringtiefe im Vergleich mit versus ohne Blutsperre wurden die einzelnen Zementeindringtiefen addiert.

Bei Verwendung der Blutsperre maß in der anterior-posterioren Aufnahme die minimale Zementeindringtiefe 1,5 mm, die maximale 3,25 mm. Die durchschnittliche Zementeindringtiefe betrug 2,53 mm. In der lateralen Aufnahme betrug die durchschnittliche Zementeindringtiefe 2,01 mm, die maximale 3,0 mm, die minimale 1,0 mm. Ohne Anwendung der Blutsperre betrug die Zementeindringtiefe in der anterior-posterioren Aufnahme durchschnittlich 2,34 mm, minimal 1,25 mm, maximal 3,5 mm. In der lateralen Aufnahme maß die durchschnittliche Zementeindringtiefe 1,78 mm, die minimale 1,0 mm, die maximale 3,0 mm (Abb. 23).

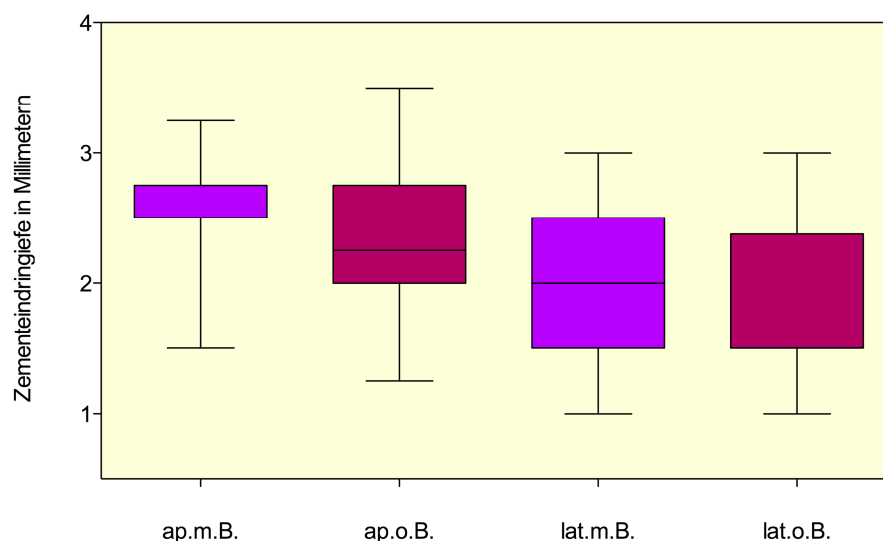


Abbildung 23: Durchschnittliche Zementeindringtiefe in mm, in den anterior-posterior- (= ap.) und lateralen (= lat.) Röntgenaufnahmen bei Operation mit Blutsperre (= m.B.) und ohne Blutsperre (= o.B.), sowie durchschnittliche Gesamtzementeindringtiefe (= mittel) in Operation mit und ohne Blutsperre

Die Mittelung der Werte für die Zementeingringtiefe unter der Prothese ergab mit Blutsperrung durchschnittlich 2,36 mm (min. 1,5 mm, max. 3,0 mm). 75 % der Werte lagen unter 2,5 mm, 25 % der Werte unter 2,18 mm. Ohne Anwendung der Blutsperrung waren durchschnittlich 2,14 mm zu messen (min. 1,33 mm, max. 3,12 mm). 75 % der Werte lagen unter 2,33 mm, 25 % der Werte unter 1,83 mm (Abb. 24).

Nach Anwendung des Mann-Whitney U-Tests war ein signifikanter Unterschied zwischen den zwei Untersuchungsgruppen von $p = 0,0069$ festzustellen.

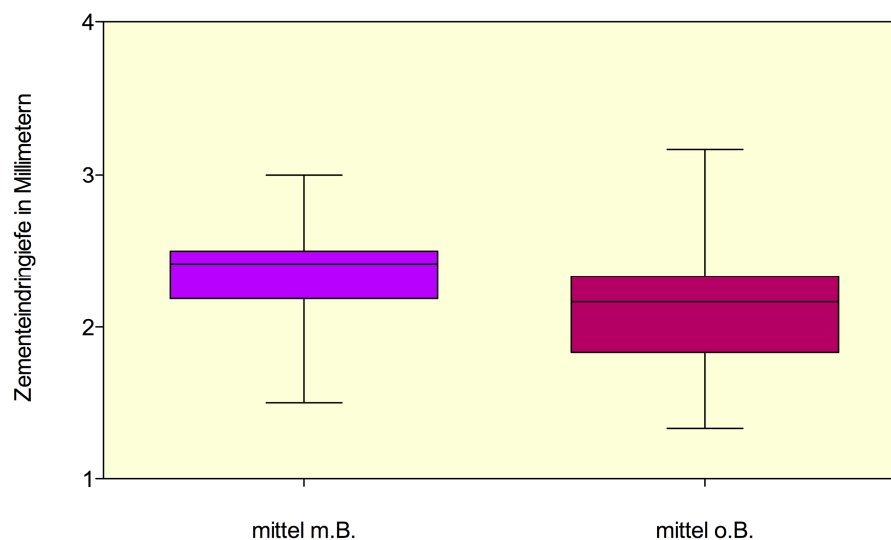


Abbildung 24: Gemittelte (= mittel) Zementeingringtiefe mit und ohne Blutsperrung in mm, gemessen aus den anterior-posterior- und lateralen Röntgenaufnahmen bei Operation mit Blutsperrung (= m.B.) und ohne Blutsperrung (= o.B.)

Die aus allen Werten addierte Gesamtzementeingringtiefe betrug bei Operation mit Blutsperre durchschnittlich 14,23 mm, minimal 9 mm und maximal 18 mm. Ohne die Anwendung einer Blutsperre konnte eine durchschnittliche Gesamtpenetrationstiefe von 12,83 mm, eine minimale von 8 mm, und eine maximale von 19 mm ermittelt werden. Dabei zeigte sich eine geringere Spannweite der Werte sowohl mit als auch ohne Anwendung der Blutsperre. 75 % der gemessenen Gesamteindringtiefen lag 1 mm und der Median 1,5 mm unter denen mit Operation ohne Blutsperre. Nach Anwendung des Mann-Whitney U-Tests war eine signifikant tiefere Zementeingringtiefe bei Anwendung der Blutsperre ($p = 0,004$) messbar. Im unten stehenden Diagramm wird die Gesamtpenetrationstiefe mit und ohne Blutsperre verglichen (Abb. 25)

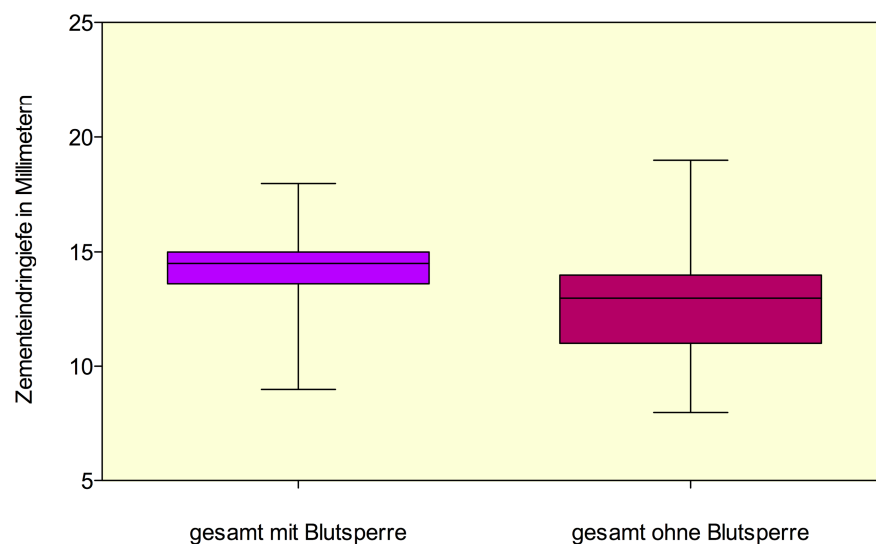


Abbildung 25: Addierte Gesamtzementeingringtiefe in Millimetern gemessen aus den anterior-posterior- und lateralen Röntgenaufnahmen mit und ohne Blutsperre

4 Diskussion

4.1 Diskussion der Methodik

4.1.1 Studienauftrag

Die Anwendung einer Blutsperre in der Endoprothetik des Kniegelenks ist weit verbreitet, obwohl aktuell kein Konsens über die Verwendung besteht. Der Nutzen in Relation zum Risiko wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Zu den genannten Vorteilen gehören neben einem geringeren perioperativen Blutverlust die bessere Visualisierung des Operationsfeldes und dadurch kürzere Operationszeit und Optimierung der Zementierqualität[3, 32, 110]. Zu den Komplikationen einer Blutsperrenanwendung zählen u.a. neuromuskuläre sowie mikrovaskuläre Verletzungen sowie die reaktive Hyperämie mit verstärkter postoperativer Schwellung, Hämatombildung, Schmerz und Bewegungseinschränkung als auch ein erhöhtes Risiko für das Auftreten einer tiefen Beinvenenthrombose und Lungenarterienembolie[26, 52, 81, 92].

Insbesondere der Einfluss der Blutsperre auf den perioperativen Blutverlust wurde in anderen Arbeiten untersucht, wobei divergierende Ergebnisse erzielt wurden[1, 41, 49, 74, 115, 120]. Die Auswirkung auf die Rehabilitation wurde nur in wenigen Studien ermittelt und für die Evidenz einer verbesserten Zementierqualität mangelt es an vergleichenden Untersuchungen[1, 72, 120, 121].

Ziel der vorliegenden Studie war es, den quantitativen Effekt der Anwendung der Blutsperre auf den perioperativen Blutverlust sowie die Auswirkung auf die frühe Rehabilitationsphase gemessen an postoperativen Schmerzen, Schwellung, Bewegungsausmaß zu ermitteln und die Zementeindringtiefe zu bestimmen.

4.1.2 Studiendesign

In dieser prospektiven Studie wurden 80 Patienten, welche eine primäre Knie-TEP implantiert bekommen sollten, randomisiert zwei Gruppen mit jeweils 40 Personen zugeteilt, von denen eine Gruppe mit, die andere Gruppe ohne Blutsperre operiert wurde. Mit dem prospektiven Studiendesign konnten die benötigten Parameter prä- und postoperativ erfasst und Störvariablen reduziert werden. Eine Selektion der Patienten hinsichtlich Alter, Geschlecht oder Body Mass Index (BMI) erfolgte nicht. Alle Teilnehmer

beendeten die Studie. Das Verhältnis Männer zu Frauen betrug 37,5 % zu 62,5 %, das durchschnittliche Alter lag bei 69,7 Jahren. Der mittlere ASA-Score betrug 1,56 Punkte, der durchschnittliche BMI 26,5. Zwischen den Gruppen bestand kein signifikanter Unterschied betreffend den präoperativen Hämatokritwert von durchschnittlich 0,42. Die Parameter des Patientenkollektivs lagen im Bereich vergleichender Studien[1, 41, 72, 115, 120].

Alle Patienten erhielten in der gleichen Klinik einen unilateralen, zementierten Kniegelenkersatz, ohne Differenzen im perioperativen Management. Besonderes Herausstellungsmerkmal dieser Studie ist, dass der Eingriff bei allen StudienteilnehmerInnen vom gleichen Operateur durchgeführt wurde. Entsprechend bestand kein Unterschied im operativen Zugangsweg, in der Operationstechnik sowie im Erfahrungsgrad des Operierenden. Demnach ergibt sich eine vergleichbare Operations-Dauer, welche Einfluss auf den Blutverlust nehmen kann. Um ein möglichst homogenes Kollektiv zu erhalten wurden nur Patienten mit primärer Gonarthrose in die Studie einbezogen und Patienten mit hämatologischen Vorerkrankungen oder Einnahme medikamentöser Antikoagulantien bis zu 4 Wochen vor Operation ausgeschlossen. So wurde die Variabilität zwischen den Gruppen möglichst gering gehalten.

4.1.3 Ermittlung des Blutverlusts

Zur Bestimmung des Blutverlusts existieren unterschiedliche Methoden. Die alleinige Orientierung am Hämatokrit- oder Hämoglobinabfall unterschätzt den Blutverlust[17, 85]. Eine weitere Möglichkeit stellt das Erfassen der offensichtlichen Blutvolumina dar, welche intraoperativ aus dem Sauger, postoperativ aus den Drainagen gesammelt und durch Wiegen der Schwämme und Kompressen ermittelt werden[2, 32, 41, 72, 96]. Einige Studien bestimmten den Gesamtblutverlust nur durch Addition dieser Volumina zu einem Gesamtblutverlust. Es hat sich jedoch gezeigt, dass auch mit dieser Methode nur ein Teil des wirklichen Blutverlustes erfasst wird[71, 74, 115].

Auch beim Überschlagen des perioperativen Blutverlustes anhand der Drainagemenge wird dieser meist unterschätzt. In den Drainagen sammelt sich nur ein Teil, meist weniger als 50 % des Gesamtblutverlustes. Lotke et al. maßen in den Drainagen sogar etwa nur ein Drittel des berechneten Blutverlustes, wobei das Volumen in der Drainage mit der Menge des berechneten Blutverlusts korrelierte[74].

Wenige Arbeiten bestimmen sowohl den offensichtlichen, als auch den berechneten Blutverlust[48, 115]. Tetro et al. berechneten den Blutverlust einerseits mittels der Formel nach Gross und addierten andererseits das offensichtlich messbare Blutvolumen aus Sauger, Drainagen und Schwämmen. Hiernach betrug das gemessene verlorene Blutvolumen nur 42 % des berechneten Blutverlustes[115].

Das in den offensichtlichen Messungen nicht erfasste Volumen wird auch mit dem sog. „hidden blood loss“ erklärt, welcher sich aus intraartikulärer Ansammlung, Extravasation ins Gewebe sowie durch eingriffsbedingte Hämolyse summiert[94, 106]. Dieser „versteckte“ Blutverlust beträgt der Literatur zufolge zwischen 38 % und 56 % des Gesamtblutverlusts[72, 96, 106].

Prasad et al. bestimmten den Hidden blood loss durch Subtraktion des offensichtlichen Blutverlusts (aus Sauger, Schwämmen und Drainage) vom berechneten Gesamtblutverlust nach der Formel von Gross. Dabei ergab sich ein hidden blood loss von 38 %[96]. Sehat et al. ermittelten einen hidden loss von 50 % unter Anwendung der Blutsperre[106].

Eine exaktere Methode stellt die mathematische Berechnung des Blutverlusts dar, welche in einigen vergleichenden Studien angewandt wurde[48, 72, 74, 80, 115, 120]. Der hohe Anteil des versteckten Blutverlusts unterstreicht die Notwendigkeit einer genauen Berechnung.

4.1.4 Berechnungsmethoden

Eine einheitliche Berechnungsmethode zur Bestimmung des Blutvolumens und -verlusts existiert nicht. Es finden sich in der Literatur verschiedene Methoden und Formeln welche jedoch Defizite beinhalten und den Blutverlust nur annähernd darstellen. Ein wesentlicher Schwachpunkt liegt im geschätzten Ausgangsblutvolumen des Patienten. Eine einfache Methode stellt die häufig angewandte Bestimmung anhand des Hämoglobinabfalls in Bezug auf einen Standardpatienten dar. Differenzierter sind die Formeln nach Nadler et al.,1962, mit Berücksichtigung der individuellen Patientenparameter für Geschlecht, Größe und Gewicht, oder die vom Expert Panel on Radionucleotides of the international Council for Standardisation in Haematology empfohlene Methode mit Erfassung der Körperoberfläche[24, 89, 95].

Weiterhin werden bei einfachen Berechnungsmethoden die perioperativen Volumenverschiebungen durch Infusionstherapie nicht beachtet[37, 73].

In der vorliegenden Arbeit wurde neben der Dokumentation der intra- und postoperativen Blutvolumina in Sauger und Drainagen der absolute Blutverlust unter Berücksichtigung der isovolämischen Hämodilution kalkuliert[13, 14, 37, 42, 73]. Das Ausgangsblutvolumen wurde anhand der Formel von Nadler et al. ermittelt. In vergleichenden Arbeiten wurde der Blutverlust mit unterschiedlichen Formeln berechnet, was die Gegenüberstellung der Ergebnisse kompliziert. Auch das Ausgangsblutvolumen wurde nicht auf einheitliche Weise bestimmt.

Die Berechnungsmethode nach Gross et al., welche in einigen Arbeiten verwendet wurde stellt eine vereinfachte Form der in dieser Studie angewandten Formel dar. Bei einem Blutverlust von bis zu etwa 800 ml zeigt sich jedoch eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse, erst bei zunehmenden Blutverlusten divergieren die Ergebnisse zwischen den zwei Methoden (siehe Abb.2, Kapitel 1.6.).

4.2 Blutverlust

Der durchschnittlich berechnete Blutverlust aller Patienten in der vorliegenden Arbeit betrug 0,83 l. Keiner der Patienten erhielt eine Bluttransfusion. Der Blutverlust fällt damit deutlich geringer aus als in der Mehrzahl der vergleichbaren Studien mit etwa 1,2 - 1,5 l[68, 80, 115, 120, 126].

Als eine Erklärung lässt sich die deutlich kürzere Operationsdauer in dieser Arbeit von durchschnittlich 38,8 min. anführen. In vergleichenden Arbeiten werden 80 - 150 min. angegeben[41, 68, 80, 96, 115, 120]. Bereits Harvey et al. und Prasad et al. konnten einen signifikanten Einfluss der Operationsdauer auf den Blutverlust feststellen[41, 96].

In vielen Studien wurde der Eingriff nicht vom gleichen Operateur durchgeführt mit daraus resultierend differierendem Erfahrungsgrad, Op-Zugangsweg, differierender Op-technik und Verwendung anderer Implantate und Redon-Drainagen. So ist z.B. bei geringerem Erfahrungsgrad des Operateurs mit einer verlängerten Op-Zeit und hierdurch wiederum erhöhtem Blutverlust zu rechnen. Chin und Tria et al. konnten

einen geringeren Blutverlust bei minimalinvasiven Operationstechniken im Vergleich zu konservativen Zugangswegen messen[20, 118].

Zudem wurden in der vorliegenden Studie nur Patienten mit primärer Gonarthrose erfasst, wohingegen in anderen Arbeiten teils komplexere Patientenkollektive mit mehr Vorerkrankungen und anderen Grunderkrankungen behandelt wurden. Die daraus folgenden erschwerten Operationsbedingungen mit Verlängerung der Operationsdauer können wiederum einen größeren Blutverlust verursachen.

4.3 Einfluss der Blutsperre auf den Blutverlust

Der Blutverlust betrug durchschnittlich mit Anwendung der Blutsperre 0,91 l (0,35 l - 1,50 l), ohne Blutsperre 0,75 l (0,24 l - 2,01 l), zu. Beim Vergleich der zwei Untersuchungsgruppen war in Übereinstimmung mit den prospektiven Studien von Tetro et al. und Li et al. ein signifikant höherer ($p = 0,0125$) berechneter Blutverlust bei Operation mit Blutsperre zu ermitteln[72, 115]. Einige Arbeiten kamen zum gegenteiligen Ergebnis. Jedoch fällt in der prospektiv randomisierten Arbeit von Vandenbussche et al. eine lange durchschnittliche Operationsdauer (mit 155 min. das 4-5-fache der in unserer Untersuchung benötigten Zeit) sowie die zwischenzeitliche Deflation der Blutsperre zur Hämostase auf[120]. Zudem behandelten sie ein komplexeres Patientenkollektive. Aus der Arbeit von Wakankar et al. geht nicht hervor, wie der Blutverlust berechnet oder gemessen wurde, und es ist eine kleine Fallzahl in den einzelnen Versuchsgruppen zu kritisieren[121]. In Matziolis' et al. Studie wird mit größerer Fallzahl von 547 Personen jedoch retrospektiv analysiert[80]. Ledin et al. konnten lediglich einen nicht signifikanten, größeren Blutverlust mit Blutsperre feststellen[68].

Der größere Anteil des Blutverlusts bei Operation mit Blutsperre ist mutmaßlich dem hidden blood loss zuzuordnen. Diese Annahme basiert auf der Untersuchung von Li et al., die in ihrer prospektiv randomisierten Arbeit den hidden blood loss mit und ohne Anwendung der Blutsperre verglichen[72]. Der Gesamtblutverlust wurde dabei nach der Formel von Gross und Nadler berechnet. Der intraoperative Blutverlust wurde aus Sauger und Schwämmen, der postoperative Blutverlust durch Wiegen des Verbandsmaterials bestimmt, da keine Drainagen verwendet wurden. Bei Operation mit Blutsperre zeigte sich zwar ein signifikant kleinerer intraoperativer Blutverlust, jedoch ein signifi-

kant größerer hidden blood loss, Wundblutverlust und berechneter Gesamtblutverlust. Der hidden blood loss betrug mit Blutsperre 56 %, ohne Blutsperre 42 % des berechneten Blutverlustes. Über eine signifikante Differenz des freien Hämoglobins wurde weiterhin eine gesteigerte Hämolyse in der Gruppe mit Blutsperre gefolgt[72].

Als Ursache für den hidden blood loss wird die, nach Deflation der Blutsperre durch längere Ischämieperiode verursachte, reaktive Hyperämie angeführt, welche schon von Authier et al. in Experimenten beobachtet wurde[7]. Larsson et al. fanden einen reaktiv erhöhten Blutfluss nach dem Öffnen der Blutsperre in ihren Untersuchungen[66]. Zudem könnte eine Einblutung in das umliegende Gewebe durch die postischämisch gesteigerte fibrinolytische Aktivität begünstigt sein[2, 54]. Nakahara et al. beobachteten im Tiermodell (bei Hunden), bei Blutsperren-Anwendung eine gesteigerte Kapillarpermeabilität[90]. Diese Untersuchungsergebnisse und Hypothesen können erklären warum Blutsperren-Patienten einen erhöhten postoperativen Blutverlust haben.

Bezüglich des offensichtlichen Blutverlustes wurde eine deutliche Verringerung des intraoperativen Blutverlustes aus Sauger und Schwämmen oder Kompressen bei Operation mit Blutsperre mehrfach beschrieben[72, 115, 126]. In dieser Arbeit betrug die Saugermenge ohne Verwendung der Blutsperre durchschnittlich 0,241 l, mit Blutsperre war keine solche zu dokumentieren. Kompressen oder Schwämme wurden nicht gewogen.

Die Anwendung von Drainagen bei Knieendoprothesenimplantation zeigt einen Einfluss auf den perioperativen Blutverlust, es existieren jedoch widersprüchliche Ergebnisse. Esler et al. ermittelten einen statistisch signifikant höheren Blutverlust bei Anwendung von Redondrainagen[25]. Mengal et al. kamen zum gegenteiligen Ergebnis mit signifikant höherem Blutverlust ohne Drainage (1983 ml gegenüber 1590 ml).

Bei Blutsperrenanwendung wäre aufgrund der damit verbundenen reaktiven Hyperämie ein größeres Drainagevolumen im Vergleich zur Operation ohne Blutsperre anzunehmen. Die Studie von Li et al. bestätigt dies[72, 82]. Sie maßen einen signifikant höheren postoperativen Blutverlust bei Operation mit Blutsperre. Dieser wurde jedoch durch Wiegen des Verbandsmaterials und konvertieren in Volumen ermittelt. Zhang et al. maßen ebenfalls einen größeren postoperativen Blutverlust[126]. In der vorliegenden Arbeit ließ sich dies nicht bestätigen. Der postoperative Blutverlust in den Drainagen fiel in der Blutsperren-Gruppe mit 0,161 l signifikant geringer aus als in der

Gruppe ohne Blutsperre mit 0,192 l ($p = 0,0207$). Es existieren jedoch auch Arbeiten, die keinen bedeutenden Einfluss auf das Drainagevolumen belegen konnten[32, 115, 120].

Zusammenfassend reduziert die Anwendung einer Blutsperre zwar den intraoperativen Blutverlust, jedoch nicht den berechneten Gesamtblutverlust. In der 2011 veröffentlichten Metaanalyse kamen Tai et al. beim Vergleich von 8 randomisiert kontrollierten und 3 prospektiven Studien zu dem Ergebnis, dass die Anwendung der Blutsperre zwar zu einem geringeren offensichtlichen Blutverlust, nicht aber zu einem geringeren berechneten Blutverlust führt[114].

4.4 Einfluss des Inflationsdrucks und der Öffnungszeit der Blutsperre

Bei der Beurteilung über Auswirkung der Blutsperren-Anwendung ist weiterhin auch der Inflations- und Deflationszeitpunkt sowie der Inflationsdruck der Blutsperre mit in Betracht zu ziehen. Nach einer von Bell et al. publizierten prospektiven Studie mit 939 Patienten die eine K-TEP erhielten, führt eine intraoperative Öffnung der Blutsperre zu einem statistisch signifikant geringeren Hämoglobin-Abfall im Vergleich zur Deflation nach Wundverschluss ($p = 0,005$). Dies kann durch die bessere intraoperative Blutstillung durch den Operateur bedingt sein[10]. In einigen anderen Arbeiten wurde die Blutsperre zur Blutstillung vor dem Wundverschluss geöffnet. Hierbei wurde jedoch in der Mehrzahl der Fälle ein größerer Blutverlust gegenüber der Durchführung des kompletten operativen Eingriffs mit Blutsperre festgestellt[51, 64, 74, 97].

Als eine weitere Möglichkeit wird die temporäre Inflation der Blutsperre beim Zementiervorgang diskutiert. Harvey et al. ermittelten dabei einen geringeren Blutverlust, als bei Operation ohne Blutsperre, jedoch einen größeren, als bei kompletter Operation mit Blutsperre[41]. Ein Anlegen der Manschette vor dem Hautschnitt und Öffnen derselben nach dem Aushärten des Zements führt bei Kvederas et al. zu einem geringeren Blutverlust im Vergleich zur Inflation nur für die Zementapplikation und auch im Vergleich zu einer Anwendung während des kompletten Eingriffs. Zudem konnte er in der genannten Gruppe neben dem geringsten Blutverlust ein besseres funktionelles frühzeitiges Outcome ermitteln[65].

Barwell et al. (1997) konnten bei intraoperativer Deflation der Blutsperre zur Hämostase gegenüber der Deflation nach dem Wundverschluss signifikant weniger Schmerzen als auch bessere Flexion in der frühen postoperativen Phase ermitteln.

Die optimale Öffnungszeit der Blutsperre wird weiterhin kontrovers diskutiert, der Literaturvergleich wird durch unterschiedliche Erfassungsmethoden des Blutverlusts sowie differierende Kriterien zur Bestimmung des Outcomes erschwert. Die Blutsperre wurde in dieser Arbeit bei den Patienten, welche mit Blutsperre operiert wurden, präoperativ angelegt und erst nach dem Wundverschluss wieder geöffnet.

Der Inflationsdruck pneumatischer Blutsperren wird von der Mehrheit während der kompletten Operation über dem systolischen Blutdruck belassen. In der vorliegenden Arbeit betrug er durchgehend 350 mmHg, wie auch bei Fukuda et al. und Vandenbussche et al.[32, 120]. Vergleichende Studien verwendeten teils den doppelten systolischen Druck[1, 2], oder einen Wert von 100-150 mmHg über dem individuellen systolischen Blutdruck[72, 96, 126].

4.5 Einfluss der Blutsperre auf die Operationszeit

Als Vorteil der Blutsperre ist die bessere Visualisierung des Operationsfeldes zu nennen. Dadurch ließe sich die Operationszeit verringern. In dieser Arbeit konnte dabei in Übereinstimmung mit Tetro und Vandenbussche, Wakankar et al. sowie dem Ergebnis des Reviews von Alcelik et al. keine signifikante Differenz in der Operationszeit zwischen den zwei Untersuchungsgruppen festgestellt werden[3].

4.6 Einfluss der Blutsperre auf den postoperativen Schmerz

Die Erhebung der Daten über die Schmerzintensität erfolgte mit Hilfe der visuellen Analogskala (= VAS), welche weitverbreitet in klinischen Untersuchungen eingesetzt wird und eine einfache, zuverlässige, sensitive und valide Erfassungsmethode darstellt[12, 22]. Dabei wird dem Wert 0 = kein Schmerz und dem Wert 10 = maximaler Schmerz zugeteilt.

Während die Studiengruppen präoperativ vergleichbare Schmerzangaben machten, gaben die Patienten welche mit Blutsperre operiert wurden am 4. postoperativen Tag

sowohl in Ruhe ($p = 0,002$) als auch unter Belastung ($p = 0,0033$) signifikant mehr Schmerzen an.

Zu einem mit dieser Arbeit übereinstimmenden Ergebnis kamen Ledin et al. in ihrer randomisierten Studie[68]. Abdel-Salam und Vandenbussche et al. ermittelten in ihren prospektiv randomisierten Arbeiten ebenfalls stärkere Schmerzen in der frühen postoperativen Phase bei Blutsperren-Anwendung. Zu späteren Messzeitpunkten in der 1. und 6. Woche sowie 4 Monate postoperativ konnten Wakankar et al. keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen mehr ermitteln[121].

Ursächlich für den Schmerz könnte einerseits die direkte Kompression der Blutsperrenmanschette auf lokales Muskelgewebe und Nerven sein. Eine weitere Erklärung gibt die reaktive Hyperämie nach Deflation der Blutsperre, welche durch Schwellung und damit Zug am Weichteilgewebe verstärkten Wundschmerz bedingt[1, 109]. Es ist zudem denkbar, dass der größere hidden blood loss mit Blutung ins Gelenk und Extravasation ins Gewebe bei Operation mit Blutsperre stärkere Schmerzen hervorruft.

Eine Minderung des postoperativen Schmerzes wurde durch kürzere Dauer der Blutsperren-Anwendung sowie einen geringeren Inflationsdruck beobachtet[9]. So konnten geringere postoperative Schmerzen bei Anwendung eines Inflationsdruckes von 100 mmHg über dem systolischen Blutdruck gegenüber 350 mmHg in der frühen postoperativen Phase nachgewiesen werden. Ebenso zeigten sich bessere Ergebnisse was die Flexion betrifft[78, 125].

Von Bedeutung ist dieses Ergebnis, da das Schmerzempfinden auch als Einflussfaktor auf den postoperativen Bewegungsradius gesehen wird[102]. Der postoperative Schmerz kann die Wiederherstellung der Kniegelenksfunktion behindern und zählt auch als prädiktiver Faktor für eine verzögerte Rehabilitation[86].

4.7 Einfluss der Blutsperre auf den Bewegungsradius und die Schwellung

Ein wichtiger Parameter bei der Beurteilung des Outcomes nach Knieendoprothesenimplantation stellt der Bewegungsradius oder Range of Motion (ROM) dar. In 4 (prospektiv) randomisierten Studien wird über eine signifikant bessere Flexion in der ersten Woche berichtet, wenn ohne Blutsperre operiert wurde[1, 72, 120,

121]. Langzeitstudien, die bis zu 12 Monate postoperativ nachuntersuchten, erbrachten widersprüchliche Ergebnisse: Abdel-Salam und Wakankar et al. ermittelten keine Differenz zwischen den Gruppen[1, 121]. Dahingegen konnten Ledin et al. bei Operation mit Blutsperre sowohl in der frühen postoperativen Phase als auch noch 2 Jahre postoperativ einen geringen Bewegungsradius ermitteln[68].

Als mögliche Ursache für den vorübergehenden Flexibilitätsverlust in der Oberschenkelmuskulatur wird die Muskelkompression durch die Blutsperre vermutet. Saunders hatte bereits 1979 nach Blutsperren-Anwendung ein Axonales Kompressionssyndrom mit Veränderungen im Elektromyogramm beschrieben, welches zu Quadrizepsschwäche führen kann[104]. Zudem konnten in elektronenmikroskopischen Aufnahmen nach Blutsperren-Anwendung ultrastrukturelle Schäden im Muskelgewebe beobachtet werden[6]. Die beschriebene Nervenkompression und Muskelverletzung könnte eine verlängerte Heilungsphase bedingen.

In der vorliegenden Arbeit wurde der passive Bewegungsradius am 2. postoperativen Tag gemessen. Dabei konnte zwischen den zwei Untersuchungsgruppen kein signifikanter Unterschied im Bewegungsradius festgestellt werden ($p = 0,1278$).

Durch (die mögliche) stärkere Schwellung als Folge der Operation mit Blutsperre kann die Beweglichkeit des Kniegelenkes eingeschränkt und somit die Mobilisation behindert werden. Ursächlich wird die postischämische, reaktive Hyperämie und folgende Ödem- und Hämatombildung genannt[109]. Li et al. maßen nach 3 und 14 Tagen einen signifikant größeren Knieumfang in der Gruppe mit Blutsperre und erklärten diese mit dem größeren hidden blood loss in diesem Kollektiv[72]. Wakankar et al. ermittelten dahingegen keinen signifikant differierenden Knieumfang zwischen den Gruppen in der 1. und 6. postoperativen Woche sowie nach 4 Monaten[121]. Sie maßen dabei am oberen Patellapol sowie 10 cm unter und oberhalb davon.

Bezüglich des Knieumfanges konnte in dieser Arbeit auch am 2. postoperativen Tag kein signifikanter Unterschied zwischen den Untersuchungsgruppen ermittelt werden ($p = 0,9616$). Eine Zunahme des Knieumfanges war von prä- zu postoperativ zu messen. Zu bedenken ist, dass sowohl die Daten zum Bewegungsumfang als auch die zum Oberschenkelumfang zu einem sehr frühen postoperativen Zeitpunkt erhoben wurden

und gegebenenfalls aufgrund postoperativer Schmerzen nur eingeschränkt beurteilbar sind.

4.8 Einfluss der Blutsperrre auf die Zementeindringtiefe

Die Ursache für eine aseptische Prothesenlockerung findet sich in der Mehrzahl der Fälle an der Zement-Knochen-Grenze[76]. Die korrekte Vorgehensweise bei der Präparation der Knochenoberfläche und Applikation des Zements zeigt Einfluss auf das Überleben von Knieendoprothesen[99]. Die Techniken dabei variieren und wurden bereits vielfach untersucht. So erreichten beispielsweise Clarius et al. eine signifikant verbesserte Zementeindringtiefe mittels pulsatiler Jet-Lavage[21]. Kraus et al. zeigten eine verbesserte Zementierqualität bei der Verwendung von „low-viscosity Zement“[21, 63].

Die Haftzug und -scherfestigkeit der Knochen-Zement-Verbindung wird von verschiedenen Faktoren signifikant beeinflusst. Dazu gehören die Vorbereitung der Knochenoberfläche der Tibia und der Zementapplikation sowie die Zementeindringtiefe[63]. Vorhandensein von Blut auf der Grenzfläche reduziert dabei deutlich die Haft- und Zugfestigkeit (bis zu 50 %)[8, 38]. Ebenso scheint eine starke Blutung im Markraum einen nachteiligen Effekt auf die Verbindung zu haben[77]. Darin begründet sich auch die verbreitete Blutsperrren-Anwendung bei Knie-TEP-Implantationen mit dem Hauptargument, dass ein blutfreies Operationsfeld eine bessere Zementierqualität/Knochen-Zement-Verbindung ermöglicht. Es finden sich in der Literatur jedoch kaum Daten zum Einfluss der Operation mit Blutsperrre auf die Fixation der Prothese.

Vandenbussche et al. untersuchten Lockerungszeichen in Röntgenaufnahmen 3 Monate nach dem Eingriff und konnten in beiden Gruppen (mit und ohne Blutsperrren-Anwendung) keine frühen Anzeichen für eine Lockerung feststellen[120].

In zwei aktuellen Studien wurde der Einfluss der Blutsperrre auf die Fixierqualität mit der Röntgenstereometrie untersucht, welche anhand kleinster Bewegungen zwischen Implantat und Knochen eine Prothesenlockerung voraussagen soll. Beide Studien konnten mit dieser Methode bis zwei Jahre postoperativ keine signifikante Differenz zwischen den zwei Gruppen ermitteln[68, 84]. Fraglich ist in wieweit die RSA-Methode

ein klinisches Outcome voraussagen kann. Dies wird auch von den Autoren Ledin et al. kritisch angemerkt[68].

Eine Möglichkeit der Beurteilung der Fixierung besteht in der Messung der Zementeindringtiefe. Eine Tiefe von 3-5 mm unter der tibialen Komponente der Prothese wird als optimal angesehen, um eine lange währende mechanische Fixierung zu gewährleisten[19, 79, 93, 122]. Im Falle einer Lockerung ist meistens die tibiale Komponente betroffen[47].

In der vorliegenden Arbeit wurde somit die Zementeindringtiefe in den postoperativen Röntgenaufnahmen unter dem Tibiaplateau bestimmt, welches dazu in Anlehnung an die Empfehlung von der Knee Society in Zonen unterteilt wurde[27]. Zudem wurden die gemessenen Werte addiert, um die Gesamtzementeindringtiefe beider Untersuchungsgruppen zu vergleichen. Bei der Durchführung des Eingriffs mit Blutsperre konnte eine signifikant tiefere Gesamtzementeindringtiefe von 14,23 mm (9 – 18 mm) gemessen werden ($p = 0,004$). Ursächlich kann die Blutung in das Tibiaplateau genannt werden. Ohne die Anwendung einer Blutsperre konnte eine durchschnittliche Gesamtpenetrationstiefe von 12,83 mm (8 - 19 mm) ermittelt werden. Direkte Vergleichsdaten waren in der Literatur nicht gegeben.

Abschließend ist in Anbetracht der bestehenden und auch in der Literatur beschriebenen Nachteile der Blutsperren-Anwendung eine möglichst kurze Anwendungsdauer anzustreben. Möglich wäre eine Anwendung nur während des Zementvorgangs zu erwägen, um vom Vorteil der besseren Zementeindringtiefe zu profitieren.

4.9 Limitationen der Studie

Bei einer Verallgemeinerung der Ergebnisse dieser Studie bezüglich der Vor- und Nachteile des Einsatzes einer Blutsperre in der Knieendoprothetik ist zu berücksichtigen, dass hier ein wenig vorerkranktes Patientenkollektiv behandelt wurde. Darüber hinaus war bei allen Patienten eine sehr geringe Operationszeit zu messen. Dies könnte unter anderen Gegebenheiten, wie z.B. OP-Dauer und Vorerkrankung, zu einem veränderten Ergebnis hinsichtlich des Blutverlustes führen.

Positiv hervorzuheben ist das prospektiv randomisierte Studiendesign sowie die standardisierte Operationstechnik durch einen Operateur, was eine optimale Vergleichbarkeit der Untersuchungsgruppen gewährleistet.

Ein Kritikpunkt liegt in der Messung der Zementeindringtiefe auf den postoperativen Röntgenbildern. Hierbei können im Falle nicht exakt orthograder Aufnahmen Messungenauigkeiten entstehen, da diese Aufnahmen keine dreidimensionale Projektion darstellen. Zudem wurden Schmerzen und Bewegungsumfang nur in der frühen postoperativen Phase ermittelt. Eine Voraussage über das mittel- und langfristige klinische Outcome und den Langzeiteffekt der Blutsperranwendung ist damit nicht möglich.

5 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: "Tourniquet" nach J. Louis Petit, 1798: Extremität umgebende Binde, welche in einen mechanischen Drehapparat eingespannt ist[57].....	13
Abbildung 2: Diagramm von Gross: Blutverlust (als Anteil des geschätzten Blutvolumens) vs. Hämatokrit (als Anteil des Ausgangshämatokrits), (H_o = initialer Hämatokrit des Patienten, H_f = minimal tolerierbarer Hämatokrit des Patienten, VL / EBV = Blutverlust). Die Berechnung des Blutverlustes mit der „neuen Formel“ nach Gross = (3) ergibt näherungsweise die Ergebnisse der „Formel mit Logarithmus naturalis“ = (2), im Vgl. zur „alten, linearen Formel“ = (1); [37].....	17
Abbildung 3: Consort-Fluss-Diagramm zu den Patientenzahlen und -zuteilungen während der verschiedenen Studienabschnitte.....	20
Abbildung 4: Messpunkte für die Zementeindringtiefe aus den Röntgenaufnahmen im anterior-posterioren (ap) sowie lateralen (lat) Strahlengang.....	26
Abbildung 5: Röntgenaufnahme der tibialen Komponente einer Knieendoprothese im ap Strahlengang mit eingezeichneten Messpunkten zur Bestimmung der Zementeindringtiefe unter der Prothese.....	27
Abbildung 6: Geschlechterverteilung der Untersuchungsgruppe.....	29
Abbildung 7: Verteilung der untersuchten Patienten nach Altersgruppen.....	30
Abbildung 8: Verteilung der Patienten nach Body Mass Index.....	31
Abbildung 9: Verteilung der Patienten nach ASA-Klassifikation.....	32
Abbildung 10: Verteilung der Anzahl der Patienten nach Operationszeit in Minuten.....	33
Abbildung 11: Durchschnittliche Operationszeit in Minuten mit und ohne Blutsperre im Box - Plot – Diagramm.....	34
Abbildung 12: Verteilung der Anzahl der Patienten auf Krankenhausverweildauer in Tagen.....	35

Abbildung 13: Hämatokrit präoperativ mit und ohne Blutsperre.....	36
Abbildung 14: Blutvolumen in der Drainage in ml mit und ohne Blutsperre in Litern	37
Abbildung 15: Berechneter Blutverlust in Litern im Vergleich bei Operation mit und ohne Blutsperre, dabei signifikant geringerer Blutverlust bei Operation ohne Blutsperre	38
Abbildung 16: Schmerz nach VAS-Score in Ruhe bei Operation mit Blutsperre (= m.B.) und ohne Blutsperre (= o.B.). Vergleich präoperativ sowie 1. und 4. postoperativer Tag (prä. = präoperativ, 1. po. = 1. postoperativer Tag, 4. po. = 4. postoperativer Tag)	40
Abbildung 17: Schmerz nach VAS-Score bei Belastung bei Operation mit Blutsperre (= m.B.) und ohne Blutsperre (= o.B.). Vergleich präoperativ mit 4. postoperativem Tag (prä. = präoperativ; 4. po. = 4. postoperativer Tag): bei Operation ohne Blutsperre signifikant geringere Schmerzen am 4. postoperativen Tag	41
Abbildung 18: Bewegungsumfang präoperativ passiv in Grad, Vergleich mit Blutsperre (= m.B.) und ohne Blutsperre (= o.B.) präoperativ (= prä.)	43
Abbildung 19: Bewegungsumfang passiv in Grad Vergleich mit Blutsperre (= m.B.) und ohne Blutsperre(= o.B.) am 2. postoperativen Tag (= 2.po.)	44
Abbildung 20: Bewegungsumfang passiv in Grad präoperativ (= prä.) und am 2.postoperativen Tag (= 2.po.) im Vergleich mit Blutsperre (= m.B.) und ohne Blutsperre (= o.B.)	45
Abbildung 21: Knieumfang in Zentimetern prä- und postoperativ (= prä. bzw. = po.); mit (= m.B.) vs. ohne Blutsperre (= o.B.)	46
Abbildung 22: Knieumfangszunahme gesamt in Zentimetern von prä- zu postoperativ mit vs. ohne Blutsperre	47
Abbildung 23: Durchschnittliche Zementeindringtiefe in mm, in den anterior-posterior- (= ap.) und lateralen (= lat.) Röntgenaufnahmen bei Operation mit Blutsperre (= m.B.)und ohne Blutsperre(= o.B.), sowie durchschnittliche Gesamtzementeindringtiefe (= mittel) in Operation mit und ohne Blutsperre	48

Abbildung 24: Gemittelte (= mittel) Zementeindringtiefe mit und ohne Blutsperre in mm, gemessen aus den anterior-posterior- und lateralen Röntgenaufnahmen bei Operation mit Blutsperre (= m.B.) und ohne Blutsperre (= o.B.).....49

Abbildung 25: Addierte Gesamtzementeindringtiefe in Millimetern gemessen aus den anterior-posterior- und lateralen Röntgenaufnahmen mit und ohne Blutsperre50

6 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der Patienten mittels BMI-Klassifikation aus dem Englischen nach WHO BMI Klassifikation. Global Database on Body Mass Index World Health Organization (WHO), Genf: 2012 [124]	21
Tabelle 2: Einteilung von Patienten nach Gesundheitszustand mittels ASA-Klassifikation, aus dem Englischen nach ASA Physical Status Classification System. American Society of Anesthesiologists (ASA), Washington, DC [5].....	22

7 Literaturverzeichnis

1. Abdel-Salam A, Eyres KS. Effects of tourniquet during total knee arthroplasty. A prospective randomised study. *J Bone Joint Surg* 1995; 77(2): 250-253.
2. Aglietti P, Baldini A, Vena L, et al. Effect of tourniquet use on activation of coagulation in total knee replacement. *Clin Orthop Relat Res* 2000; 371: 169-177.
3. Alcelik I, Pollock RD, Sukeik M, et al. A comparison of outcomes with and without a tourniquet in total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Arthroplasty* 2012; 27(3): 331-340.
4. Alghamdi AA, Albanna MJ, Guru V, et al. Does the use of erythropoietin reduce the risk of exposure to allogeneic blood transfusion in cardiac surgery? A systematic review and meta-analysis. *J Card Surg* 2006; 21(3): 320-326.
5. ASA Physical Status Classification System. American Society of Anesthesiologists (ASA), Washington, DC: (Zugriff am 15.03.2015 von <http://asahq.org/resources/clinical-information/asa-physical-status-classification-system>).
6. Appell H-J, Glöser S, Duarte J, et al. Skeletal muscle damage during tourniquet-induced ischaemia. *Eur J Appl Physiol* 1993; 67(4): 342-347.
7. Authier B. Reactive hyperemia monitored on rat muscle using perfluorocarbons and ¹⁹F NMR. *Magn Reson Med* 1988; 8(1): 80-83.
8. Bannister G, Miles A. The influence of cementing technique and blood on the strength of the bone-cement interface. *Eng Med* 1988; 17(3): 131-133.
9. Barwell NJ, Anderson G, Hassan A, et al. The effects of early tourniquet release during total knee arthroplasty - A prospective randomised double-blind study. *J Bone Joint Surg Br* 1997; 79B(2): 265-268.
10. Bell TH, Berta D, Ralley F, et al. Factors affecting perioperative blood loss and transfusion rates in primary total joint arthroplasty: a prospective analysis of 1642 patients. *Can J Surg* 2009; 52(4): 295.

11. Biscopig J, Bein G. MEDIZIN-Kongressbericht-Kritische Indikationsstellung beim Einsatz von Blutprodukten im klinischen Alltag. Deutsches Arzteblatt-Arztliche Mitteilungen-Ausgabe A 2003; 100(14): 929-931.
12. Bodian CA, Freedman G, Hossain S, et al. The visual analog scale for pain: clinical significance in postoperative patients. Anesthesiology 2001; 95(6): 1356-1361.
13. Bourke DL, Smith TC. Estimating allowable hemodilution. Anesthesiology 1974; 41(6): 609-612.
14. Brecher ME, Rosenfeld M. Mathematical and computer modeling of acute normovolemic hemodilution. Transfusion 1994; 34(2): 176-179.
15. Brecher ME, Monk T, Goodnough LT. A standardized method for calculating blood loss. Transfusion 1997; 37(10): 1070-1074.
16. Qualitätsreport Knie-Totalendoprothesen-Erstimplantation Basisstatistik. Bundesgeschäftsstelle für Qualitätssicherung (BQS),2008 (Zugriff am 15.03.2015 von <http://www.bqs-qualitaetsreport.de/2008/ergebnisse/leistungsbereiche/knietotalerst/basis>).
17. Callaghan JJ, O'Rourke MR, Liu SS. Blood management: issues and options. J Arthroplasty 2005; 20(4 Suppl 2): 51-54.
18. Carson JL, Duff A, Poses RM, et al. Effect of anaemia and cardiovascular disease on surgical mortality and morbidity. Lancet 1996; 348(9034): 1055-1060.
19. Cawley D, Kelly N, McGarry J, et al. Cementing techniques for the tibial component in primary total knee replacement. Bone Joint J 2013; 95(3): 295-300.
20. Chin PL, Foo LSS, Yang KY, et al. Randomized controlled trial comparing the radiologic outcomes of conventional and minimally invasive techniques for total knee arthroplasty. J Arthroplasty 2007; 22(6): 800-806.
21. Clarius M, Hauck C, Seeger JB, et al. Pulsed lavage reduces the incidence of radiolucent lines under the tibial tray of Oxford unicompartmental knee arthroplasty: pulsed lavage versus syringe lavage. Int Orthop 2009; 33(6): 1585-1590.

22. Coll AM, Ameen JR, Mead D. Postoperative pain assessment tools in day surgery: literature review. *J Adv Nurs* 2004; 46(2): 124-133.
23. Din R, Geddes T. Skin protection beneath the tourniquet a prospective randomized trial. *ANZ J Surg* 2004; 74(9): 721-722.
24. Du Bois D, Du Bois EF. Clinical calorimetry: tenth paper a formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *Arch Intern Med* 1916; 17(6_2): 863-871.
25. Esler C, Blakeway C, Fiddian N. The use of closed-suction drain in total knee arthroplasty. A prospective, randomised Study. *J Bone Joint Surg* 2003; 2003(85-B): 215-217.
26. Estrera AS, King RP, Platt MR. Massive pulmonary embolism: a complication of the technique of tourniquet ischemia. *J Trauma* 1982; 22(1): 60-62.
27. Ewald FC. The Knee Society total knee arthroplasty roentgenographic evaluation and scoring system. *Clin Orthop Relat Res* 1989(248): 9-12.
28. Flören M, Reichel H. Implantate. *AE-Manual der Endoprothetik* 2011: 57-71.
29. Fölsch B, Cassens U. Risiken und Nebenwirkungen von Bluttransfusionen. *Orthopade* 2009; 38(9): 828-834.
30. Fopp M, Wernli M. Sicherheit der Bluttransfusion heute. *Schweiz Med Forum* 2006(6): 139-144.
31. Friedl H, Till G, Trentz O, et al. Role of oxygen radicals in tourniquet-related ischemia-reperfusion injury of human patients. *J Mol Med* 1991; 69(21): 1109-1112.
32. Fukuda A, Hasegawa M, Kato K, et al. Effect of tourniquet application on deep vein thrombosis after total knee arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg* 2007; 127(8): 671-675.
33. Goodnough LT. Risks of blood transfusion. *Crit Care Med* 2003; 31(12): 678-686.

34. Graul A, Heiden M, Gräf K, et al. Hämovigilanz in Deutschland, Berichte an das Paul-Ehrlich-Institut über Verdachtsfälle von Transfusionsreaktionen im Beobachtungszeitraum Januar 1995 bis Dezember 2002. *Transfus Med Hemother* 2003; 30(5): 232-238.
35. Greenburg AG. A physiologic basis for red blood cell transfusion decisions. *Am J Surg* 1995; 170(6): 44-48.
36. Greinacher A, Fendrich K, Hoffmann W. Demographic changes: the impact for safe blood supply. *Sci Ser* 2010; 5(n1): 239-243.
37. Gross JB. Estimating allowable Blood-loss-corrected for dilution. *Anesthesiology* 1983; 58(3): 277-280.
38. Gruen TA, Markolf KL, Amstutz HC. Effects of laminations and blood entrapment on the strength of acrylic bone cement. *Clin Orthop Relat Res* 1976; 119: 250-255.
39. Grüner S. Die Entwicklung der unicondylären Schlittenprothese. In: Zichner L (Hrsg) *Geschichte operativer Verfahren an den Bewegungsorganen*. Steinkopff, Darmstadt, 2000: 107-113.
40. Hahn RG. Estimating allowable blood loss with correction for variations in blood volume. *Acta Anaesthesiol Scand* 1989; 33(6): 508-512.
41. Harvey EJ, Leclerc J, Brooks CE, et al. Effect of tourniquet use on blood loss and incidence of deep vein thrombosis in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 1997; 12(3): 291-296.
42. Hay SN, Monk TG, Brecher ME. Intraoperative blood salvage: a mathematical perspective. *Transfusion* 2002; 42(4): 451-455.
43. Hourfar MK, Jork C, Schottstedt V, et al. Experience of German Red Cross blood donor services with nucleic acid testing: results of screening more than 30 million blood donations for human immunodeficiency virus-1, hepatitis C virus, and hepatitis B virus. *Transfusion* 2008; 48(8): 1558-1566.
44. Hube R, Sotereanos NG, Reichel H. Der sog. Midvastus-Zugang zur Implantation von Kniegelenkendoprothesen. *Oper Orthop Traumatol* 2002; 14(3): 253-263.

45. Hube R, Reichel H. Modulare Revisionsysteme in der Knieendoprothetik. *Orthopade* 2003; 32(6): 506-515.
46. Hurle R, Poma R, Maffezzini M, et al. A simple mathematical approach to calculate blood loss in radical prostatectomy. *Urol Int* 2004; 72(2): 135-139.
47. Insall J, Scott WN, Ranawat CS. The total condylar knee prosthesis. A report of two hundred and twenty cases. *J Bone Joint Surg* 1979; 61(2): 173-180.
48. Ishii Y, Matsuda Y. Effect of the timing of tourniquet release on perioperative blood loss associated with cementless total knee arthroplasty: a prospective randomized study. *J Arthroplasty* 2005; 20(8): 977-983.
49. Jarolem KL, Scott DF, Jaffe WL, et al. A comparison of blood loss and transfusion requirements in total knee arthroplasty with and without arterial tourniquet. *Am J Orthop* 1995; 24(12): 906-909.
50. Jerosch J, Fuchs S, Heisel J. Knieendoprothetik-eine Standortbestimmung. *Dtsch Arztebl Int--Arztliche Mitteilungen-Ausgabe A* 1997; 94(8): 449-455.
51. Jorn LP, Lindstrand A, Toksvig-Larsen S. Tourniquet release for hemostasis increases bleeding: a randomized study of 77 knee replacements. *Acta Orthop* 1999; 70(3): 265-267.
52. Kato N, Nakanishi K, Yoshino S, et al. Abnormal echogenic findings detected by transesophageal echocardiography and cardiorespiratory impairment during total knee arthroplasty with tourniquet. *Anesthesiology* 2002; 97(5): 1123-1128.
53. Kiefel V. *Transfusionsmedizin und Immunhämatologie: Grundlagen-Therapie-Methodik*. Berlin Heidelberg New York: Springer Verlag 2010: 1- 617.
54. Klenerman L, Chakrabarti R, Mackie I, et al. Changes in haemostatic system after application of a tourniquet. *Lancet* 1977; 309(8019): 970-972.
55. Klenerman L. The tourniquet in operations on the knee: a review. *J R Soc Med* 1982; 75(1): 31-32.
56. Klenerman L. Is a tourniquet really necessary for knee replacement? *J Bone Joint Surg Br* 1995; 77(2): 174-175.

57. Klenerman L. The tourniquet manual: principles and practice. London: Springer Verlag 2003: 3-11.
58. Knight JL, Sherer D, Guo J. Blood transfusion strategies for total knee arthroplasty: Minimizing autologous blood wastage, risk of homologous blood transfusion, and transfusion cost. *J Arthroplasty* 1998; 13(1): 70-76.
59. Kohn D, Rupp S. Alloarthroplastik des Kniegelenkes. *Orthopade* 1999; 28(11): 975-995.
60. Kohn D. Knie. In: Wirth C-J, Kohn D, Zichner L (Hrsg) *Orthopädie und orthopädische Chirurgie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2005: 28-30.
61. Kopec M, Milbrandt JC, Duellman T, et al. Effect of hand packing versus cement gun pressurization on cement mantle in total knee arthroplasty. *Can J Surg* 2009; 52(6): 490.
62. Korthuis RJ, Smith JK, Carden DL. Hypoxic reperfusion attenuates postischemic microvascular injury. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 1989; 256(1): H315-H319.
63. Krause WR, Krug W, Miller J. Strength of the cement-bone interface. *Clin Orthop Relat Res* 1982; 163: 290-299.
64. Krishna Reddi Boddu Siva R, Sunil A, Sharmila P, et al. Timing of Tourniquet Release in Knee Arthroplasty Meta-Analysis of Randomized, Controlled Trials. *J Bone Joint Surg* 2007; 89(4): 699-705.
65. Kvederas G, Porvaneckas N, Andrijauskas A, et al. A randomized double-blind clinical trial of tourniquet application strategies for total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2012: 1-10.
66. Larsson J, Lewis D, Liljedahl S-O, et al. Early biochemical and hemodynamic changes after operation in a bloodless field. *Eur Surg Res* 1977; 9(5): 311-320.
67. Leclerc JR, Geerts WH, Desjardins L, et al. Prevention of venous thromboembolism after knee arthroplasty. *Ann Intern Med* 1996; 124(7): 619-626.

68. Ledin H, Aspenberg P, Good L. Tourniquet use in total knee replacement does not improve fixation, but appears to reduce final range of motion: A randomized RSA study involving 50 patients. *Acta Orthop* 2012; 83(5): 499-503.
69. Lee YH, Wei FC, Lee J, et al. Effect of postischemic reperfusion on microcirculation and lipid metabolism of skeletal muscle. *Microsurgery* 1995; 16(8): 522-527.
70. Lemos MJ, Healy WL. Current Concepts Review-Blood Transfusion in Orthopaedic Operations*. *J Bone Joint Surg* 1996; 78(8): 1260-1271.
71. Levy AS, Marmar E. The role of cold compression dressings in the postoperative treatment of total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 1993; 297: 174-178.
72. Li B, Wen Y, Wu H, et al. The effect of tourniquet use on hidden blood loss in total knee arthroplasty. *Int Orthop* 2009; 33(5): 1263-1268.
73. Lorentz A, Gasteiger P, Osswald PM. [Calculation of the allowable blood loss before transfusion with a programmable pocket calculator]. *Anaesthesist* 1987; 36(6): 306-312.
74. Lotke PA, Faralli VJ, Orenstein EM, et al. Blood loss after total knee replacement. Effects of tourniquet release and continuous passive motion. *J Bone Joint Surg* 1991; 73(7): 1037-1040.
75. Madjdpour C, Marcucci C, Tissot JD, et al. Perioperative Bluttransfusion. *Anesthesist* 2005; 54(1): 67-82.
76. Maistrelli GL, Antonelli L, Fornasier V, et al. Cement Penetration with pulsed lavage versus syringe irrigation in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 1995(312): 261-265.
77. Majkowski R, Bannister G, Miles A. The effect of bleeding on the cement-bone interface: an experimental study. *Clinical orthopaedics and related research* 1994; 299: 293-297.
78. Manén BF, Novellas CM, Anglès CF, et al. [Effect of ischemic tourniquet pressure on the intensity of postoperative pain]. *Rev Esp Anestesiol Reanim* 2002; 49(3): 131-135.

79. Mann K, Ayers D, Werner F, et al. Tensile strength of the cement-bone interface depends on the amount of bone interdigitated with PMMA cement. *J Biomech* 1997; 30(4): 339-346.
80. Matziolis D, Perka C, Hube R, et al. [Influence of tourniquet ischemia on perioperative blood loss after total knee arthroplasty]. *Orthopade* 2011; 40(2): 178-182.
81. McGrath BJ, Hsia J, Epstein B. Massive pulmonary embolism following tourniquet deflation. *Anesthesiology* 1991; 74(3): 618-620.
82. Mengal B, Aebi J, Rodriguez A, et al. [A prospective randomized study of wound drainage versus non-drainage in primary total hip or knee arthroplasty]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2001; 87(1): 29-39.
83. Mettelsiefen J, Kirschner S, Lützner J, et al. Knie. In: Wirtz C (Hrsg) *AE-Manual der Endoprothetik*. Springer, Heidelberg, Dordrecht, London, New York, 2011: 47-55.
84. Molt M, Harsten A, Toksvig-Larsen S. The effect of tourniquet use on fixation quality in cemented total knee arthroplasty a prospective randomized clinical controlled RSA trial. *Knee* 2014; 21(2): 396-401.
85. Moonen AF, Neal TD, Pilot P. Peri-operative blood management in elective orthopaedic surgery. A critical review of the literature. *Injury* 2006; 37 Suppl 5: 11-16.
86. Munin MC, Kwok CK, Glynn N, et al. Predicting discharge outcome after elective hip and knee arthroplasty. *Am J Phys Med Rehabil* 1995; 74(4): 294-301.
87. Murphy C, Winter D, Bouchier-Hayes D. Tourniquet injuries: pathogenesis and modalities for attenuation. *Acta Orthop Belg* 2005; 71(6): 635.
88. Mylod A, France M, Muser D, et al. Perioperative blood loss associated with total knee arthroplasty. A comparison of procedures performed with and without clemeting. *J Bone Joint Surg Am* 1990; 72(7): 1010-1012.
89. Nadler S, Hidalgo J, Bloch T. Prediction of blood volume in normal human adults. *Surgery* 1962; 51: 224-232.

90. Nakahara M, Sakahashi H. Effect of application of a tourniquet on bleeding factors in dogs. *J Bone Joint Surg* 1967; 49(7): 1345-1351.
91. Nelson CL, Fontenot HJ, Flahiff C, et al. An algorithm to optimize perioperative blood management in surgery. *Clin Orthop Relat Res* 1998(357): 36-42.
92. Nishiguchi M, Takamura N, Abe Y, et al. Pilot study on the use of tourniquet: a risk factor for pulmonary thromboembolism after total knee arthroplasty? *Thromb Res* 2005; 115(4): 271-276.
93. Norton MR, Eyres KS. Irrigation and suction technique to ensure reliable cement penetration for total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2000; 15(4): 468-474.
94. Pattison E, Protheroe K, Pringle R, et al. Reduction in haemoglobin after knee joint surgery. *Ann Rheum Dis* 1973; 32(6): 582.
95. Pearson T, Guthrie D, Simpson J, et al. Interpretation of measured red cell mass and plasma volume in adults: Expert Panel on Radionuclides of the International Council for Standardization in Haematology. *Br J Haematol* 1995; 89(4): 748-756.
96. Prasad N, Padmanabhan V, Mullaji A. Blood loss in total knee arthroplasty: an analysis of risk factors. *Int Orthop* 2007; 31(1): 39-44.
97. Rama KRBS, Apsingi S, Poovali S, et al. Timing of Tourniquet Release in Knee Arthroplasty Meta-Analysis of Randomized, Controlled Trials. *J Bone Joint Surg* 2007; 89(4): 699-705.
98. Ranawat CS, Flynn Jr WF, Deshmukh RG. Impact of modern technique on long-term results of total condylar knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 1994(309): 131-135.
99. Ritter MA, Herbst SA, Keating EM, et al. Radiolucency at the bone-cement interface in total knee replacement. The effects of bone-surface preparation and cement technique. *J Bone Joint Surg* 1994; 76(1): 60-65.
100. Rosencher N, Kerckamp HEM, Macheras G, et al. Orthopedic Surgery Transfusion Hemoglobin European Overview (OSTHEO) study: blood management in elective knee and hip arthroplasty in Europe. *Transfusion* 2003; 43(4): 459-469.

101. Rütt A. Geschichte der Orthopädie im deutschen Sprachraum. Stuttgart: Enke Verlag 1993: 1-112.
102. Ryu J, Saito S, Yamamoto K, et al. Factors influencing the postoperative range of motion in total knee arthroplasty. Bulletin (Hospital for Joint Diseases (New York, NY) 1993; 53(3): 35-40.
103. Sarkar M, Kinzl L. Blutleere und Blutsperre. Oper Orthop Traumatol 1999; 11(3): 243-251.
104. Saunders KC, Louis DL, Weingarden SI, et al. Effect of tourniquet time on postoperative quadriceps function. Clin Orthop Relat Res 1979; 143: 194-199.
105. Scuderi GR, Insall JN, Windsor RE, et al. Survivorship of cemented knee replacements. J Bone Joint Surg Br 1989; 71(5): 798-803.
106. Sehat K, Evans R, Newman J. How much blood is really lost in total knee arthroplasty?: Correct blood loss management should take hidden loss into account. Knee 2000; 7(3): 151-155.
107. Annual Report 2010. Serious Hazards of Transfusion (SHOT), Manchester: 2010 (Zugriff am 13.03.2015 von <http://www.shotuk.org/shot-reports/report-and-summary-2010-2/>).
108. Shenton DW, Spitzer SA, Mulrennan B. Tourniquet-induced rhabdomyolysis. A case report. J Bone Joint Surg 1990; 72(9): 1405-1406.
109. Silver R, De La Garza J, Rang M, et al. Limb swelling after release of a tourniquet. Clin Orthop Relat Res 1986; 206: 86-89.
110. Smith TO, Hing CB. Is a tourniquet beneficial in total knee replacement surgery? A meta-analysis and systematic review. Knee 2010; 17(2): 141-147.
111. Spence RK. Anemia in the patient undergoing surgery and the transfusion decision - A review. Clin Orthop Relat Res 1998(357): 19-29.
112. Spöhr F, Böttiger BW. Fremdblut sparende Maßnahmen. Aneesthesist 2002; 51(3): 221-236.

113. Stehling L, Simon TL. The red-blood-cell transfusion trigger - physiology and clinical-studies. *Arch Pathol Lab Med* 1994; 118(4): 429-434.
114. Tai TW, Lin CJ, Jou IM, et al. Tourniquet use in total knee arthroplasty: a meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011: 1-10.
115. Tetro AM, Rudan JF. The effects of a pneumatic tourniquet on blood loss in total knee arthroplasty. *Can J Surg* 2001; 44(1): 33-38.
116. Thomas E. Deep vein thrombosis after elective knee surgery. *J Bone Joint Surg* 1989; 1989(71-B): 492-497.
117. Toy P, Popovsky MA, Abraham E, et al. Transfusion-related acute lung injury: definition and review. *Crit Care Med* 2005; 33(4): 721-724.
118. Tria Jr AJ. Advancements in minimally invasive total knee arthroplasty. *Orthopedics* 2003; 26(8 Suppl): s859-863.
119. Vamvakas EC, Carven JH. Allogeneic blood transfusion, hospital charges, and length of hospitalization: a study of 487 consecutive patients undergoing colorectal cancer resection. *Arch Pathol Lab Med* 1998; 122(2): 145-551.
120. Vandebussche E, Duranthon LD, Couturier M, et al. The effect of tourniquet use in total knee arthroplasty. *Int Orthop* 2002; 26(5): 306-309.
121. Wakankar H, Nicholl J, Koka R, et al. The tourniquet in total knee arthroplasty: A prospective, randomised study. *J Bone Joint Surg Br* 1999; 81(1): 30-33.
122. Walker P, Soudry M, Ewald F, et al. Control of cement penetration in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 1984; 185: 155-164.
123. Wessinghage D. Technik des Kniegelenkersatzes im 19. Jahrhundert. In: Zichner L (Hrsg) *Geschichte operativer Verfahren an den Bewegungsorganen*. Steinkopff, Darmstadt, 2000: 75-84.
124. BMI classification. Global Database on Body Mass Index World Health Organization (WHO), Genf: 2012 (Zugriff am 24.01.2012 von http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro_3.html).

125. Worland RL, Arredondo J, Angles F, et al. Thigh pain following tourniquet application in simultaneous bilateral total knee replacement arthroplasty. *J Arthroplasty* 1997; 12(8): 848-852.
126. Zhang F-J, Xiao Y, Liu Y-b, et al. Clinical effects of applying a tourniquet in total knee arthroplasty on blood loss. *Chin Med J (Engl)* 2010; 123(21): 3030-3033.

Selbstständigkeitserklärung

„Ich, Ninja Voerkelius, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: *Einfluss der Blutsperre auf den Blutverlust nach Knieendoprothesen* selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.“

Datum

Unterschrift

Curriculum vitae

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Danksagung

Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Georg Matziolis danke ich für die Überlassung des Themas, er machte somit die Erstellung dieser Arbeit möglich.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Robert Hube für seine konsequente und stets engagierte Betreuung sowie den kompetenten Rat bei fachlichen und organisatorischen Fragen. Ebenso gilt mein Dank seinem Team für die Unterstützung bei der Datenerhebung.

Weiterhin möchte ich Herrn Dr. med. Philipp von Roth für die Hilfe bei der statistischen Auswertung danken und allen Personen, die durch ihre Mitarbeit am Zustandekommen dieser Arbeit beteiligt waren.

Zuletzt möchte ich meiner Familie für die vielseitige Unterstützung während des Studiums und der Erstellung der Dissertation meinen herzlichen Dank aussprechen.