

**Die perioperative Änderung des berechneten Erythrozytenvolumens
in Abhängigkeit von patientenindividuellen
Prädiktoren bei endoprothetischem Hüftgelenksersatz**

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

vorgelegt von
Simon Schwarzach
aus Tübingen

Gießen
2024

Aus dem Fachbereich Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen
Klinik für Anästhesiologie, operative Intensivmedizin und Schmerztherapie

Gutachter: Prof. Dr. med. Michael Henrich D.Phil.

Gutachter: Prof. Dr. med. Ulrich Sachs

Tag der Disputation: 06.11.2025

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Die Implantation einer Hüftendoprothese bei Coxarthrose	1
1.2	Die Anämie – Definition und Entstehung	2
1.3	Die Transfusion von Erythrozytenkonzentraten	4
1.4	Das Patient-Blood-Management	6
1.5	Das zirkulierende Erythrozytenvolumen	7
1.6	Fragestellung	9
2	Material und Methoden	10
2.1	Erhebung der Daten	10
2.1.1	Stammdaten, Risikoklassifikation	10
2.1.2	Präoperative und postoperative Laborwerte	12
2.1.3	Intraoperative Faktoren	12
2.2	Berechnung des präoperativen Blutvolumens	13
2.3	Das prä- und postoperative Erythrozytenvolumen	13
2.4	Bestimmung des perioperativ verlorenen Erythrozytenvolumens	13
2.5	Der Einfluss von prä- und intraoperativen Faktoren auf den perioperativen Blutverlust	14
2.6	Statistische Auswertung	15
3	Ergebnisse	17
3.1	Allgemein deskriptiv und Varianzanalyse	17
3.1.1	Das berechnete Blutvolumen	17
3.1.2	Das berechnete prä-, postoperative und verlorene Erythrozytenvolumen	17
3.1.3	Das verlorene Erythrozytenvolumen im Geschlechtervergleich	19
3.1.4	Das verlorene Erythrozytenvolumen in den verschiedenen Altersgruppen	20
3.1.5	Das verlorene Erythrozytenvolumen innerhalb der Body-Mass-Index-Klassen	21
3.1.6	Den ASA-Klassen zugeordneter Verlust des Erythrozytenvolumens	22
3.1.7	Zuordnung von Anästhesieverfahren und verlorenem Erythrozytenvolumen	23
3.1.8	Die Veränderung des Erythrozytenvolumens hinsichtlich der Operationsdauer	25
3.1.9	Die präoperative Thrombozytenkonzentration und das verlorene Erythrozytenvolumen	26

3.1.10	Der präoperative Hämoglobingehalt und das verlorene Erythrozytenvolumen	27
3.1.11	Die Blutgruppe nach ABO-System und das verlorene Erythrozytenvolumen	31
3.1.12	Der Zusammenhang von geschätztem intraoperativem Blutverlust und verlorenem Erythrozytenvolumen	32
3.2	Zusammenfassung der erhobenen Daten.....	37
4	Diskussion	38
4.1	Überblick	38
4.2	Diskussion der Methode und ihrer Limitationen	38
4.3	Diskussion der Ergebnisse	40
4.3.1	Zusammenhang zwischen Geschlecht und Blutverlust	40
4.3.2	Der Body-Mass-Index und seine Auswirkungen auf den Blutverlust.....	41
4.3.3	Die Rolle des Alters und der ASA-Klassifikation beim perioperativen Blutverlust	42
4.3.4	Einfluss der ABO-Blutgruppen auf den perioperativen BV	44
4.3.5	Einfluss des präoperativen Thrombozytenkonzentrationswertes auf den Blutverlust	45
4.3.6	Der präoperative Hb-Wert und das präoperative Erythrozytenvolumen	46
4.3.7	Das verwendete Anästhesieverfahren und seine Auswirkung auf den Blutverlust.....	48
4.3.8	Die Auswirkung der Operationsdauer auf den Blutverlust	49
4.3.9	Stellenwert der intraoperativen Schätzung des Blutverlustes?	50
4.4	Klinische Schlussfolgerungen.....	51
5	Zusammenfassung.....	52
6	Summary.....	53
	Abkürzungsverzeichnis	54
	Abbildungsverzeichnis	55
	Tabellenverzeichnis	56
	Literaturverzeichnis	57
	Anhang.....	65
	Ehrenwörtliche Erklärung.....	66
	Danksagung.....	67
	Tabellarischer Lebenslauf	68

1 Einleitung

Bei der elektiven Hüftprothesen-Erstimplantation kommt es regelhaft zu klinisch relevanten Blutverlusten (BV) mit einem erhöhten Anämie- und Transfusionsrisiko. Dieses Risiko ist bei Patientinnen und Patienten in der Endoprothetik auf Grund ihres Lebensalters und ihrer Vorerkrankungen zusätzlich erhöht. Die Etablierung des Patient-Blood-Managements (PBM) hat das Ziel, diese Patientinnen und Patienten optimal auf die OP vorzubereiten, eine Minimierung des BV zu bewirken und zu einem rationalen Einsatz von Blutprodukten zu führen.

Gerade diesem rationalen Einsatz steht häufig die klinische Praxis entgegen, indem bei OPs mit möglichem relevantem BV generell Erythrozytenkonzentrate bereitgestellt werden. Allein diese Bereitstellungspraxis hat einen erheblichen Anteil an den gesamten Transfusionskosten und bindet zusätzlich Laborkapazitäten. Weiterhin werden diese Blutprodukte häufig nicht benötigt und verworfen bzw. rückgeführt.

Damit hier eine bessere Planung ermöglicht wird, sollte gemäß der Forderung im PBM ein individualisiertes Transfusionsregime verwendet werden. Um dies bereits präoperativ planen zu können, ist es von Bedeutung, den zu erwartenden BV anhand individueller Faktoren abschätzen zu können. So kann bei entsprechendem Risiko für einen erhöhten BV und ein möglicherweise erhöhtes Transfusionsrisiko präoperativ die Bereitstellung von Blutprodukten erfolgen, während dies bei fehlendem oder geringerem Risiko nicht, oder in einem geringeren Umfang, notwendig ist.

1.1 Die Implantation einer Hüftendoprothese bei Coxarthrose

Die Implantation einer Hüftendoprothese ist in Deutschland einer der am häufigsten durchgeführten operativen Eingriffe. Im Jahr 2019 wurden 243 477 Hüftgelenkserstimplantationen durchgeführt, wobei der größte Anteil auf die Gruppe der 75- bis 80-Jährigen entfiel. 61 % der Patientinnen und Patienten waren weiblich [29]. Die häufigste Indikation für diesen operativen Eingriff ist der Gelenkverschleiß durch arthrotische Veränderungen, die sogenannte Coxarthrose. In Anbetracht des demografischen Wandels werden diese OP-Zahlen voraussichtlich weiter zunehmen, auch durch die im Alter steigende Prävalenz für Übergewicht und/oder Adipositas [86].

Zumeist erfolgt die Implantation einer Totalhüftendoprothese, hierfür existiert eine Vielzahl von Prothesentypen und Materialien. Die Auswahl erfolgt patientenindividuell unter Berücksichtigung des Alters, der anatomischen und physischen Konstitution sowie des

Anspruchs an Mobilität und Belastbarkeit. Die Haltbarkeit einer Totalhüftendoprothese liegt bei 15 bis 20 Jahren.

Ziele der OP sind das Erreichen von Beschwerdefreiheit sowie der Wiederherstellung von Mobilität und Belastbarkeit.

In der Regel benötigen die Patientinnen und Patienten einen Klinikaufenthalt von fünf bis sieben Tage mit darauffolgender Anschlussheilbehandlung in Form einer ambulanten oder stationären Reha.

Beim prothetischen Hüftgelenksersatz erfolgt meist über einen lateralen Zugang auf Höhe des Trochanter major der Zugang zum Hüftgelenk. Die Gelenkkapsel wird eröffnet und der Schenkelhals osteotomiert. Nach Entfernung des Hüftkopfs (Caput femoris) erfolgt das Aufraspeln der Hüftpfanne, diese wird anschließend durch eine künstliche Pfanne ersetzt. Des Weiteren wird der Femurschaft schrittweise aufgeraspelt und nach Jet-Lavagierung des Markraums der Prothesenschaft eingebracht. Der Kopf wird auf den implantierten Prothesenschaft aufgesteckt und die Prothese reponiert. Anschließend erfolgt der schrittweise Wundverschluss. Die Prothese wird zementiert oder zementfrei implantiert. Der erhöhte BV ergibt sich durch die Weichteilverletzungen beim lateralen, transglutealen Zugang im Bereich der M. vastus lateralis und des M. gluteus medius sowie durch schwierig zu stillende Blutungen aus dem Femurschaft und selten auch durch Verletzungen größerer Gefäße.

In der klinischen Routine erfolgen die Erfassung und Abschätzung des BV zumeist über die intraoperative Schätzung unter Berücksichtigung von Saugervolumina und visuellem BV, im weiteren Verlauf über Drainageverluste sowie postoperative Laborkontrollen.

Der im klinischen Alltag regelhaft erhöhte BV bei der Hüftgelenksimplantation stellt für die Patientinnen und Patienten aus mehreren Gründen ein Risiko dar. Zum einen besteht das Risiko für das Auftreten oder die Aggravierung einer bestehenden Anämie, zum anderen erhöht sich das Risiko der Notwendigkeit einer Bluttransfusion.

1.2 Die Anämie – Definition und Entstehung

Eine Anämie entsteht durch die Abnahme des absoluten Erythrozytenvolumens (EZV) und als Folge daraus resultieren eine zu geringe Sauerstofftransportkapazität und eine Verschlechterung der Gewebeoxygenierung.

Ätiopathogenetisch lassen sich drei Formen einer Anämie unterscheiden:

- Eine Anämie auf Basis einer Bildungsstörung, häufig bedingt durch eine Mangelerkrankung wie Eisenmangelanämie oder Vitamin-B12-Mangelanämie. Eine weitere Ursache ist die gestörte Erythropoetinsynthese bei der renalen Anämie.
- Eine hämolytische Anämie durch einen gesteigerten Erythrozytenabbau.
- Eine Blutungsanämie bedingt durch einen erhöhten Erythrozytenverlust.

Nach der WHO-Definition liegt eine Anämie bei einem Hämoglobin-Wert (Hb-Wert) < 12 g/dl bei Frauen und < 13 g/dl bei Männern vor [100]. Postoperativ können gesunde Patientinnen Patienten ohne relevante Vorerkrankungen kurzzeitig auch deutlich niedrigere Werte tolerieren (6–8 g/dl). Bei Patientinnen und Patienten mit kardiopulmonalen Vorerkrankungen scheint eine Anämie mit einer erhöhten Morbidität und Mortalität einherzugehen [53, 81, 93]. Hierbei existieren jedoch bisher keine klaren Grenzwerte und diese sind regelhafte Bestandteile wissenschaftlicher Diskussionen.

So zeigten sich für die Behandlung einer Anämie mit einem liberalen Transfusionsregime keine eindeutigen Vorteile gegenüber einem restriktiveren Transfusionsregime [15, 21, 22, 49, 91]. Die Anämietoleranz sollte patientenindividuell betrachtet und bei fehlenden Hinweisen auf eine anämische Hypoxie möglichst ausgeschöpft werden [17].

Folgende klinische Symptome können bei normovolämen Patientinnen und Patienten mit laborchemisch gesicherter Anämie auf eine anämische Hypoxie hinweisen (physiologische Transfusionstrigger) [17]:

1. Kardio-pulmonale Symptome
 - Tachykardie
 - Hypotension
 - Dyspnoe
 - Blutdruckabfall unklarer Genese
2. Ischämietypische EKG-Veränderungen
 - Neu auftretende ST-Strecken-Senkungen oder -Hebungen
 - Neu auftretende Herzrhythmusstörungen
3. Neu auftretende regionale myokardiale Kontraktionsstörungen im Echokardiogramm

4. Globale Indices einer unzureichenden Sauerstoffversorgung

- Abfall der gemischtvenösen O₂-Sättigung (SvO₂) < 50 %
- Abfall der zentralvenösen O₂-Sättigung (ScvO₂) < 65–70 %
- Laktatazidose (Laktat > 2 mmol/l + Azidose)

In der Endoprothetik großer Gelenke liegt häufig bereits präoperativ eine Anämie vor. So beschreiben Meybohm et al. in einer großen Datenerhebung an 10 017 Patientinnen und Patienten bei jeder fünften Person mit geplanter OP für das Einsetzen einer Hüftgelenksendoprothese das Vorliegen einer präoperativen Anämie [65]. Tettamanti et al. konnten in einer Untersuchung von 8744 Patientinnen und Patienten bei 16 % eine Eisenmangelanämie und bei 10 % einen Vitamin-B12-Mangel als Ursache identifizieren [94].

Eine mögliche Behandlung einer präoperativen Anämie, gerade bei elektiven OPs, wird weitergehend im Abschnitt PBM erläutert.

Die Behandlung einer Anämie mittels allogener Bluttransfusion sollte auf Grund von Ressourcenknappheit und möglichen Nebenwirkungen stets die letzte Option in der Anämitherapie sein und wird gesondert im nächsten Abschnitt betrachtet.

1.3 Die Transfusion von Erythrozytenkonzentraten

Die Transfusion von Erythrozytenkonzentraten zur Vermeidung und Behandlung einer anämischen Hypoxie hat in der modernen Medizin einen hohen Stellenwert und ist bei adäquater Indikation eine wichtige Maßnahme. Zur Unterstützung bei der Entscheidungsfindung wurden in der Querschnittsleitlinie der Bundesärztekammer [17] die in der folgenden Tabelle dargestellten Empfehlungen formuliert. Die Empfehlungen beziehen sich auf normovolämische Patientinnen und Patienten mit akuter Anämie in stationärer Behandlung.

Tabelle 1: Empfehlung zur Transfusion von Erythrozytenkonzentraten bei akuter Anämie (Querschnitts-Leitlinie zur Therapie mit Blutkomponenten und Plasmaderivaten Gesamtnovelle 2020 BÄK)

Hb-Wert	Kompensationsfähigkeit/Risikofaktoren	Transfusion
< 7 g/dl	-	ja*
≥ 7 und < 8 g/dl	Kompensation adäquat, keine Risikofaktoren	nein
	Kompensation eingeschränkt oder Risikofaktoren vorhanden	ja**
	Hinweise auf anämische Hypoxie (physiologische Transfusionstrigger)	ja*
≥ 8 und < 10 g/dl	Hinweise auf anämische Hypoxie (physiologische Transfusionstrigger)	ja*
≥ 10 g/dl		nein***

* bei adäquater Kompensation können individuell niedrigere Hb-Werte toleriert werden

** insbesondere bei älteren orthopädisch-unfallchirurgischen Patientinnen und Patienten und schwerwiegenden kardiovaskulären Erkrankungen

***Transfusion in begründeten Einzelfällen möglich

Hauptanwendungsgebiete der Bluttransfusion sind neben der Behandlung von massivem BV nach Unfällen die operative Medizin sowie hämatologisch-onkologische Bereiche. Die Endoprothetik des Hüftgelenks hat unter den elektiven OPs mit das höchste Transfusionsrisiko [97], auch Patientinnen und Patienten mit präoperativ normalen Hb-Werten benötigen hier häufiger eine Transfusion [12].

Es herrscht gegenwärtig ein hoher Stand bezüglich Verträglichkeit und Infektionssicherheit. Dennoch ist die Gabe von autologen Erythrozytenkonzentraten weiterhin mit zahlreichen Risiken und Nebenwirkungen verbunden [27].

So kann es unter anderem zu transfusionsassoziierten Volumenüberladungen, allergischen und hämolytischen Transfusionsreaktionen sowie transfusionsassoziierten Lungen- und Niereninsuffizienzen kommen. Weiterhin scheint es einen Zusammenhang zwischen der Menge an Bluttransfusionen und einer erhöhten Morbidität zu geben [32]. Whitlock et al. konnten bereits nach einer perioperativen Transfusion ein erhöhtes Risiko für kardio- und cerebrovaskuläre Ereignisse sowie einen längeren Krankenhausaufenthalt nachweisen [99]. Das erhöhte Risiko von Tumorrezidiven nach Bluttransfusionen erscheint ebenso möglich und ist Gegenstand wissenschaftlicher Arbeiten [1, 51].

Im Bericht nach § 21 Transfusionsgesetz des Paul-Ehrlich-Instituts wurden im Jahr 2019 in Deutschland 3,6 Millionen Erythrozytenkonzentrate hergestellt. Bei weiter steigendem Bedarf und auch im Hinblick auf die demografische Entwicklung sind Versorgungsgengpässe möglich. In der wachsenden Gruppe älterer Patientinnen und Patienten werden vermehrt Eingriffe durchgeführt, die eine Transfusion erfordern. In der Altersgruppe der über 60-Jährigen werden häufiger Erythrozytentransfusionen verabreicht, mit dem höchsten Risiko ab dem 80. Lebensjahr [97]. Ein Grund hierfür ist sicherlich, dass in dieser Gruppe von Patientinnen und Patienten eine Anämie vermehrt bereits präoperativ vorliegt [65].

Schlegel et al. unterstreichen neben der demografischen Entwicklung auch steigende Kosten für Blutprodukte, dies sind neben den reinen Beschaffungskosten auch Kosten für Personal und Labormaterialien. So haben die Kosten für Testung und Bereitstellung von Blutprodukten einen Anteil von bis zu 20 % an den gesamten Transfusionskosten [87, 89]. Vor diesem Hintergrund ist das generelle Bereitstellen von Erythrozytenkonzentraten bei bestimmten OPs zu hinterfragen, vielmehr sollte ein Transfusionsregime, wie im PBM gefordert, patientenindividuell festgelegt werden.

1.4 Das Patient-Blood-Management

Das PBM ist ein interdisziplinäres Behandlungskonzept, dem die Zielsetzung zu Grunde liegt, insbesondere bei elektiven OPs mit zu erwartendem hohem BV oder mit einem erhöhten Transfusionsrisiko eine Reduktion der Transfusionsrate zu erreichen und so die Patientensicherheit zu erhöhen sowie zu einer Reduktion von Mortalität und Morbidität zu führen [41]. Dass dies gelingt, zeigt sich in einer Metaanalyse unter Einbezug von 235 779 Patientinnen und Patienten von Althoff et al. aus dem Jahr 2019 [6].

Auch in Deutschland beginnt sich das Behandlungskonzept zunehmend zu etablieren [73] und wird in aktuellen Leit- und Richtlinien vermehrt erwähnt [17, 18]. Das Konzept des PBM wird aktuell durch drei Säulen definiert [40, 87]:

1. Optimierung des EZV

- Diagnose der Anämie
- Identifizierung und Behandlung der Grunderkrankung
- Identifizierung und Behandlung von Mangelzuständen (z. B. Eisen, Vitamin B12)
- Zeitliche Planung des Eingriffs

2. Hämostase- und Gerinnungsmanagement zur Minimierung von operativer Blutung und BV
 - Sorgfältige chirurgische Blutstillung
 - Minimalinvasive OP-Techniken
 - Fremdblutsparende Maßnahmen (z. B. maschinelle Autotransfusion)
 - Erhaltung/Wiederherstellung von Normothermie
 - Vermeidung/Ausgleich einer Azidose
 - Einsatz hämostasewirksamer Medikamente (z. B. Tranexamsäure)
3. Maßnahmen zur Erhöhung und Ausschöpfung der Anämietoleranz
 - Erarbeitung und Beachtung eines individualisierten Transfusionsregimes
 - Rationaler Einsatz von Erythrozytenkonzentraten
 - Kreislauftherapie (Flüssigkeits-, Volumen- und Katecholamintherapie)
 - Sauerstoffgabe
 - Reduktion des Sauerstoffverbrauchs (Analgesie, Normothermie usw.)

Das Konzept des PBM unterstreicht, dass für einen rationalen Einsatz von Erythrozytenkonzentraten bereits präoperativ ein patientenindividuelles Transfusionsregime geplant werden soll. Dies erfolgt unter Beachtung des präoperativen EZV, des zu erwartenden perioperativen BV und der individuellen Anämietoleranz.

1.5 Das zirkulierende Erythrozytenvolumen

Das EZV stellt das Gesamtvolumen der im Blut zirkulierenden Erythrozyten dar. Die Erythrozyten sind die häufigsten Zellen im Blut. Sie bestehen zu einem Großteil aus dem Protein Hb und ihre Hauptaufgabe ist der Atemgastransport von Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid.

Die laborchemische Bestimmung des EZV ist aufwendig und erfolgt über die intravenöse Injektion von radioaktiven autogenen Erythrozyten, so dass im klinischen Alltag in der Regel die Konzentration des Hb gemessen wird.

Die Berechnung des zirkulierenden EZV ist klinisch wenig etabliert, kann aber nach der Formel von Mercuriali [64] aus dem patientenspezifischen Blutvolumen und dem gemessenen Hämatokrit-Wert (Hkt-Wert) relativ einfach berechnet werden.

Es besteht zwar ein direkter Zusammenhang von EZV und Hb-Wert, jedoch ist das EZV als Mengenangabe gegenüber dem Hb-Wert als Konzentrationsangabe deutlich aussagekräftiger [10].

So erscheint z. B. bei gleichem BV der absolute Verlust an EZV bei einer Person mit 50 kg Körpergewicht relevanter als bei einer Person mit 80 kg Körpergewicht. Die grafische Darstellung erfolgt in Abbildung 1.

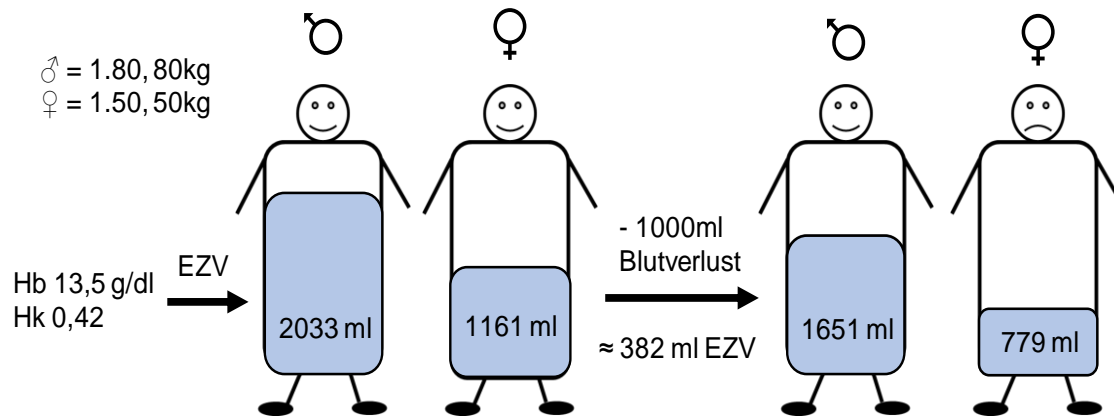


Abbildung 1: Fallbeispiel des berechnetes EZV nach Mercuriali und des individuellen Verlustes bei zwei Personen mit einem BV von 1000 ml und gleichem Ausgangshämoglobin- bzw. Hkt-Wert.

1.6 Fragestellung

In der Hüftgelenksendoprothetik kommt es regelhaft zu einem relevanten BV mit einem erhöhten Risiko für eine perioperative Anämie sowie einem erhöhten Transfusionsrisiko.

Unter der Hypothese, dass der perioperative BV nicht bei allen Patientinnen und Patienten gleich ausfällt und patientenindividuelle perioperative Faktoren einen Einfluss auf den perioperativen BV haben, wurden diese Faktoren auf ihren prädiktiven Wert untersucht. Des Weiteren sollte analysiert werden, inwieweit die Schätzung des intraoperativen BV durch den Anästhesisten oder die Anästhesistin den tatsächlichen perioperativen BV erfasst.

Aus der Hypothese ergaben sich folgende Fragen:

1. Haben patientenindividuelle präoperativ verfügbare Faktoren einen prädiktiven Wert für einen erhöhten perioperativen Erythrozytenverlust?
2. Gibt es einen Zusammenhang zwischen intraoperativen Faktoren wie der Länge der OP-Zeit oder dem verwendete Anästhesieverfahren einerseits und der Höhe des perioperativen Erythrozytenverlust andererseits?
3. Wie aussagekräftig ist die unmittelbar postoperative Einschätzung des perioperativen BV durch den Anästhesisten oder die Anästhesistin im Hinblick auf den gesamten perioperativen Erythrozytenverlust?

Auf Grundlage des berechneten verlorenen EZV erfolgte die Analyse dieser Faktoren im Hinblick auf ihren prädiktiven Wert für einen erhöhten perioperativen Erythrozytenverlust. Diese Arbeit soll helfen, den zu erwartenden BV besser abzuschätzen und im Idealfall ein individuelleres Transfusionsregime bereits präoperativ zu ermöglichen.

2 Material und Methoden

Die Untersuchung erfolgte an einem Krankenhaus der Schwerpunktversorgung mit 776 Betten, in dessen Klinik für Orthopädie wurden 848 Patientinnen und Patienten im Jahr 2014 stationär versorgt. Der Hauptteil der Daten wurde im Rahmen der klinischen Routine im OP und auf der angeschlossenen Intensivstation erhoben.

2.1 Erhebung der Daten

Im Zeitraum von Juli bis Oktober 2014 erfolgte eine prospektive Datenerhebung, in die insgesamt 69 Patientinnen und Patienten mit einer elektiven Hüftgelenkerstimplantation bei Coxarthrose eingeschlossen wurden. Alle erfassten OPs wurden von den gleichen fünf Oberärzten bzw. erfahrenen Fachärztinnen und -ärzten durchgeführt. Ausgeschlossen wurden Patientinnen und Patienten, die intraoperativ oder bis zum fünften Tag postoperativ transfundiert wurden, sowie Patientinnen und Patienten, bei denen eine maschinelle Autotransfusion durchgeführt wurde.

Für jede erfasste Person wurden folgende Daten erhoben:

2.1.1 Stammdaten, Risikoklassifikation

Geschlecht (m/w), Gewicht (kg), Größe (m), Alter sind dem jeweiligen Anästhesieprotokoll entnommen und wurden im Rahmen der anästhesiologischen Prämedikationsvisite am Vortag erfasst.

Die **ASA-Klassifikation** wurde ebenfalls aus anästhesiologischen Prämedikationsdokumentationen entnommen. Sie dient dem Zweck der Einstufung der physischen Beschaffenheit und Risikoabschätzung der Patientinnen und Patienten.

Tabelle 2: ASA-Klassifikation der American Society of Anesthesiologists [54]

ASA 1	Normale, gesunde Person
ASA 2	Person mit leichter Allgemeinerkrankung (keine Leistungseinschränkung)
ASA 3	Person mit schwerer Allgemeinerkrankung (mit Leistungseinschränkung)
ASA 4	Person mit schwerer Allgemeinerkrankung, die eine ständige Lebensbedrohung darstellt
ASA 5	Moribunde Peron, die ohne OP voraussichtlich nicht überleben wird

Der **Body-Mass-Index** (BMI) wurde zusätzlich aus dem Körpergewicht und der Größe der Person berechnet (kg/m^2) und gemäß der Adipositas-Klassifikation der Weltgesundheitsorganisation (WHO) Stand 2008 klassifiziert.

Tabelle 3: Adipositas-Klassifikation (WHO 2008) nach BMI

Kategorie	BMI (kg/m^2)
Untergewicht	weniger als 18,5
Normalgewicht	18,5–24,9
Übergewicht	25–29,9
Adipositas Grad I	30–34,9
Adipositas Grad II	35–39,9
Adipositas Grad III	≥ 40

2.1.2 Präoperative und postoperative Laborwerte

Alle Laborwerte wurden im klinikeigenen Labor ermittelt und standardmäßig im Rahmen der klinischen Routine erfasst. Für die Datenerhebung wurden die erfassten Werte aus dem Krankenhaus-Informationssystem Orbis (Dedalus HealthCare GmbH, Bonn) entnommen.

Die Messung des **Hb-Gehaltes (Hb-Wert)** erfolgte aus EDTA-Blut spektralphotometrisch und wurde in Gramm pro Deziliter angegeben. Erfasst wurden ein präoperativer Wert, der im Rahmen der Patientenaufnahme erhoben wurde, sowie ein postoperativer Wert am fünften postoperativen Tag.

Der **Hkt-Wert** wurde aus MCV und Erythrozytenzahl berechnet und in Prozent angegeben. Hier erfolgte ebenfalls die Erfassung eines präoperativen Wertes aus dem Aufnahmelabor und eines postoperativen Wertes am fünften postoperativen Tag.

Die **Blutgruppe (BG)** wurde im Rahmen des AB0-Systems durch Typisierung der Erythrozyten aus dem Aufnahmelabor bestimmt.

Die **Thrombozytenkonzentration** wurde ebenfalls durch eine photometrische Messmethode aus EDTA-Blut im Aufnahmelabor ermittelt und in Tausend pro Mikroliter angegeben.

2.1.3 Intraoperative Faktoren

Es wurde die **OP-Zeit** als Schnitt-Naht Zeit aus dem OP-Protokoll übernommen. Die Angabe erfolgt in Minuten.

Der durch den Anästhesisten oder die Anästhesistin **geschätzte intraoperative BV** in Milliliter wurde aus dem Narkoseprotokoll übernommen. Diese Schätzung erfolgte unter Einbezug von Saugerinhalt, Wiegen von blutgetränkten Tüchern und Tupfern sowie Blutansammlungen auf dem Boden und wurde in Millilitern angegeben.

Das durchgeführte **Narkoseverfahren** mit der Unterscheidung in Allgemeinanästhesie bzw. neuroaxiales Verfahren als kombinierte Spinal- und Epiduralanästhesie (CSE) wurde aus dem Narkoseprotokoll übernommen.

Alle Daten wurden vollständig anonymisiert, eine Stellungnahme der Ethikkommission (LÄK Baden-Württemberg) liegt vor.

2.2 Berechnung des präoperativen Blutvolumens

Grundlage für die weiteren Berechnungen ist die Abschätzung des zirkulierenden Blutvolumens. Aus der im Rahmen der stationären Aufnahme erfassten Körpergröße in Metern und dem Körpergewicht in Kilogramm wurde geschlechtsspezifisch das präoperative zirkulierende Blutvolumen anhand der Formel nach Nadler [69] berechnet.

Frauen: Blutvolumen (ml) = $(0,3561 \times \text{KGr (m}^3) + 0,03308 \times \text{KGw (kg) + 0,1833}) \times 1000$

Männer: Blutvolumen (ml) = $(0,3669 \times \text{KGr (m}^3) + 0,03219 \times \text{KGw (kg) + 0,6041}) \times 1000$

Gleichung 1: Berechnung des geschlechtsspezifischen Blutvolumens (ml) anhand Körpergröße (KGr, m) und Körpergewicht (KGw, kg)

2.3 Das prä- und postoperative Erythrozytenvolumen

Aus dem nach Nadler berechneten zirkulierenden Blutvolumen wurde für jede Person anhand ihres Hkt-Wertes das zirkulierende EZV nach dem Mercuriali-Algorithmus [64] ermittelt.

$$\text{Zirkulierende EZV} = \text{Blutvolumen} \times \text{vHk}/100 \times 0,91$$

Gleichung 2: Berechnung des zirkulierenden EZV (ml) aus Blutvolumen (ml) und venösem Hämatokrit (vHk, %)

2.4 Bestimmung des perioperativ verlorenen Erythrozytenvolumens

Das zirkulierende Erythrozytenvolumen wurde sowohl präoperativ (EZV_präop) als auch aus dem am fünften postoperativen Tag bestimmten Hkt-Wert berechnet (EZV_postop).

Am fünften postoperativen Tag ist nach Mercuriali davon auszugehen, dass die postoperative Blutung abgeschlossen ist, dass es zu keinem weiteren BV kommt und dass der Patient normovoläm ist.

Aus der Differenz des prä- und postoperativen EZV wurde das verlorene EZV (vEZV_berechnet) berechnet und stellt in dieser Arbeit den tatsächlichen perioperativen Erythrozytenverlust dar.

$$vEZV_berechnet = EZV_präop - EZV_postop$$

Gleichung 3: Berechnung des verlorenen EZV (vEZV_berechnet) aus der Differenz von präoperativem EZV (EZV_präop) und postoperativem EZV (EZV_postop) am fünften postoperativen Tag

Der intra- bzw. unmittelbar postoperativ von der Anästhesistin oder vom Anästhesisten geschätzte BV wurde, zur besseren Vergleichbarkeit, ebenfalls in einen geschätzten Erythrozytenverlust (vEZV_geschätzt) umgerechnet. Der geschätzte Erythrozytenverlust wurde in Relation zum tatsächlich perioperativ verlorenen EZV gesetzt.

$$vEZV_geschätzt = BV_geschätzt * vHk * 0,91$$

Gleichung 4: Umrechnung des geschätzten intraoperativen BV (BV_geschätzt, ml) in geschätzt verlorenes EZV (vEZV_geschätzt, ml); vHk = venöser Hämatokrit (l/l)

2.5 Der Einfluss von prä- und intraoperativen Faktoren auf den perioperativen Blutverlust

Die erhobenen prä- und intraoperativen Daten wurden auf ihren Einfluss auf den tatsächlichen, berechneten perioperativen Erythrozytenverlust hin untersucht. Hierzu wurden die Daten der erhobenen Parameter jeweils in zwei Gruppen aufgeteilt.

Gruppenteiler wurden meist über Mittel- und Medianwerte definiert. Beim BMI erfolgte die Unterteilung in Normal- und Übergewicht (BMI > 25 kg/m²).

Hinsichtlich der ASA-Klassifikation wurden Patientinnen und Patienten mit ASA-Klasse 3 mit den anderen Klassen verglichen, unter der Hypothese, dass Patientinnen und Patienten mit einer ASA-Klassifikation von 3 auf Grund ihrer Vorerkrankungen einen erhöhten BV haben.

Bei den Blutgruppen wurde die Blutgruppe 0 mit den anderen Blutgruppen verglichen, unter der Hypothese, dass Patientinnen und Patienten mit der Blutgruppe 0 zu einem höheren BV neigen.

Tabelle 4: Erhobene prä- und intraoperative Daten und verwendete Gruppenteiler

Variable	Gruppenteiler
Geschlecht	Mann/Frau
Alter	> 70 Jahre
BMI	> 25 kg/m ²
ASA-Klassifikation	> ASA 2
Hb-Wert präoperativ	> 14 g/dl
berechnetes EZV präoperativ	> 1800 ml
Thrombozytenkonzentration präoperativ	> 260 Tsd./ μ l
Blutgruppe (BG)	BG 0 vs. BG A/B/AB
Anästhesieverfahren	Allgemeinanästhesie/CSE
OP-Zeit (Schnitt-Naht)	> 70 Minuten
geschätzter Erythrozytenverlust	> 180 ml EZV

2.6 Statistische Auswertung

Die erhobenen Daten wurden in einer Excel-Tabelle (Microsoft Office 2019) erfasst und mit Hilfe der Software SPSS Statistics® (IBM, Version 22.0) ausgewertet. Es erfolgte eine deskriptive Analyse und Darstellung der erfassten Parameter als Anzahl (n), Minimum, Maximum, Mittelwert (MW) und Median sowie Standardabweichung (SD). Für die bessere Übersicht wurden Boxplots und Tabellen verwendet.

Das berechnete verlorene EZV wurde als abhängige Variable definiert. Alle anderen prä- oder intraoperativ erfassten Parameter galten als unabhängige Variablen. Zur Erfassung bedeutsamer Unterschiede innerhalb der untersuchten Variablen im Hinblick auf das berechnete verlorene EZV wurden unterschiedliche Tests durchgeführt. t-Tests erfolgten für unabhängige Stichproben bei Normalverteilung nach Shapiro-Wilk und bei Stichproben $n \geq 30$. Bei nichtnormalverteilten Daten mit weniger als 30 Patientinnen und Patienten wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet und die Verteilungen der beiden Gruppen nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test analysiert, um eine Beurteilung der Medianwerte zu ermöglichen.

Beim präoperativ bestimmten Hb-Wert, beim präoperativ berechneten EZV und beim geschätzten Erythrozytenverlust wurde zudem eine ANOVA-Varianzanalyse durchgeführt, um ihre Rolle als Prädiktor für den berechneten Erythrozytenverlust weiter zu untersuchen.

Als Signifikanzniveau wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0.05$ festgelegt.

3 Ergebnisse

3.1 Allgemein deskriptiv und Varianzanalyse

3.1.1 Das berechnete Blutvolumen

Die Berechnung des Blutvolumens nach Nadler ergab für die weiblichen Personen durchschnittlich ein Volumen von 4150,9 ml (Spannweite 3163,8 bis 5701,2 ml), bei den männlichen Personen wurde dagegen ein durchschnittlicher Wert von 5446,8 ml (Spannweite 4532,7 bis 7405,26 ml) berechnet. In Tabelle 5 erfolgt die Darstellung der Ergebnisse allgemein und nach Geschlecht getrennt.

Tabelle 5: *Berechnetes Blutvolumen, Anzahl der Patientinnen und Patienten (N), Minimum, Maximum, Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD)*

	N	Minimum	Maximum	MW	SD
Blutvolumen gesamt (ml)	69	3163,82	7405,26	4751,92	891,91
Blutvolumen Frauen (ml)	37	3163,82	5701,26	4150,93	624,67
Blutvolumen Männer (ml)	32	4532,72	7405,26	5446,80	601,89

3.1.2 Das berechnete prä-, postoperative und verlorene Erythrozytenvolumen

Nach dem Mercuriali-Algorithmus wurden das präoperative (EZV_präoperativ) und das postoperative EZV (EZV_postoperativ) berechnet. Aus der Differenz wurden das verlorene EZV (*vEZV_berechnet*) und der relative Anteil (*vEZV_relativ*) am gesamten präoperativen EZV (EZV_präoperativ) ermittelt. Die Tabellen 6 bis 8 enthalten die Darstellungen der Ergebnisse allgemein und nach Geschlechtern getrennt. Die grafische Darstellung erfolgt nach Geschlecht getrennt in Abbildung 2.

Tabelle 6: Prä- und postoperativ berechnetes EZV, berechnetes verlorenes EZV (vEZV) und sein relativer Anteil (%) am präoperativen EZV – gesamt. Anzahl der Patientinnen und Patienten (N), Minimum, Maximum, Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD).

Gesamt	N	Minimum	Maximum	MW	SD
EZV präoperativ (ml)	69	1164,04	3093,10	1836,40	430,94
EZV postoperativ (ml)	69	711,13	2055,33	1287,34	301,81
vEZV berechnet (ml)	69	189,57	1104,08	549,07	206,01
vEZV relativ (%)	69	16,29	48,74	29,54	7,25

Tabelle 7: Prä- und postoperativ berechnetes EZV, berechnetes verlorenes EZV (vEZV) und sein relativer Anteil (%) am präoperativen EZV – Frauen. Anzahl der Patientinnen (N), Minimum, Maximum, Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD).

Frauen	N	Minimum	Maximum	MW	SD
EZV präoperativ (ml)	37	1164,04	2443,62	1546,59	285,98
EZV postoperativ (ml)	37	711,13	1878,11	1109,27	228,29
vEZV berechnet (ml)	37	189,57	782,32	437,33	142,39
vEZV relativ (%)	37	16,29	44,44	28,20	7,29

Tabelle 8: Prä- und postoperativ berechnetes EZV, berechnetes verlorenes EZV (vEZV) und sein relativer Anteil (%) am präoperativen EZV – Männer. Anzahl Patienten (N), Minimum, Maximum, Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD).

Männer	N	Minimum	Maximum	MW	SD
EZV präoperativ (ml)	32	1720,37	3093,10	2171,50	310,22
EZV postoperativ (ml)	32	1058,93	2055,33	1493,23	240,17
vEZV berechnet (ml)	32	373,85	1104,08	678,27	193,43
vEZV relativ (%)	32	20,04	48,74	31,10	6,99

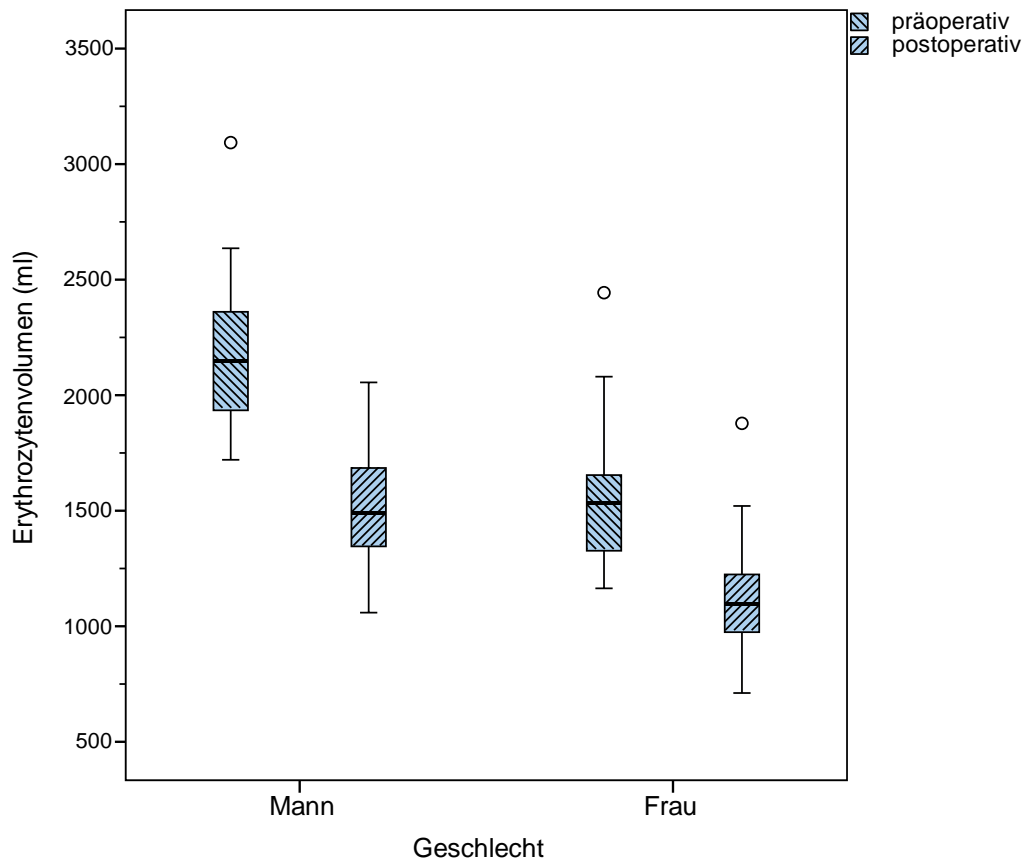


Abbildung 2: Boxplot prä- und postoperatives EZV Mann/Frau

Die Berechnung des EZV erfolgte mittels der Mercuriali-Formel aus zuvor berechnetem Blutvolumen (nach Nadler) und dem Hkt-Wert präoperativ und am fünften postoperativen Tag. Die Boxplots stellen den Median, die 25. und die 75. Perzentile dar, darüber hinaus das maximale und das minimale berechnete prä- und postoperative EZV.

3.1.3 Das verlorene ErythrozytENV im Geschlechtervergleich

Es wurden 37 Patientinnen und 32 Patienten untersucht ($n = 69$).

Es zeigte sich in den untersuchten Daten bei den männlichen Personen ($n = 32$) ein höherer perioperativer BV mit MW 678,27 ml, SD 193,43 ml gegenüber den weiblichen Personen ($n = 37$) mit MW 437,33 ml, SD 142,40 ml. Der Verlust war um durchschnittlich 240 ml höher. Im berechneten t-Test für unabhängige Stichproben zeigte sich der Unterschied als signifikant ($t(67) = 5.81$, $p < 0.01$). Die grafische Darstellung erfolgt nach Geschlecht getrennt in Abbildung 3.

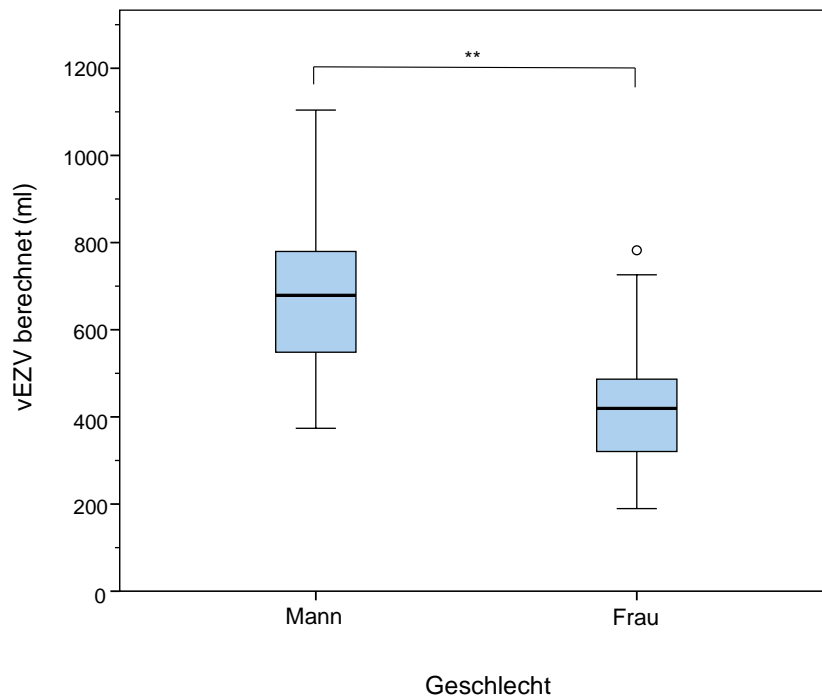


Abbildung 3: Boxplot berechnetes vEZV getrennt nach Geschlecht Mann/Frau.

Für die Gruppe der männlichen Personen ($n = 32$) zeigte sich ein signifikant höheres perioperatives vEZV von durchschnittlich 240 ml gegenüber der Gruppe der Patientinnen ($n = 37$); $p < 0.01$ (**), t-Test bei unabhängigen Stichproben. Die Boxplots stellen den Median, die 25. und die 75. Perzentile dar, darüber hinaus das maximale und das minimale verlorene berechnete EZV.

3.1.4 Das verlorene Erythrozytenvolumen in den verschiedenen Altersgruppen

Das durchschnittliche Alter der untersuchten Patientinnen und Patienten betrug 70,2 Jahre (Median: 73 Jahre; Spannweite 45–87 Jahre).

Die beiden untersuchten Altersgruppen (Gruppenteiler > 70 Jahre) waren gemäß dem Shapiro-Wilk-Test nicht normalverteilt, $p > 0.05$.

Die Patientinnen und Patienten unter 70 Jahren ($n = 29$) hatten einen deutlich höheren perioperativen Erythrozytenverlust mit MW 633,7 ml, SD 192,98 ml gegenüber den Patientinnen und Patienten über 70 Jahren ($n = 40$) mit MW 487,71 ml, SD 195,12 ml.

Der Verlust war im Median um 172 ml höher. In dem zur Berechnung herangezogenen Mann-Whitney-U-Test zeigte sich der Unterschied als signifikant, $U = 317$, $Z = -3.20$, $p < 0.01$. Die grafische Darstellung erfolgt in Abbildung 4.

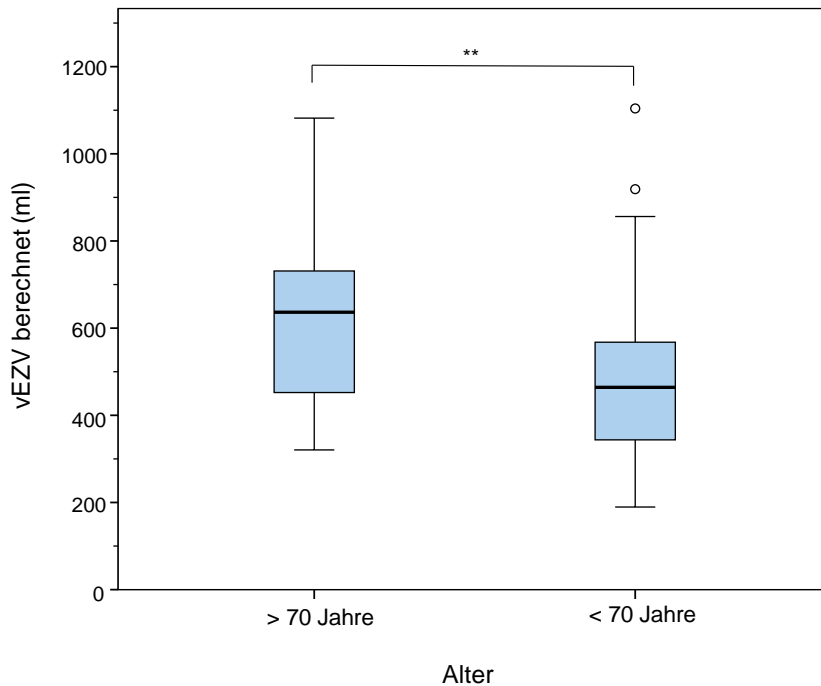


Abbildung 4: Boxplot erhöhtes berechnetes vEZV in den Altersgruppen über und unter 70 Jahren.

Für die Gruppe der Patientinnen und Patienten < 70 Jahre ($n = 29$) zeigte sich ein signifikant höheres perioperatives vEZV, das im Durchschnitt um 172 ml über dem der Gruppe > 70 Jahre lag ($n = 40$); $p < 0.01$ (**), Mann-Whitney-U-Test. Die Boxplots stellen den Median, die 25. und die 75. Perzentile dar, darüber hinaus das maximale und das minimale verlorene berechnete EZV.

3.1.5 Das verlorene Erythrozytenvolumen innerhalb der Body-Mass-Index-Klassen

Der durchschnittliche BMI betrug $28,25 \text{ kg/m}^2$ (Median $27,45 \text{ kg/m}^2$; Spannweite 19 bis $46,4 \text{ kg/m}^2$). Normalgewichtig waren 34 % der Patientinnen und Patienten. Eine Adipositas ersten oder höheren Grades (BMI $>30 \text{ kg/m}^2$) lag bei 31 % der Patientinnen und Patienten vor.

Beide untersuchten BMI-Klassen (Gruppenteiler BMI $> 25 \text{ kg/m}^2$) waren gemäß dem Shapiro-Wilk-Test nicht normalverteilt, $p > 0.05$.

Für die Gruppe mit einem BMI über 25 kg/m^2 ($n = 48$) zeigte sich ein erhöhter perioperativer Erythrozytenverlust mit MW $583,22 \text{ ml}$, SD $212,70 \text{ ml}$ gegenüber der Gruppe mit einem BMI unter 25 kg/m^2 ($n = 21$) mit MW $471,00 \text{ ml}$, SD $169,66 \text{ ml}$.

Der Verlust war im Median um 93 ml höher. Mit dem Mann-Whitney-U-Test zeigte sich der Unterschied als nicht signifikant, $U = 356$, $Z = -1.93$, $p = 0.054$. Die grafische Darstellung erfolgt in Abbildung 5.

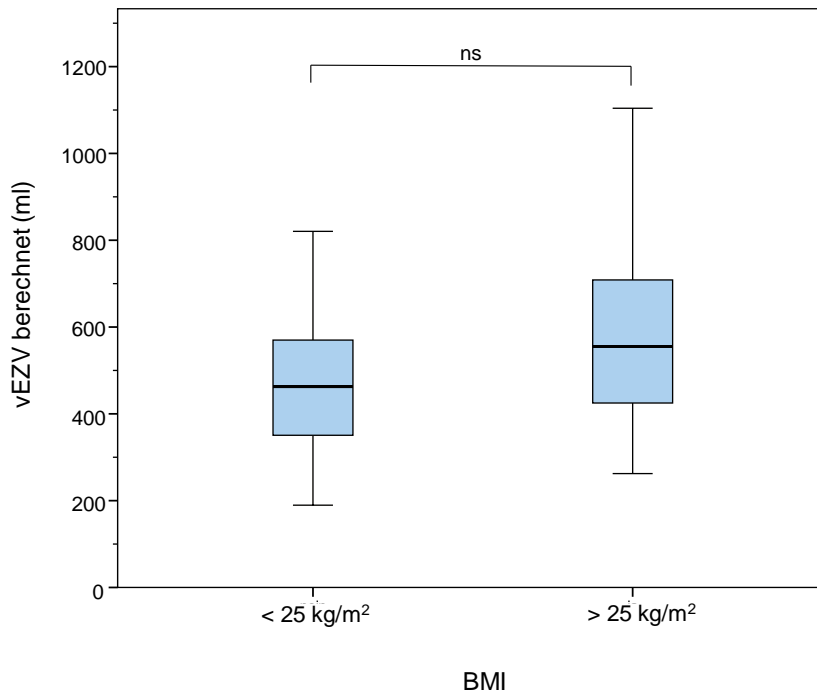


Abbildung 5: Boxplot berechnetes vEZV und BMI über und unter 25 kg/m².

Für die Gruppe mit einem BMI $> 25 \text{ kg/m}^2$ ($n = 48$) zeigte sich ein nicht signifikant höheres perioperatives vEZV von durchschnittlich 93 ml gegenüber der Gruppe mit einem BMI $< 25 \text{ kg/m}^2$ ($n = 21$); $p = 0.054$ (ns = nicht signifikant), Mann-Whitney-U-Test. Die Boxplots stellen den Median, die 25. und die 75. Perzentile dar, darüber hinaus das maximale und das minimale verlorene berechnete EZV.

3.1.6 Den ASA-Klassen zugeordneter Verlust des Erythrozytenvolumens

Von den untersuchten 69 Patientinnen und Patienten wurden 66 (97 %) auf Grund einer leichten bis schweren Allgemeinerkrankung mit der ASA-Klassifikation 2 oder 3 kategorisiert (ASA 2: 42 Patientinnen und Patienten, ASA 3: 24 Patientinnen und Patienten). Lediglich drei Patientinnen und Patienten wurden als normale, sonst gesunde Personen beschrieben.

Nach Aufteilung der Patientinnen und Patienten (Gruppenteiler $> \text{ASA-Klassifikation } 2$) zeigten sich die Daten in beiden Stichproben gemäß dem Shapiro-Wilk-Test normalverteilt, $p < 0.05$.

Für die Gruppe der Patientinnen und Patienten mit den ASA-Klassifikationen 1 und 2 ($n = 45$) ergab sich ein Trend zu erhöhtem perioperativen Erythrozytenverlust mit MW 564,68 ml, SD 204,04 ml gegenüber der Gruppe mit der ASA-Klassifikation 3 ($n = 24$) mit MW 519,79 ml, SD 210,84 ml. Der Verlust war im Median um 50 ml höher. Im berechneten t-Test für unabhängige Stichproben zeigte sich der Unterschied als nicht signifikant; $t(67) = -0.86$, $p = 0.393$. Die grafische Darstellung erfolgt in Abbildung 6.

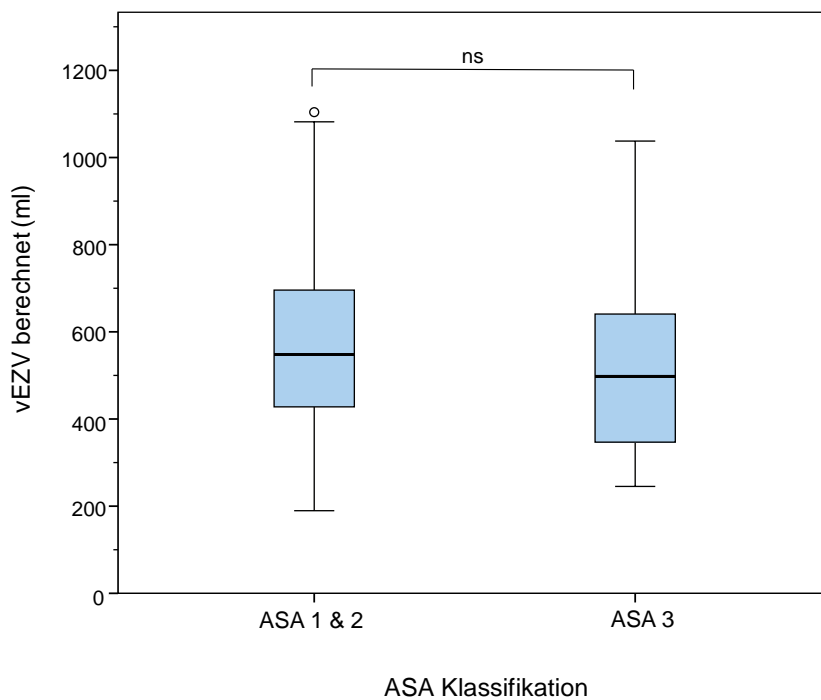


Abbildung 6: Boxplot berechnetes vEZV in den ASA-Gruppen 1 und 2 sowie in der ASA Gruppe 3.

Die Boxplots stellen den Median, die 25. und die 75. Perzentile dar, darüber hinaus das maximale und das minimale berechnete vEZV. Für die Patientinnen und Patienten mit einer ASA-Klassifikation von 1 und 2 ($n = 45$) zeigte sich ein nicht signifikant höherer perioperativer Erythrozytenverlust von durchschnittlich 50 ml gegenüber der Gruppe mit einer ASA-Klassifikation von 3 ($n = 24$); $p = 0.393$ (ns = nicht signifikant), t-Test für unabhängige Stichproben.

3.1.7 Zuordnung von Anästhesieverfahren und verlorenem Erythrozytenvolumen

Bei 56,5 % der Patientinnen und Patienten ($n = 39$) wurde eine Allgemeinanästhesie in Intubationsnarkose durchgeführt, bei 43,5 % ($n = 30$) eine Spinalanästhesie mit zusätzlicher Anlage eines Periduralkatheters zur postoperativen Schmerztherapie (CSE).

Für die Gruppe der Patientinnen und Patienten mit Allgemeinanästhesie zeigte sich ein Trend zu erhöhten perioperativen Erythrozytenverlusten mit MW 551,09 ml, SD 190,46 ml gegenüber der Gruppe mit einer CSE mit MW 546,44 ml, SD 227,96 ml. Der Verlust war im Median um 57 ml höher. In dem zur Berechnung herangezogenen t-Test für unabhängige Stichproben zeigte sich der Unterschied als nicht signifikant; $t(67) = -0.09$, $p = 0.93$. Die grafische Darstellung der vEZV berechnet gegenüber dem Anästhesieverfahren (Allgemeinanästhesie versus CSE) erfolgt in Abbildung 7.

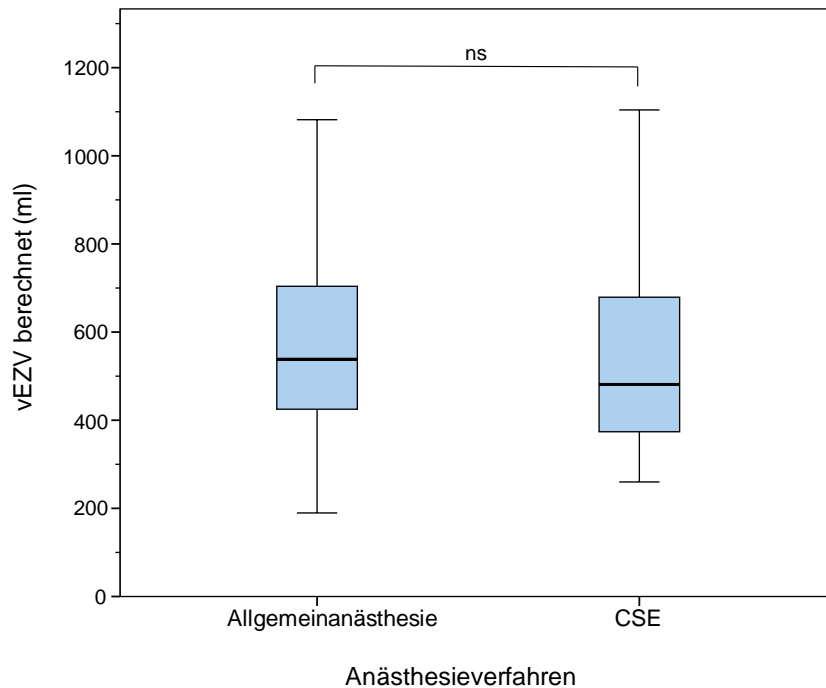


Abbildung 7: Boxplot berechnetes vEZV in Allgemeinanästhesie und in CSE-Technik.

Die Boxplots stellen den Median, die 25. und die 75. Perzentile dar, darüber hinaus das maximale und das minimale berechnete vEZV. Für die Patientinnen und Patienten mit einer Allgemeinanästhesie ($n = 39$) zeigte sich ein nicht signifikant höherer perioperativer Erythrozytenverlust von durchschnittlich 57 ml gegenüber der Gruppe mit einer CSE ($n = 30$); $p = 0.93$ (ns = nicht signifikant), t-Test für unabhängige Stichproben.

3.1.8 Die Veränderung des Erythrozytenvolumens hinsichtlich der Operationsdauer

Die OP-Dauer definiert als Schnitt-Naht-Zeit in Minuten ergab eine durchschnittliche OP-Zeit von 75 Minuten (Median 70 Minuten, Spannweite 44 bis 135 Minuten).

Für eine OP-Zeit über 70 Minuten ($n = 38$) zeigte sich ein höherer perioperativer Erythrozytenverlust mit MW 599,33 ml, SD 216,94 ml gegenüber der Gruppe mit einer OP-Zeit unter 70 Minuten ($n = 31$) mit MW 487,45 ml, SD 176,14 ml.

Die Differenz des Erythrozytenverlustes war mit durchschnittlich 112 ml signifikant höher in der Gruppe mit der längeren Schnitt-Naht-Zeit, $t(67) = 2.32$, $p < 0.05$. Die grafische Darstellung erfolgt in Abbildung 8.

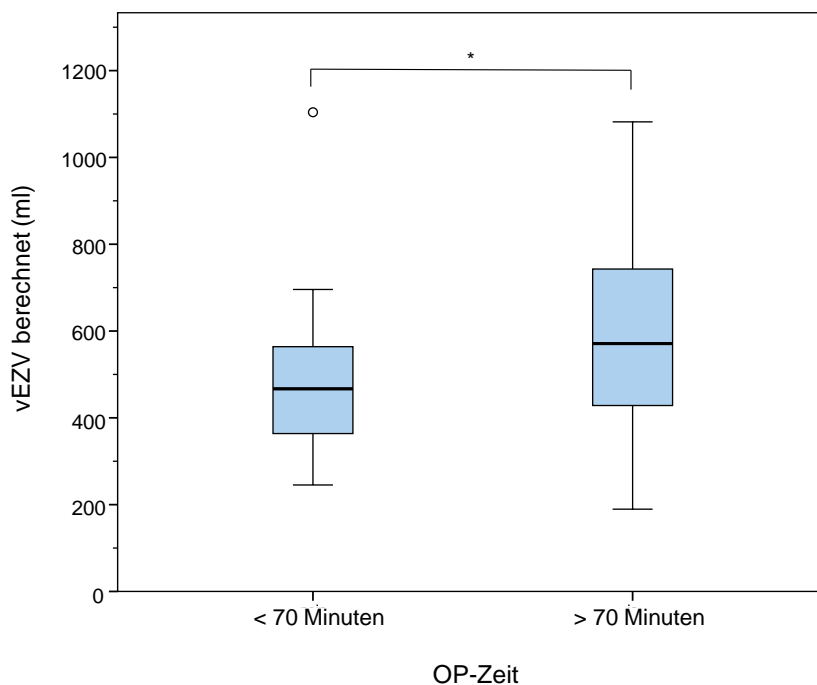


Abbildung 8: Boxplot berechnetes vEZV in den Gruppen mit einer OP-Zeit über und unter 70 Minuten.

Die Boxplots stellen den Median, die 25. und die 75. Perzentile dar, darüber hinaus das maximale und das minimale berechnete vEZV. Für die Gruppe mit einer OP-Zeit > 70 Minuten ($n = 38$) zeigte sich ein signifikant höherer perioperativer Erythrozytenverlust von durchschnittlich 112 ml gegenüber der Gruppe mit einer OP-Zeit < 70 Minuten ($n = 31$); $p < 0.05$ (*), t-Test für unabhängige Stichproben.

3.1.9 Die präoperative Thrombozytenkonzentration und das verlorene Erythrozytenvolumen

Es wurde eine durchschnittliche präoperative Thrombozytenkonzentration von 275 Tsd./ μ l (Median 260 Tsd./ μ l, Spannweite 148 bis 716 Tsd./ μ l) bestimmt.

Die Patientinnen und Patienten mit einer präoperativen Thrombozytenkonzentration unter 260 Tsd./ μ l ($n = 32$) hatten einen deutlich höheren perioperativen Erythrozytenverlust mit MW 623,95 ml, SD 219,99 ml gegenüber den Patientinnen und Patienten mit einer präoperativen Thrombozytenkonzentration über 260 Tsd./ μ l ($n = 37$); MW 484,30 ml, SD 170,87 ml). Der durchschnittliche Verlust war im Median um 140 ml höher. Im berechneten t-Test für unabhängige Stichproben zeigte sich der Unterschied als statistisch signifikant, $t(67) = 2.96$, $p < 0.05$. Die grafische Darstellung des vEZV aufgetragen gegen die beiden Gruppen der Thrombozytenkonzentrationen erfolgt in Abbildung 9.

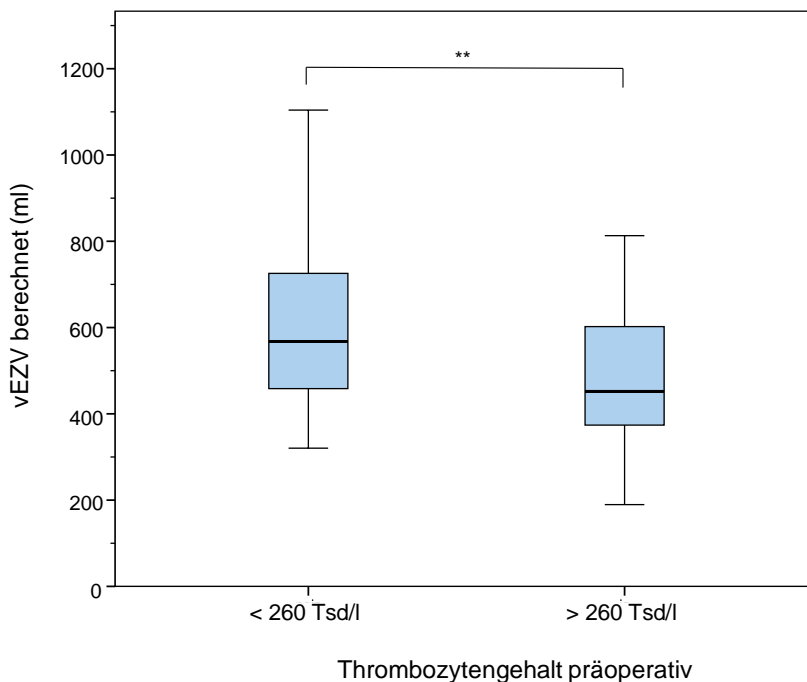


Abbildung 9: Boxplot berechnetes vEZV und präoperativen Thrombozytenkonzentration über und unter 260 Tsd./ μ l.

Die Boxplots stellen den Median, die 25. und die 75. Perzentile dar, darüber hinaus das maximale und das minimale berechnete vEZV. Für die Gruppe mit einem präoperativen Thrombozytengehalt < 260 Tsd./ μ l ($n = 32$) zeigte sich ein höherer perioperativer Erythrozytenverlust von durchschnittlich 140 ml gegenüber der Gruppe mit einem präoperativen Thrombozytengehalt > 260 Tsd./ μ l ($n = 37$); $p < 0.05$ (*), t-Test für unabhängige Stichproben.

3.1.10 Der präoperative Hämoglobingehalt und das verlorene Erythrozytenvolumen

Bei der Bestimmung des präoperativen Hb-Werts ergab sich ein durchschnittlicher Wert von 14,23 g/dl (Median 14,10 g/dl, Spannweite 11,1 g/dl bis 16,6 g/dl). Bei den weiblichen Personen wurde ein durchschnittlicher Wert von 13,62 g/dl (Median 13,5 g/dl, Spannweite 11,1 g/dl bis 15,9 g/dl), bei den männlichen Personen ein durchschnittlicher Wert von 14,9 g/dl (Median 15,1 g/dl, Spannweite 12,3 g/dl bis 16,6 g/dl) ermittelt. In Tabelle 9 erfolgt die Darstellung der Ergebnisse allgemein und nach Geschlecht getrennt. Die grafische Darstellung erfolgt in Abbildung 10.

Tabelle 9: Hb-Wert präoperativ, Anzahl der Patientinnen und Patienten (N), Minimum, Maximum, Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD).

	N	Minimum	Maximum	MW	SD
Hb-Wert präop (g/dl) gesamt	69	11,1	16,6	14,22	1,23
Hb-Wert präop (g/dl) Frau	37	11,1	15,9	13,62	1,06
Hb-Wert präop (g/dl) Mann	32	12,3	16,6	14,92	1,03

Die präoperativ ermittelten Hb-Werte wurden in zwei Gruppen aufgeteilt (Gruppenteiler >14 g/dl).

Beide Gruppen waren gemäß dem Shapiro-Wilk-Test normalverteilt, $p < 0.05$.

Für die Patientinnen und Patienten mit einem präoperativen Hb-Wert > 14 g/dl ($n = 41$) zeigte sich ein erhöhter Erythrozytenverlust mit MW 635,95 ml, SD 199,96 ml gegenüber den Patientinnen und Patienten mit einem präoperativen Hb-Wert von < 14 g/dl ($n = 28$) mit MW 421,84 ml, SD 138,29 ml.

Der Verlust war durchschnittlich um 214 ml höher. Im berechneten t-Test für unabhängige Stichproben zeigte sich der Unterschied als statistisch signifikant, $t(67) = 5.24$, $p < 0.01$.

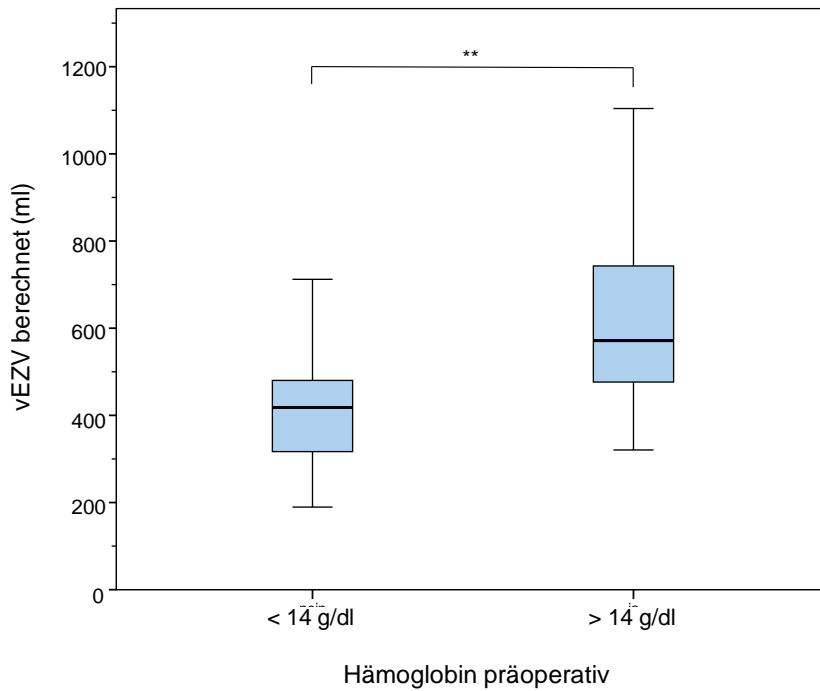


Abbildung 10: Boxplot berechnetes vEZV bei präoperativem Hb-Wert < 14 g/dl und > 14 g/dl

Die Boxplots stellen den Median, die 25. und die 75. Perzentile dar, darüber hinaus das maximale und das minimale berechnete vEZV. Für die Gruppe der Patientinnen und Patienten mit einem präoperativen Hb-Wert > 14 g/dl ($n = 28$) zeigte sich ein signifikant größerer perioperativer Erythrozytenverlust um durchschnittlich 214 ml gegenüber der Gruppe mit einem präoperativen Hb-Wert < 14 g/dl ($n = 41$); $p < 0.01$ (**), t-Test für unabhängige Stichproben.

Weiter wurde eine einfache lineare Regression berechnet, um das tatsächlich verlorene EZV aus dem präoperativen Hb-Wert vorherzusagen (Abbildung 11). Dabei wurde eine signifikante Regression gefunden ($F(1,67) = 55,37$; $p < 0.01$). Das Bestimmtheitsmaß r^2 betrug 0.45. Die grafische Darstellung der Regression erfolgt in Abbildung 11.

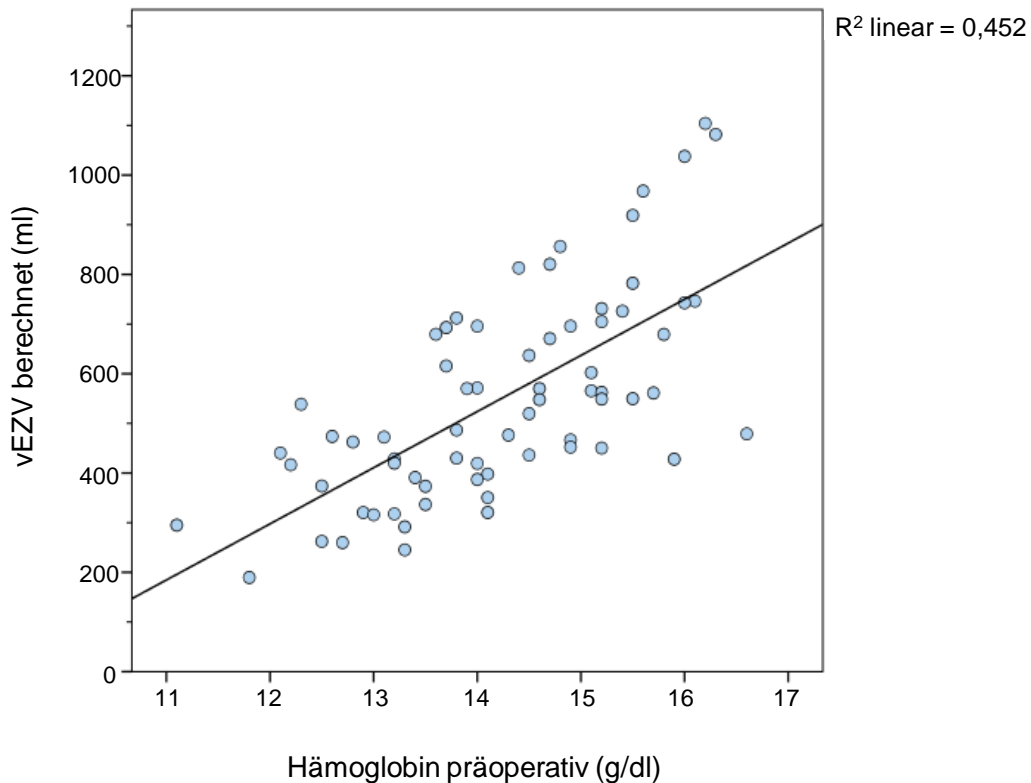


Abbildung 11: Signifikante lineare Regression von vEZV und präoperativem Hb ($F(1,67) = 55,37$; $p < 0.01$), ANOVA

Das präoperative Erythrozytenvolumen und das verlorene Erythrozytenvolumen

Die Bestimmung des durchschnittlichen präoperativen EZV ergab einen Wert von 1836,4 ml (Median 1797,92 ml, Spannweite 1164,04 ml bis 3093,1 ml). Bei den weiblichen Personen wurde ein durchschnittlicher Wert von 1546,59 ml (Median 1533,18 ml, Spannweite 1164,04 ml bis 2443,62 ml), bei den männlichen Personen ein durchschnittlicher Wert von 2171,5 ml (Median 2147,58 ml, Spannweite 1720,37 ml bis 3093,1 ml) ermittelt.

Das präoperativ berechnete EZV wurde in zwei Gruppen eingeteilt (Gruppenteiler > 1800 ml).

Bei den Patientinnen und Patienten mit einem präoperativen EZV über 1800 ml ($n = 34$) zeigte sich ein erhöhter Erythrozytenverlust mit MW 682,12 ml, SD 187,25 ml gegenüber den Patientinnen und Patienten mit einem präoperativen EZV unter 1800 ml ($n = 35$) mit MW 419,81 ml, SD 126,27 ml.

Der Verlust war durchschnittlich um 262 ml höher. Im berechneten t-Test für unabhängige Stichproben zeigte sich der Unterschied als statistisch signifikant, $t(67) = 6.80$, $p < 0.01$. Die grafische Darstellung erfolgt in Abbildung 12.

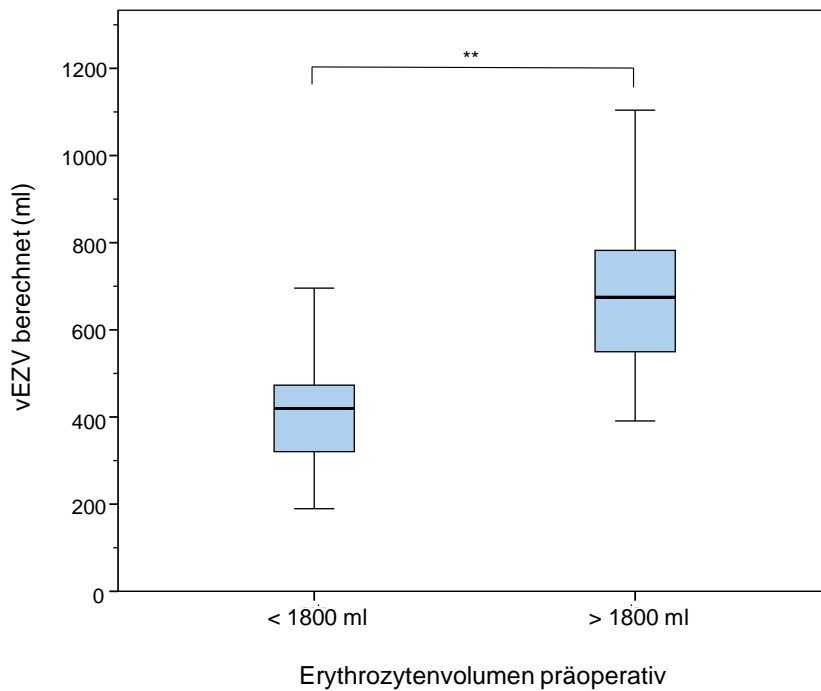


Abbildung 12: Boxplot berechnetes vEZV bei einem präoperatives EZV über und unter 1800 ml.

Die Boxplots stellen den Median, die 25. und die 75. Perzentile dar, darüber hinaus das maximale und das minimale berechnete vEZV. Für die Gruppe der Patientinnen und Patienten mit einem präoperativen EZV > 1800 ml ($n = 34$) zeigte sich ein signifikant größerer perioperativer Erythrozytenverlust von durchschnittlich 262 ml gegenüber der Gruppe mit einem präoperativen EZV < 1800 ml ($n = 35$), $p < 0.01^{**}$, t-Test für unabhängige Stichproben.

Weiter wurde eine einfache lineare Regression berechnet, um das tatsächlich verlorene EZV aus dem präoperativ berechneten EZV vorherzusagen. Dabei wurde eine signifikante Regression gefunden ($F(1,67) = 98,78$; $p < 0.01$). 59 % der Varianz des verlorenen EZV kann mit der Variable *präoperatives EZV* erklärt werden ($r^2 = 0,59$; $F(67) = 98,78$, $p < 0.01$). Das präoperative EZV ist ein signifikanter Prädiktor für das verlorene EZV mit einer geschätzten Zunahme von 0,37 ml verlorenes EZV pro Milliliter präoperativem EZV ($\beta = 0,37$; $t(67) = 9,94$). Die grafische Darstellung erfolgt in Abbildung 13.

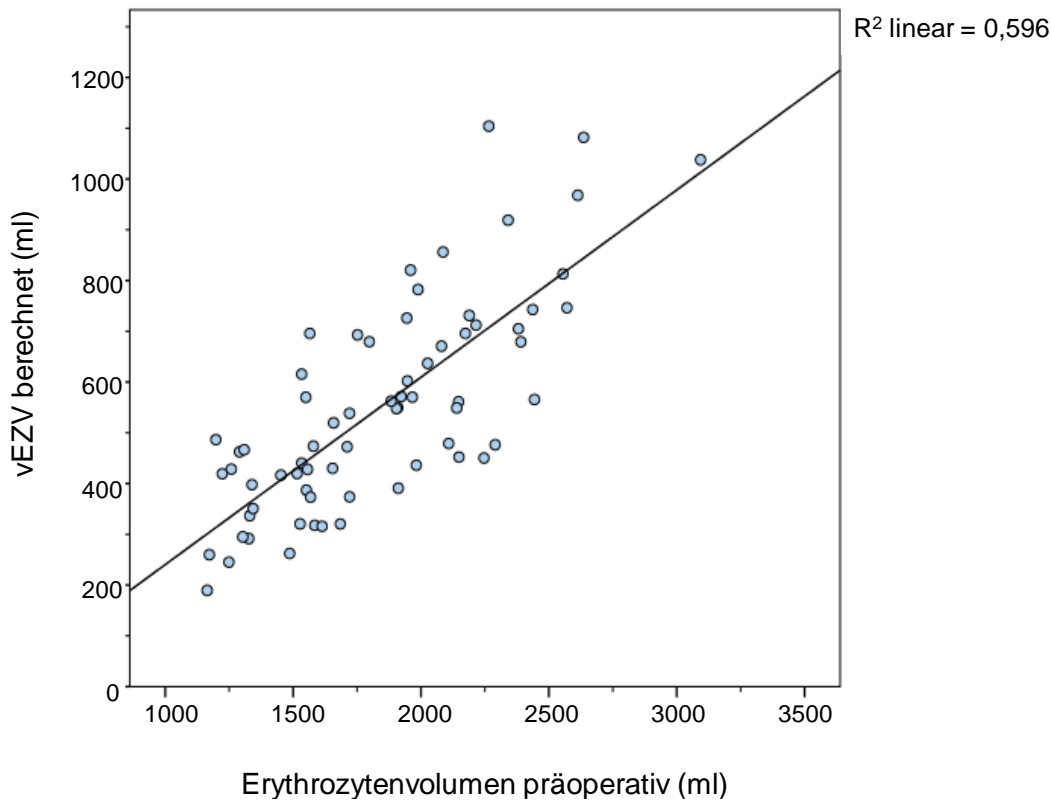


Abbildung 13: Signifikante lineare Regression von vEZV berechnet und präoperativem EZV ($F(1,67) = 98,78$; $p < 0.01$), ANOVA

3.1.11 Die Blutgruppe nach AB0-System und das verlorene Erythrozytenvolumen

Mit 42 % war Blutgruppe A am häufigsten ($n = 29$), Blutgruppe 0 mit 36 % am zweithäufigsten ($n = 25$), gefolgt von Blutgruppe B mit 14 % ($n = 10$) und Blutgruppe AB mit 7 % ($n = 5$).

Beide untersuchten Gruppen (BG 0 vs. BG A/B/AB) waren gemäß dem Shapiro-Wilk-Test nicht normalverteilt, $p > 0.05$.

Für die Patientinnen und Patienten mit den Blutgruppen A, B und AB ($n = 44$) zeigte sich ein Trend zu erhöhtem perioperativen Erythrozytenverlust mit MW 556,95 ml, SD 204,32 ml gegenüber den Patientinnen und Patienten mit Blutgruppe 0 ($n = 25$) mit MW 535,19 ml, SD 212,45 ml.

Der Verlust war im Median um 53 ml höher. Im berechneten Mann-Whitney-U-Test zeigte sich der Unterschied als nicht signifikant, $U = 521$, $Z = -0.36$, $p = 0.717$. Die grafische Darstellung erfolgt in Abbildung 14.

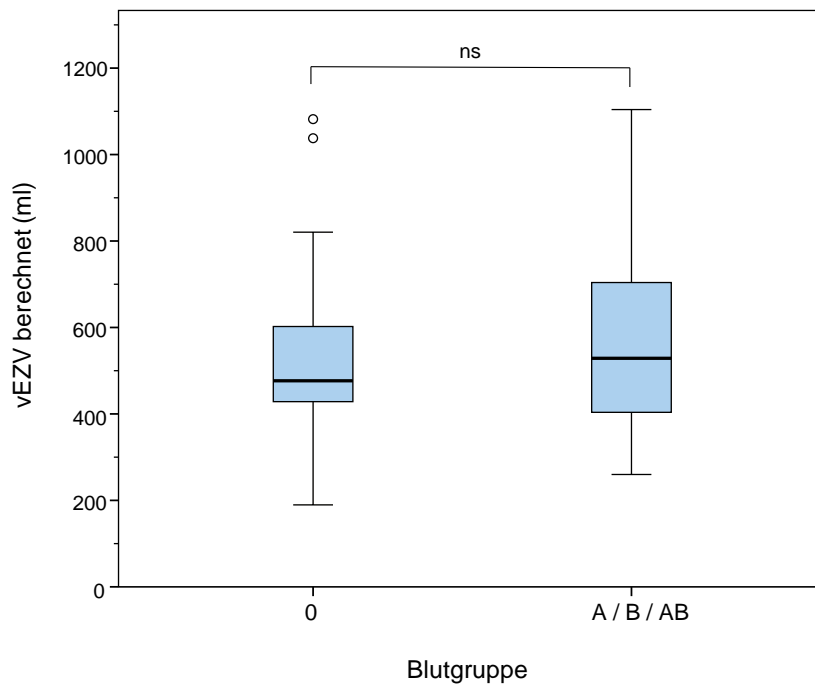


Abbildung 14: Boxplot berechnetes vEZV in den Blutgruppenklassen 0 und A/B/AB.

Die Boxplots stellen den Median, die 25. und die 75. Perzentile dar, darüber hinaus das maximale und das minimale berechnete vEZV. Für die Patientinnen und Patienten mit den Blutgruppen A, B und AB ($n = 44$) zeigte sich ein nicht signifikant höherer perioperativer Erythrozytenverlust von durchschnittlich 53 ml gegenüber der Gruppe mit Blutgruppe 0 ($n = 25$), $p = 0.393$ (ns = nicht signifikant), Mann-Whitney-U-Test.

3.1.12 Der Zusammenhang von geschätztem intraoperativem Blutverlust und verlorenem Erythrozytenvolumen

In den folgenden Tabellen 10 bis 12 ist der von der Anästhesistin oder vom Anästhesisten geschätzte intraoperative BV dargestellt. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde aus der intraoperativen Schätzung des BV ein geschätztes verlorenes EZV (vEZV_geschätzt) berechnet. Weiter wurde der relative Anteil des vEZV_geschätzt und des vEZV_berechnet am gesamten präoperativen EZV (EZV_präop) ermittelt. Stellt der berechnete perioperative Erythrozytenverlust (vEZV_berechnet) durchschnittlich einen Verlust von ca. 30 % des EZV dar, wird durch die alleinige intraoperative Schätzung lediglich ein Verlust von ca. 11 % des EZV abgebildet. Die Darstellung erfolgt allgemein (Tabelle 10) und nach Geschlecht getrennt (Tabellen 11 und 12).

Tabelle 10: Intraoperativ geschätzter BV, geschätzter und berechneter Verlust an EZV (vEZV_geschätzt, vEZV_berechnet) und relativer Anteil von geschätztem und berechnetem Erythrozytenverlust (vEZV_geschätzt relativ %, vEZV_berechnet relativ %) am präoperativen EZV – gesamt. Anzahl der Patientinnen und Patienten (N), Minimum, Maximum, Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD).

gesamt	n	Minimum	Maximum	MW	SD
BV intraop geschätzt (ml)	69	200	900	494,93	147,81
vEZV geschätzt (ml)	69	72,25	346,44	190,08	58,53
vEZV geschätzt relativ (%)	69	5,15	22,06	10,60	3,26
vEZV berechnet (ml)	69	189,57	1104,08	549,07	206,01
vEZV berechnet relativ (%)	69	16,29	48,74	29,54	7,25

Tabelle 11: Intraoperativ geschätzter BV, geschätzter und berechneter Verlust an EZV (vEZV_geschätzt, vEZV_berechnet) und relativer Anteil von geschätztem und berechnetem Erythrozytenverlust (vEZV_geschätzt relativ %, vEZV_berechnet relativ %) am präoperativen EZV – Frauen. Anzahl der Patientinnen (N), Minimum, Maximum, Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD).

Frauen	n	Minimum	Maximum	MW	SD
BV intraop geschätzt (ml)	37	200	800	460,81	140,01
vEZV geschätzt (ml)	37	72,25	293,38	171,39	53,00
vEZV geschätzt relativ (%)	37	6,16	22,06	11,26	3,68
vEZV berechnet (ml)	37	189,57	782,32	437,33	142,39
vEZV berechnet relativ (%)	37	16,29	44,44	28,20	7,29

Tabelle 12: Intraoperativ geschätzter BV, geschätzter und berechneter Verlust an EZV (vEZV_geschätzt, vEZV_berechnet) und relativer Anteil von geschätztem und berechnetem Erythrozytenverlust (vEZV_geschätzt relativ %, vEZV_berechnet relativ %) am präoperativen EZV – Männer. Anzahl der Patienten (N), Minimum, Maximum, Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD).

Männer	n	Minimum	Maximum	MW	SD
BV intraop geschätzt (ml)	32	300	900	534,38	148,89
vEZV geschätzt (ml)	32	124,49	346,44	211,70	57,90
vEZV geschätzt relativ (%)	32	5,15	15,64	9,84	2,55
vEZV berechnet (ml)	32	373,85	1104,08	678,27	193,43
vEZV berechnet relativ (%)	32	20,04	48,74	31,10	6,99

Der geschätzte intraoperative Erythrozytenverlust wurde in zwei Gruppen aufgeteilt (Gruppenteiler > 180 ml). Die Patientinnen und Patienten mit einem intraoperativ geschätzten Erythrozytenverlust > 180 ml (n = 36) hatten tatsächlich einen Trend zu höherem perioperativem Erythrozytenverlust mit MW 593,40 ml, SD 180,94 ml gegenüber den Patientinnen und Patienten mit einem intraoperativ geschätzten Erythrozytenverlust von < 180 ml (n = 33) mit MW 500,71 ml, SD 223,06. Der durchschnittliche Verlust war im Median um 130 ml höher. Im berechneten t-Test für unabhängige Stichproben zeigte sich der Unterschied als statistisch nicht signifikant, $t(67) = 1.9$, $p = 0.061$. Die grafische Darstellung erfolgt in Abbildung 15.

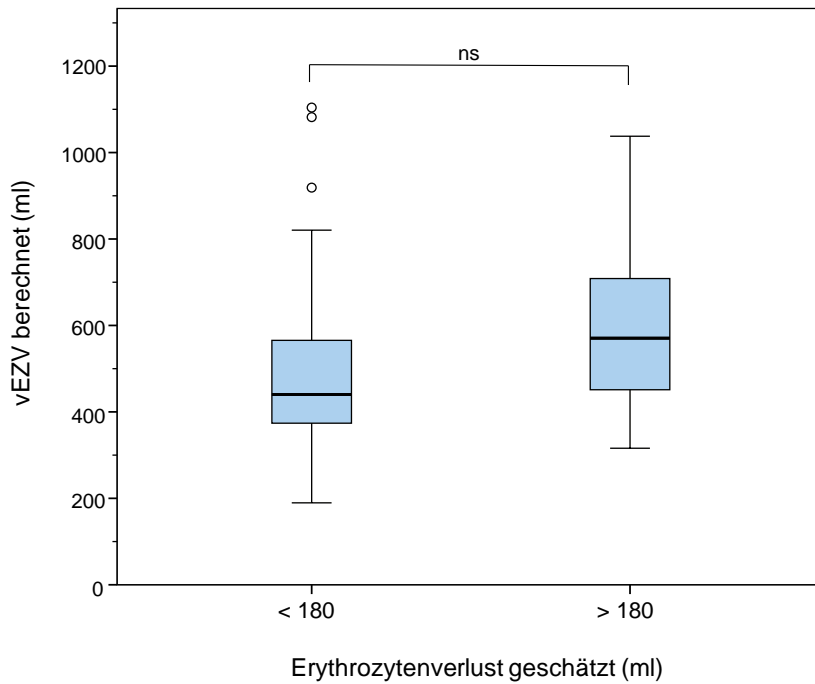


Abbildung 15: Boxplot berechnetes vEZV und einem intraoperativen geschätzten vEZV von über und unter 180 ml.

Die Boxplots stellen den Median, die 25. und die 75. Perzentile dar, darüber hinaus das maximale und das minimale berechnete vEZV. Für die Gruppe der Patientinnen und Patienten mit einem geschätzten intraoperativen vEZV > 180 ml ($n = 36$) zeigte sich ein nicht signifikant höherer perioperativer Erythrozytenverlust von durchschnittlich 130 ml gegenüber der Gruppe mit einem geschätzten intraoperativen Erythrozytenverlust < 180ml ($n = 33$), $p < 0.061$ (ns = nicht signifikant), t-Test für unabhängige Stichproben.

Weiter wurde eine einfache lineare Regression berechnet, um das tatsächlich verlorene EZV aus dem geschätzten Erythrozytenverlust vorherzusagen. Dabei wurde eine signifikante Regression gefunden ($F(1,67) = 8,45$; $p < 0.05$). Für das Bestimmtheitsmaß r^2 ergab sich ein Wert von 0.112. Die grafische Darstellung zeigt die Regression in Abbildung 16.

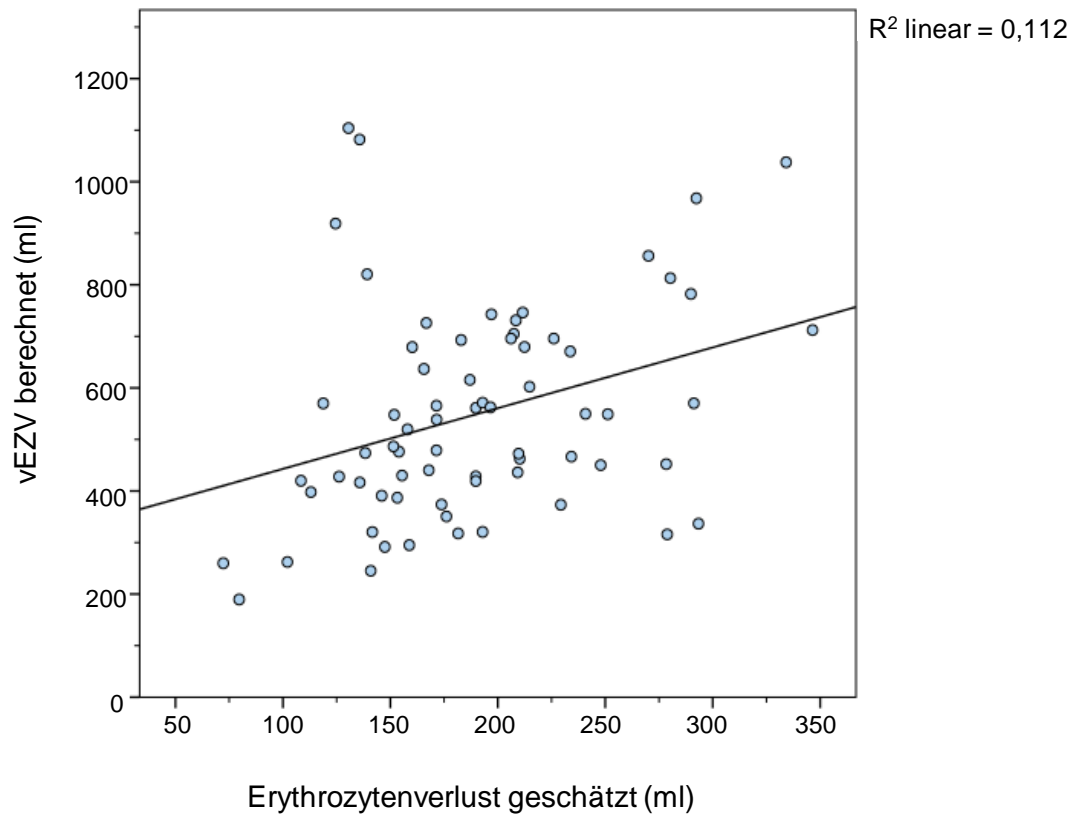


Abbildung 16: Signifikante lineare Regressionsgleichung von berechnetem vEZV und geschätztem vEZV ($F(1,67) = 8,45$; $p < 0.05$), ANOVA

3.2 Zusammenfassung der erhobenen Daten

In der nachfolgenden Tabelle 13 sind alle untersuchten Variablen in ihrer Auswirkung auf die Höhe des berechneten perioperativen vEZV in absteigender Reihenfolge dargestellt.

Tabelle 13: Einfluss der untersuchten Variablen auf den perioperativen berechneten Erythrozytenverlust mit Signifikanzniveau

Variable	perioperatives vEZV berechnet	p-Wert
EZV präop. > 1800 ml	+ 262 ml	p < 0.01*
männliches Geschlecht	+ 240 ml	p < 0.01*
Hb-Wert > 14 g/dl	+ 214 ml	p < 0.01*
Alter < 70 Jahre	+ 172 ml	p < 0.01*
Thrombozytenkonzentration präop. < 260 Tsd./ μ l	+ 140 ml	p < 0.05*
OP-Zeit > 70 Minuten	+ 112 ml	p < 0.05*
BMI > 25 kg/m ²	+ 93 ml	p = 0.054 ^{ns}
vEZV geschätzt > 180 ml	+ 92 ml	p = 0.061 ^{ns}
Blutgruppe A/B/AB	+ 52 ml	p = 0.717 ^{ns}
ASA Klasse 1 & 2	+ 44 ml	p = 0.393 ^{ns}
Allgemeinanästhesie	+ 5 ml	p = 0.927 ^{ns}

* signifikanter Unterschied

ns – nicht signifikant

4 Diskussion

4.1 Überblick

In der Endoprothetik großer Gelenke kommt es regelhaft zu klinisch relevantem BV mit daraus resultierender Anämie [93].

Die vorliegende Arbeit hat das Ziel, prä- und intraoperative patientenindividuelle Faktoren auf ihre prädiktive Rolle hinsichtlich eines erhöhten perioperativen Blut- und Erythrozytenverlustes zu untersuchen. Die damit verbundene bessere Abschätzung des zu erwartenden BV soll helfen, die Patientinnen und Patienten zu identifizieren, für die ein erhöhter BV mit einem erhöhten Anämie- und Transfusionsrisiko einhergeht.

Auf diese Weise kann das im PBM geforderte individuelle Transfusionsregime bereits präoperativ eingeschätzt und geplant werden.

Das EZV scheint ein geeigneter Wert zu sein, um den perioperativen BV vergleichend zu beurteilen, zum einen da in seine Berechnung mehrere patientenindividuelle Werte einfließen und zum anderen weil es sich um einen absoluten Wert handelt.

Im Folgenden sollen zunächst Limitationen der durchgeführten Datenerhebung und die verwendete Methode zur Berechnung des perioperativen Erythrozytenverlustes besprochen werden. Weiter erfolgt die Analyse der erfassten patientenindividuellen Faktoren auf ihren prädiktiven Wert hinsichtlich der Höhe des Erythrozytenverlustes.

4.2 Diskussion der Methode und ihrer Limitationen

Die Anzahl von 69 Patientinnen und Patienten wurde gewählt, um im Rahmen der deskriptiven Untersuchung klinisch relevante Unterschiede zwischen den Gruppen zu erfassen. Für weitergehende, multifaktorielle Analysen war die Zahl der Patientinnen und Patienten zu gering. Hierfür sollte in weiteren Arbeiten eine größere Anzahl an Patientinnen und Patienten gewählt werden.

Die Angaben von Körpergröße und Gewicht beziehen sich auf Patientenangaben im Rahmen der stationären Aufnahme und sind nicht vollständig valide.

In dieser Arbeit wurde keine Hausmedikation mit möglichem Einfluss auf die Blutgerinnung erfasst. Es ist allerdings anzunehmen, dass eine bestehende Antikoagulation vor dem elektiven Eingriff, nach klinikeigenem Standard, entsprechend pausiert wurde.

Postoperativ wurden alle Patientinnen und Patienten für ein bis zwei Tage mit unfraktioniertem Heparin subkutan gewichtsadaptiert prophylaktisch antikoaguliert und anschließend, bei fehlenden Kontraindikationen, auf ein niedermolekulares Heparin umgestellt. Eine frühzeitige, bei entsprechenden Vorerkrankungen notwendige therapeutische Antikoagulation wurde nicht erfasst.

Eine prophylaktische, präoperative Gabe von Tranexamsäure wurde zum Zeitpunkt der Datenerhebung noch nicht standardmäßig durchgeführt.

Zur Abschätzung des perioperativen BV werden regelhaft Formeln verwendet, die unter Einbeziehung von individuellem Blutvolumen sowie von prä- und postoperativen Hb-Werten oder Hkt-Werten eine näherungsweise Berechnung des Blut- oder Erythrozytenverlustes ermöglichen.

Für die Berechnung des Blutvolumens wurde in dieser Arbeit die Formel nach Nadler [69] genutzt. Diese ist insbesondere in Verbindung mit der Mercuriali-Formel zur Berechnung des EZV etabliert und wird in den zitierten Arbeiten häufig verwendet.

Für die Formel von Moore [67] und für die Formel des International Council for Standardization in Haematology [76] konnten Lopez-Picado et al. in einer 2017 veröffentlichten Arbeit keine signifikanten Unterschiede zur Formel von Nadler feststellen [58].

Eine weitere Alternative zur Berechnung des Blutvolumens ist die Formel von Lemmens-Bernstein-Brodsky. Sie scheint insbesondere für Patientinnen und Patienten mit einem höheren BMI genauer zu sein [90], wurde aber in keiner der zitierten Arbeiten verwendet.

Für die Berechnung des perioperativen BV gibt es eine Vielzahl an beschriebenen Formeln. In der vorliegenden Arbeit wird die Formel von Mercuriali [64] verwendet, die den perioperativen Erythrozytenverlust auf Basis des prä- und postoperativen Hkt-Wertes am fünften Tag nach OP berechnet. Mit diesen eindeutigen Zeitangaben ist die Formel einfach zu reproduzieren und die Ergebnisse sind für vergleichende Studien gut geeignet [38].

In den anderen, häufig verwendeten Formeln ist der Zeitpunkt der notwendigen postoperativen Laborwerte, meist Hb oder Hkt, unklar definiert und eine Vergleichbarkeit dadurch eingeschränkt. Erfolgte die Abnahme der postoperativen Werte zu früh oder unmittelbar nach der OP, erscheint das Risiko für ungenaue Ergebnisse bei fehlender Normovolämie, z. B. nach erweiterter intraoperativer Infusionstherapie, erhöht.

Nach Mercuriali ist der BV am fünften postoperativen Tag abgeschlossen und der Patient normovoläm. Dies entspricht auch den Ergebnissen von Chen et al. [23], die bei 239

Patientinnen und Patienten nach OP zum Einsatz einer Knie- oder Hüftprothese den tiefsten Hkt-Wert am vierten postoperativen Tag zeigten.

So ist die Formel nach Mercuriali zwar nicht geeignet, den Blut- und Erythrozytenverlust unmittelbar postoperativ zu bestimmen, allerdings scheint sie verlässliche und vergleichbare Ergebnisse zur Beurteilung des gesamten perioperativen Verlustes zu ermöglichen.

4.3 Diskussion der Ergebnisse

4.3.1 Zusammenhang zwischen Geschlecht und Blutverlust

Im Jahr 2014 lag der Anteil von Frauen mit Hüftgelenkserstimplantation bei ca. 60 % [29]. Dem höheren Anteil liegt zum einen die höhere Prävalenz für Arthrose, als häufigste OP-Indikation, zum anderen die signifikant höhere Lebenserwartung von Frauen zu Grunde [82]. In der hier durchgeführten Datenerhebung lag der Anteil von Frauen bei 53,2 %.

Ist das Geschlecht ein Prädiktor für einen erhöhten perioperativen BV?

Es zeigte sich in der vorliegenden Arbeit bei den männlichen Personen ein signifikant höheres EZV (♂ MW 2171,5 ml, SD 310,22 ml; ♀ MW 1546,59 ml, 285,98 ml; $p < 0.01$) und ein signifikant höherer absoluter BV (♂ MW 678,27 ml, SD 193,43 ml; ♀ MW 437,33 ml, 142,39 ml; $p < 0.01$), der durchschnittlich 240 ml höher war.

Dieses Ergebnis entspricht den Daten von Pola et al. [78], die ebenfalls, unter der Anwendung der Mercuriali-Formel, einen signifikant erhöhten BV bei den männlichen Personen feststellen konnten. Guerin et al. [44] konnten unter Betrachtung der intraoperativen Schätzung und der postoperativen Drainageverluste ebenfalls bei Männern einen höheren BV beobachten.

Im Gegensatz dazu konnten Carling et al. [20] bei der Untersuchung des BV von 114 Patientinnen und Patienten mit Hüftprothesenimplantation für das weibliche Geschlecht ein erhöhtes Risiko für einen erhöhten BV ($> 12,7$ ml/kg) feststellen (OR 3.39, $p > 0.01$). Die Vergleichbarkeit mit den vorliegenden Daten ist sicher eingeschränkt, da bei den Berechnungen von Carling et al. als Endpunkt der unmittelbar postoperativ bestimmte Hkt verwendet wurde.

Bei Bell et al. [11] zeigte sich bei Betrachtung des Hb-Abfalls von 703 Patientinnen und Patienten nach Hüftprothesenimplantation kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern.

Auch wenn es Hinweise auf einen erhöhten perioperativen BV bei Männern gibt, scheint dies kein erhöhtes Transfusionsrisiko zu bedeuten. Im Gegenteil, in mehreren Studien konnte dieses Risiko für das weibliche Geschlecht klar gezeigt werden [14, 35, 95]. Dieser Widerspruch lässt sich durch das bei Männern erhöhte EZV und einen erhöhten Hb-Wert [96] erklären.

In dieser Arbeit zeigte sich bei den männlichen Personen ein signifikant höherer BV ($p < 0.01$; Abbildung 3), der relative BV jedoch lag in beiden Geschlechtergruppen bei ca. 30 %. Dies bedeutet, dass weibliche Personen mit einem geringeren EZV, auch bei geringerem BV, häufiger in Bereiche kommen, die einen Transfusionstrigger darstellen. Dies erklärt auch das in der Literatur beschriebene erhöhte Transfusionsrisiko bei Frauen.

4.3.2 Der Body-Mass-Index und seine Auswirkungen auf den Blutverlust

Im Jahr 2017 betrug der Anteil von Menschen mit Übergewicht ($BMI > 25 \text{ kg/m}^2$) in Deutschland 53 %, bei 16 % lag eine Adipositas ersten Grades oder höher ($BMI > 30 \text{ kg/m}^2$) vor [28].

Auch bei der Stichprobe dieser Arbeit ergab sich ein durchschnittlicher BMI von $28,25 \text{ kg/m}^2$, eine Adipositas ersten oder höheren Grades war bei mehr als 30 % vorhanden.

Bei Patientinnen und Patienten mit erhöhtem BMI scheinen allgemein vermehrt postoperative Komplikationen nach Hüftgelenksimplantation aufzutreten. So beschreiben Goodnough et al. [42] sowie Barrett et al. [7] häufiger Prothesenfrühinfektionen und Zhang et al. [102] verweisen auf eine Zunahme an thromboembolischen Ereignissen. Phan et al. [77] beobachteten eine längere Intensivliegezeit.

Der BV bei Hüftendoprothesen ist bei einem erhöhten BMI häufig ebenfalls erhöht.

In der vorliegenden Arbeit war für Patientinnen und Patienten mit einem $BMI > 25 \text{ kg/m}^2$ ein Trend zu einem höheren BV von durchschnittlich 93 ml festzustellen ($p = 0.054$; Abbildung 5). Dieser Trend sollte in zukünftigen Arbeiten mit einer größeren Studiengruppe weiter untersucht werden.

Diese Aussage deckt sich mit den Ergebnissen von Yu et al. [101], die in einer Arbeit bei 113 Patientinnen und Patienten mit Hüftendoprothesenimplantationen ebenfalls eine Korrelation von BMI und BV beobachteten. Der BV wurde von Yu et al. anhand der Formel nach Gross berechnet.

Auch Bowditch et al. [13] zeigten einen erhöhten BV bei 80 Patientinnen und Patienten mit Hüftendoprothese bei einem BMI über 30 kg/m^2 , der Verlust war durchschnittlich um 380 ml erhöht. Hier wurde der BV allerdings lediglich als Summe von intraoperativer Schätzung und postoperativen Drainagevolumina bestimmt.

Ein erhöhter BMI bzw. ein erhöhtes Körpergewicht scheint allerdings keine erhöhten Transfusionsrisiken zu bedeuten. In der Arbeit von Frisch et al. [34] zeigten sich bei Knie- und Hüftprotheseneingriffen signifikant niedrigere Transfusionsraten in der Gruppe der Patientinnen und Patienten mit einem erhöhten BMI $< 25 \text{ kg/m}^2$ (34,8 % vs. 24,6 %). Im Umkehrschluss konnte in mehreren Arbeiten bei Patientinnen und Patienten mit niedrigerem BMI ein höheres Transfusionsrisiko nachgewiesen werden. Aderinto et al. [2] beobachteten bei 1016 Patientinnen und Patienten mit Hüftendoprotheseimplantation in der Gruppe mit einem BMI unter $26,5 \text{ kg/m}^2$ signifikant mehr Transfusionen ($p < 0.01$). Auch Carling et al. [20], Rashid et al. [83] sowie Salido et al. [85] zeigten für Knie- und Hüftendoprotheseneingriffe einen höheren Transfusionsbedarf bei Patientinnen und Patienten mit einem niedrigeren Körpergewicht.

Eine verlängerte OP-Zeit auf Grund anatomischer Schwierigkeiten bei adipösen Patientinnen und Patienten könnte möglicherweise ebenfalls zu einem erhöhten BV beitragen. Dies konnte in der vorliegenden Arbeit auf Grund einer zu geringen Zahl an Patientinnen und Patienten nicht weiter analysiert werden.

So scheint ein erhöhter BMI zwar ein Prädiktor für einen erhöhten perioperativen BV zu sein, ohne jedoch ein erhöhtes Transfusionsrisiko darzustellen. Dass sich diese Daten analog zu den Daten der vorliegenden Arbeit bezüglich des perioperativen BV bei erhöhtem präoperativen EZV verhalten, erscheint nur logisch, da Körpergröße und Körpergewicht in die Berechnung des Blutvolumens nach Nadler einfließen und ein erhöhter BMI auch ein erhöhtes EZV bedeutet.

4.3.3 Die Rolle des Alters und der ASA-Klassifikation beim perioperativen Blutverlust

Das Durchschnittsalter im untersuchten Patientenkollektiv lag im Median bei 70 Jahren. Dies entspricht in etwa der typischen Altersgruppe für die Hüftprothesenerstimplantation in Deutschland im Jahr 2019, hier bildeten die Patientinnen und Patienten zwischen 75 und 80 Jahren die größte Gruppe.

Ist ein höheres Alter auch ein Prädiktor für einen erhöhten BV? In der durchgeführten Untersuchung konnte das Alter als Prädiktor für einen erhöhten BV nicht bestätigt

werden. Im Gegenteil zeigte sich für die Patientenkohorte unter 70 Jahren ein signifikanter Zusammenhang mit einem erhöhten BV von durchschnittlich 172 ml ($p < 0.01$; Abbildung 4).

In der Literatur finden sich hierzu uneinheitliche Ergebnisse. So konnten Guerin et al. [44] bei einer Untersuchung an 162 Patientinnen und Patienten mit HEP keinen signifikanten Unterschied ($p < 0.1$) zwischen den Altersgruppen, mit dem Gruppenteiler 70 Jahre, feststellen. Allerdings wurde bei dieser Arbeit der BV lediglich als Summe aus intraoperativer Schätzung und Drainagevolumina erfasst. Bei Pola et al. [78] ergab sich in einer Untersuchung mit 85 Patientinnen und Patienten ein nicht signifikant höherer Erythrozytenverlust von durchschnittlich 217 ml ($p = 0.07$) für die Altersgruppe über 75 Jahre. Hier wurde der BV analog zur vorliegenden Arbeit nach Mercuriali berechnet.

Das gleiche Vorgehen ergab in einer Arbeit von Guo et al. [45] bei 212 Patientinnen und Patienten mit Teilendoprothese nach Schenkelhalsfraktur keine Korrelation von Alter und BV ($p = 0.213$).

Zwar scheint das Alter allein kein klarer Prädiktor für einen erhöhten BV zu sein, allerdings scheint der BV bei Hüftendoprothesen bei älteren Patientinnen und Patienten generell ein Risiko darzustellen. So konnten Hatzidakis et al. [47] bei 489 Patientinnen und Patienten mit Totalendoprothese ab dem 65. Lebensjahr ein erhöhtes Transfusionsrisiko zeigen (OR 2.8, $p = 0.02$). Browne et al. [14] ermittelten in einer Auswertung von 129 901 Patientinnen und Patienten mit HEP ein mit dem Alter zunehmendes Transfusionsrisiko, mit dem größten Risiko ab dem 85. Lebensjahr (OR 2.9, $p < 0.01$).

Bei Patientinnen und Patienten im fortgeschrittenen Lebensalter bestehen zumeist schon leichte oder schwere systemische Grunderkrankungen. Dies zeigt sich auch in der vorliegenden Untersuchung, in der bei 97 % der Patientinnen und Patienten eine Zuordnung zu den ASA-Klassifikationen 2 bis 3 erfasst wurde. Sowohl für das Alter als auch für den ASA-Status von 2 oder höher konnten generell in Bezug auf chirurgische [46] und speziell für endoprothetische Eingriffe [74] ein erhöhtes Risiko für perioperative Komplikationen und eine insgesamt höhere Mortalität nachgewiesen werden [50].

Zeigt sich bei höheren ASA-Klassen auch ein erhöhter BV?

In der vorliegenden Untersuchung konnte für Patientinnen und Patienten mit ASA-Klassifikation 3 kein signifikant höherer perioperativer Erythrozytenverlust gegenüber den Patientinnen und Patienten mit den ASA-Klassifikationen 1 und 2 festgestellt werden; der durchschnittliche Verlust war sogar um 44 ml geringer und nicht signifikant ($p = 0.307$; Abbildung 6).

In der Literatur finden sich wenige Daten, die den Zusammenhang von BV in der Hüftgelenksendoprothetik und der ASA-Klassifikation untersuchen. Pola et al. [78] zeigten bei Patientinnen und Patienten mit arterieller Hypertonie, also mindestens ASA-Klasse 2, einen signifikant höheren Erythrozytenverlust von durchschnittlich 233 ml ($p = 0.02$). In einer häufig zitierten Untersuchung von Grosflam et al. [43] aus dem Jahr 1995 wurde bei 295 Patientinnen und Patienten mit HEP für die ASA-Klassifikation von 3 oder höher ein signifikant erhöhter BV beschrieben. Durch die von Grosflam et al. beschriebenen unterschiedlichen Erfahrungen der Operateurinnen und Operateure sind die von ihnen erhobenen Daten vermutlich nur eingeschränkt mit den aktuellen Daten vergleichbar. Zwischen ihrer und der vorliegenden Untersuchung liegt eine Zeitspanne von 20 Jahren, sodass mit dem zwischenzeitlichen technischen Fortschritt in der Endoprothetik von unterschiedlichen Voraussetzungen ausgegangen werden muss.

Vergleichbar mit dem Alter ergab sich in mehreren Studien bei höherer ASA-Klassifikation auch eine steigende Transfusionswahrscheinlichkeit. So zeigten Browne et al. [14] bei ein oder mehreren Vorerkrankungen und Ahmed et al. [4] bei einer ASA-Klassifikation über 3 ein deutlich erhöhtes Transfusionsrisiko bei Endoprothesenimplantationen. Ein Grund hierfür ist sicher auch der niedrigere Transfusionstrigger z. B. bei Patientinnen und Patienten mit einer koronaren Herzerkrankung oder mit cerebrovasculären Erkrankungen.

So ist anzunehmen, dass ein höherer ASA-Status nicht unbedingt mit einem höheren BV bei Hüftendoprothesen verbunden ist, aber generell ein Risiko darstellt.

4.3.4 Einfluss der ABO-Blutgruppen auf den perioperativen BV

Bei Menschen mit der Blutgruppe 0 werden im Durchschnitt 25 bis 30 % niedrigere Konzentrationen des Von-Willebrand-Faktors gemessen als bei den Blutgruppen A, B und AB [68, 70, 72]. Die Synthese des Von-Willebrand-Faktors erfolgt sowohl in den Megakaryozyten als auch in den Endothelzellen der Gefäßintima. Er erfüllt im Rahmen der Hämostase wichtige Funktionen bei Thrombozytenadhäsion und Thrombozytenaggregation sowie bei der Bindung und Stabilisierung des Faktors VIII [8]. Es gibt Hinweise darauf, dass Menschen mit der Blutgruppe 0 eine niedrigere Inzidenz für tiefe Venenthrombosen haben [98], aber auch eine verlängerte Blutungszeit zeigen [19].

Ob die Blutgruppe bei Patientinnen und Patienten mit Hüftendoprothesen eine Auswirkung auf den BV hat, wurde von Alberth et al. [5] untersucht. Es wurde der BV, als Summe von intraoperativer Schätzung und postoperativen Drainageverlusten, bei 298 Patientinnen und Patienten mit Hüftgelenkersatz erfasst. Ein erhöhter BV bei

Patientinnen und Patienten mit Blutgruppe 0 konnte nicht gezeigt werden, der Verlust war im Durchschnitt lediglich um 5 ml erhöht. Auch Komatsu et al. [56] konnten bei einer Untersuchung großer Wirbelsäuleneingriffe bei Patientinnen und Patienten mit der Blutgruppe 0 keine signifikante Korrelation mit einem verstärkten BV feststellen.

In der vorliegenden Untersuchung zeigte sich bei Patientinnen und Patienten mit der Blutgruppe 0 ebenfalls kein signifikant erhöhter BV im Vergleich mit den Blutgruppen A, B und AB ($p = 0.68$; Abbildung 14). So gibt es aus den hier verfügbaren Daten bisher keine Hinweise darauf, dass die Blutgruppe 0 einen Prädiktor für einen erhöhten perioperativen BV bei Hüftendoprothesen darstellt.

4.3.5 Einfluss des präoperativen Thrombozytenkonzentrationswertes auf den Blutverlust

Bei Patientinnen und Patienten mit niedrigen präoperativen Thrombozytenkonzentrationswerten zeigten sich häufig erhöhte BV sowie ein erhöhtes Transfusionsrisiko. Chow et al. [24] konnten dies bei Wirbelsäulenoperationen für Thrombozytenkonzentrationswerte unter 100 Tsd./ μl (OR 4.88, $p = 0.006$), aber auch schon bei Werten zwischen 100 und 150 Tsd./ μl (OR 2.02, $p = 0.047$) zeigen. Glance et al. [39] konnten ebenfalls ein erhöhtes Transfusionsrisiko bei milden Thrombozytopenien mit Werten zwischen 100 und 150 Tsd./ μl für nichttherapeutische Eingriffe nachweisen.

Für endoprothetische Eingriffe beschreiben Monreal et al. [66] bei Patientinnen und Patienten mit hohem BV präoperativ signifikant niedrigere, aber normwertige Thrombozytenkonzentrationswerte. Einen hohen BV definierten sie ab der Gabe von zwei Erythrozytenkonzentraten, einem postoperativen Hb-Wert unter 8 g/dl innerhalb acht Tagen nach OP oder einem Hb-Abfall um 5 g/dl.

Malpani et al. [59] beschreiben in einer großen Multicenter-Studie bei 86 845 Patientinnen und Patienten mit Hüftendoprothese ein generell erhöhtes Risiko für perioperative Komplikationen für Patientinnen und Patienten mit Thrombozytenkonzentrationswerten unter 142 Tsd./ μl , aber auch über 417 Tsd./ μl .

Alle in der vorliegenden Arbeit untersuchten Patientinnen und Patienten weisen präoperativ normale Thrombozytenkonzentrationswerte auf. Jedoch zeigte sich für die Patientinnen und Patienten mit einem präoperativen Thrombozytenkonzentrationswert unter 260 Tsd./ μl ein signifikant höherer perioperativer Erythrozytenverlust um durchschnittlich 140 ml ($p < 0.05$; Abbildung 9).

In den beschriebenen Arbeiten wurden die Thrombozyten stets rein quantitativ betrachtet, möglicherweise scheint die qualitative Betrachtung der Thrombozytenfunktion in diesem Zusammenhang zielführender. Es gibt Hinweise, dass OPs mit relevantem BV einen Einfluss auf die Thrombozytenfunktion haben könnten [48].

Eine präoperative Einnahme von Thrombozytenfunktionshemmern wurde in der vorliegenden Arbeit nicht erfasst. Die Hausmedikation von kardiovaskulären Risikopatientinnen und -patienten mit Aspirin oder Clopidogrel zur Thrombozytenaggregationshemmung scheint bei der operativen Versorgung weder bei der operativen Versorgung einer Schenkelhalsfraktur [26, 71] noch bei der Implantation von Knie- oder Hüftprothesen eine Auswirkung auf den perioperativen BV zu haben [61].

Präoperativ niedrige, aber normwertige Thrombozytenkonzentrationswerte scheinen einen Einfluss auf den BV bei Endoprothesen zu haben. Dies sollte in zukünftigen Arbeiten auch im Hinblick auf die qualitative Betrachtung der Thrombozytenfunktion untersucht werden.

4.3.6 Der präoperative Hb-Wert und das präoperative Erythrozytenvolumen

Der präoperative Hb-Wert ist ein im klinischen Alltag häufig verwendeter Prädiktor für ein perioperatives Transfusionsrisiko [20, 25, 44, 55]. Eine bereits präoperativ bestehende Anämie gilt als einer der stärksten Risikofaktoren für eine perioperative Transfusion [65], Komplikationen [31] und eine erhöhte Mortalität [93].

Hatzidakis et al. [47] konnten bereits bei einem präoperativen Hb-Wert unter 13 g/dl ein 5,6-fach erhöhtes Transfusionsrisiko bei Endoprothese der unteren Extremitäten zeigen ($p < 0.01$). Patientinnen und Patienten mit einem präoperativen Hb-Wert über 15 g/dl benötigten in dieser Arbeit keine Transfusion.

In einer anderen Arbeit beobachteten Aderinto et al. [2] bei 1016 Patientinnen und Patienten mit Hüftendoprothese bei einem Hb-Wert unter 12 g/dl ein dreifach erhöhtes Risiko einer Transfusion ($p < 0.01$).

Während der präoperative Hb-Wert als Prädiktor für ein erhöhtes perioperatives Transfusionsrisiko, speziell in der Endoprothetik, häufig untersucht wurde, ließen sich in der vorliegenden Studie für den Hb-Wert als Prädiktor für einen erhöhten BV wenig Daten finden.

Li et al. [57] beobachteten für Hüftendoprothesenimplantationen bei 243 Patientinnen und Patienten mit ankylosierender Spondylitis einen signifikant erhöhten BV bei höheren Hb-Werten ($p < 0.01$). In dieser Arbeit wurde der BV, analog zur vorliegenden Untersuchung, ebenfalls anhand der Mercurali-Formel berechnet. Auffällig ist, dass im Vergleich, ein allgemein deutlich größerer BV registriert wurde: 30 % der Patientinnen und Patienten hatten einen BV > 1500 ml.

Auch in der vorliegenden Arbeit war für Patientinnen und Patienten mit einem präoperativen Hb-Wert über 14 g/dl ein signifikant höherer Erythrozytenverlust von durchschnittlich 214 ml zu messen ($p < 0.01$; Abbildung 10).

Für ein präoperativ zirkulierendes EZV über 1800 ml konnte hier ebenfalls ein signifikant höherer Erythrozytenverlust, im Durchschnitt von 262 ml, aufgezeigt werden ($p < 0.01$; Abbildung 12).

Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit dem gemessenen erhöhten Erythrozytenverlust bei den männlichen Personen, die im Gegensatz zu den weiblichen Personen ebenfalls einen erhöhten Hb-Wert und ein erhöhtes EZV zeigten.

Ein erhöhtes Transfusionsrisiko scheint aus einem erhöhten BV nicht ableitbar zu sein, da der bereits erwähnten Literatur nach Patientinnen und Patienten mit einem höheren Hb-Wert in der Regel keine Transfusion benötigen. Auch in einer Datensammlung an unserer Klinik konnte bei 700 Patientinnen und Patienten mit Knie- oder Hüftendoprothese gezeigt werden, dass ab einem präoperativen EZV von 1800 ml zuverlässig keine perioperative Transfusion erforderlich ist.

Weiter wurden in der vorliegenden Arbeit das präoperative EZV und der präoperative Hb-Wert auf ihre Aussagekraft hinsichtlich eines erhöhten perioperativen BV mittels einer Regressionsgleichung verglichen (Abbildung 11,13). In beiden Fällen wurde eine signifikante Regression gefunden, jedoch für das präoperative EZV mit einer wesentlich besseren positiven Korrelation ($r^2 = 0.59$) als für den präoperativen Hb-Wert ($r^2 = 0.45$). Dies zeigt, dass das präoperative EZV durch Berücksichtigung von weiteren patientenindividuellen Daten im Vergleich zum präoperativen Hb-Wert besser geeignet ist, den perioperativen BV vorauszusagen.

4.3.7 Das verwendete Anästhesieverfahren und seine Auswirkung auf den Blutverlust

Die Rolle des Anästhesieverfahrens in der Endoprothetik ist regelhaft Bestandteil wissenschaftlicher Diskussionen. In der 2019 veröffentlichten großen Übersichtsarbeit und Metaanalyse ICAROS (International Consensus on Anaesthesia Related Outcomes after Surgery) [63] wurden neuroaxiale Verfahren und Allgemeinanästhesie im Hinblick auf postoperative Komplikationen verglichen. Die Autoren beobachteten bei Hüft- und Knieprothesen unter neuroaxialer Anästhesie die Reduktion von postoperativen Komplikationen und einer verringerten Mortalität. Es wird eine starke Empfehlung zur Anwendung von neuroaxialen Verfahren bei Hüft- oder Knieprothesen ausgesprochen.

Der BV wurde in dieser Veröffentlichung nicht explizit erwähnt.

In der Literatur wurde der Einfluss des Anästhesieverfahrens auf den perioperativen BV bzw. auf das Transfusionsrisiko in der Endoprothetik großer Gelenke in zahlreichen Publikationen mit uneinheitlichen Ergebnissen untersucht.

Eine Arbeit von Maurer et al. ergab einen um 15 % geringeren geschätzten intraoperativen BV unter Spinalanästhesie [60].

Bei Park et al. wurde das Anästhesieverfahren mit einem berechneten Erythrozytenverlust (Formel nach Rosencher) bei Hüftendoprothesen verglichen und es zeigte sich ein signifikant geringerer BV ($p < 0.01$) bei OPs unter Spinalanästhesie [75]. Die Forschenden erklären dies anhand der durch die Spinalanästhesie bedingten Sympatikolyse mit einem verminderten peripheren Widerstand besonders im venösen Schenkel und dem damit verbundenen Blutdruckabfall. Dies führe zu einem langsameren BV, der besser zu kontrollieren sei.

Auch Eroglu et al. [33] zeigten für Hüftendoprothesen unter Spinalanästhesie einen geringeren BV, wobei hier der BV lediglich über den intraoperativen Saugerinhalt, die gewogenen Tupfer und die postoperativen Drainagemenge bestimmt wurde. Die Autoren diskutieren als Gründe einen erniedrigten zentralvenösen Druck bei fehlendem PEEP unter Spontanatmung bei Spinalanästhesie.

Basques et al. konnten bei einem Kollektiv von über 20 000 Patientinnen und Patienten einen erhöhten Transfusionsbedarf bei Patientinnen und Patienten mit Hüftendoprothese unter Allgemeinanästhesie zeigen [9].

In einer Metaanalyse von fünf randomisierten kontrollierten Studien konnten Pu et al. [80] keinen signifikanten Unterschied zwischen den Verfahren bezüglich der Höhe des perioperativen BV bei Hüftendoprothesen nachweisen.

In der vorliegenden Arbeit ergab sich ebenfalls kein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Anästhesieverfahren im Hinblick auf das verlorene EZV ($p = 0.93$; Abbildung 7). Somit scheint das Anästhesieverfahren zwar einen Einfluss auf die Häufigkeit von postoperativen Komplikationen zu haben, es wirkt sich jedoch nicht eindeutig auf die Höhe des perioperativen BV aus.

4.3.8 Die Auswirkung der Operationsdauer auf den Blutverlust

In der Literatur gibt es Hinweise darauf, dass bei endoprothetischen OPs die zeitliche Länge des Eingriffs in Zusammenhang mit der Höhe des perioperativen BV steht. Häufig wurde dies über eine Korrelation von OP-Zeit (Dauer des Eingriffes) und Transfusionsrisiko untersucht. Für Knie- und Hüftendoprothesen konnten mehrere Arbeiten einen Zusammenhang zeigen. So war in der Arbeit von Frisch et al. [35] eine um 40 Minuten längere OP-Zeit mit einer erhöhten Rate an Transfusionen verbunden (OR 1.25, $p = 0.29$). Auch bei Rashiq et al. [83] zeigten sich bei den transfundierten Patientinnen und Patienten signifikant längere OP-Zeiten (98 Minuten vs. 75 Minuten, $p < 0.01$).

Die Rolle des perioperativen bzw. intraoperativen BV wurde in den Arbeiten von Hrnack et al. [52], Ross et al. [84] und Prasad et al. [79] untersucht.

Bei Hrnack et al. zeigte sich eine positive Korrelation von OP-Zeit und BV ($p < 0.01$) bei Hüftendoprothesen: Pro Minute erhöhte sich der intraoperative BV um 1,5 ml. Auffällig ist, dass die durchschnittliche OP-Zeit mit 134 Minuten deutlich über den hier vorliegenden Daten (75 Minuten) liegt.

Ross et al. ermittelten ebenfalls eine positive Korrelation von OP-Zeit und perioperativen Erythrozytenverlust ($p < 0.01$) bei Hüftendoprothesen, der Verlust wurde anhand der Formel von Rosencher berechnet. Die durchschnittliche Zeit von 74 Minuten ist mit den Zeiten aus der hier untersuchten Klinik vergleichbar. Der berechnete durchschnittliche Verlust liegt mit 742 ml jedoch deutlich höher und erklärt die hohe Transfusionsrate (17,8 %).

Prasad et al. konnten bei Knieendoprothesen ebenfalls einen signifikant höheren perioperativen BV, berechnet nach der Gross-Formel, feststellen ($p < 0.01$).

Analog zu diesen Ergebnissen zeigten auch in dieser Arbeit die Patientinnen und Patienten mit einer OP-Zeit > 70 Minuten einen statistisch signifikant erhöhten perioperativen Erythrozytenverlust von durchschnittlich 112 ml ($p < 0.05$; Abbildung 8).

So ergeben sich für endoprothetische Eingriffe klare Hinweise, dass eine verlängerte OP-Zeit auch mit einem erhöhten BV einhergeht.

Unklar bleibt, ob erhöhter BV und Transfusionsbedarf eine direkte Folge der Länge der OP mit einem in der Zeit konstanten BV ist oder ob im Umkehrschluss ein höherer BV z. B. aus chirurgischen Komplikationen resultiert, indem die operative Zeit verlängert wird.

4.3.9 Stellenwert der intraoperativen Schätzung des Blutverlustes?

Die im klinischen Alltag übliche Schätzung des intraoperativen BV erfolgt typischerweise unter Beachtung von Saugerinhalt, OP-Tüchern und dem Blut auf dem Boden. Die Schätzgenauigkeit gilt als unzuverlässig und der BV wird oft unterschätzt [16]. Insbesondere die Einschätzung des BV auf dem Boden sowie bei einem größeren BV ab 500 ml scheint schwierig [92]. Die Berufserfahrung hat zumindest bei Anästhesisten keinen Einfluss auf die Schätzgenauigkeit [3, 37]. Sehat et al. konnten zeigen, dass der BV bei endoprothetischem Hüftgelenksersatz um den Faktor 1,3 höher ist als die rein visuelle Einschätzung [88].

Hierfür scheint es verschiedene Gründe zu geben. Durch Spülflüssigkeit verdünntes Blut wird überschätzt, volle Kompressen werden eher unterschätzt [62]. Dildy et al. konnten allerdings zeigen, dass sich diese visuelle Schätzgenauigkeit durch eine einfache Schulung verbessern lässt und auch ein relevanter BV zuverlässiger erkannt wird [30].

Weitere Methoden zur Abschätzung des intraoperativen BV wurden in einer Metaanalyse von Gerdessen et al. [36] untersucht. Die Forschenden konnten sowohl für gravimetrische Verfahren als auch insbesondere für colorimetrische Verfahren eine deutlich höhere Korrelation zum Referenzwert als bei der rein visuellen Schätzung zeigen. Das gravimetrische Verfahren durch Wiegen von Tupfern und Abzug des Trockengewichts erscheint im klinischen Alltag allerdings unpraktikabel und das Risiko für Ungenauigkeiten z. B. durch intraoperative Spülungen erhöht. Das colorimetrische Verfahren mittels einer Smartphone-Applikation ist als anwenderfreundlich und besser in den klinischen Alltag integrierbar zu erachten.

Das tatsächliche Ausmaß des perioperativen BV bei Hüftgelenksersatz wird durch eine Reihe von Faktoren beeinflusst. Diese sind intraoperativer Verlust, Drainageverluste, Infusionstherapie und Wundhämatome.

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass die Schätzung des intraoperativen BV diese Faktoren in ihrer Gesamtheit nur unzureichend erfasst, was die geringe Korrelation von $vEZV_geschätzt$ mit $vEZV_berechnet$ erklärt ($r^2 = 0.11$; Abbildung 16).

Der berechnete perioperative BV war um den Faktor 3 höher als die intraoperative Schätzung.

4.4 Klinische Schlussfolgerungen

- Der perioperative Erythrozytenverlust bei Hüftendoprothesen lässt sich durch das präoperativ berechnete EZV verlässlicher vorhersagen als durch das präoperative Hb. Ein Grund ist vermutlich die Berücksichtigung weiterer individueller Faktoren wie Geschlecht und Körpergewicht bei der Berechnung des EZV.
Der berechnete perioperative BV ist gegenüber der intraoperativen Schätzung um den Faktor 3 größer, die Schätzung korreliert nur schwach mit dem perioperativen BV und unterschätzt diesen.
- Prädiktoren für einen höheren perioperativen BV sind das männliche Geschlecht, ein erhöhter präoperativer Hb-Wert, ein erhöhtes präoperatives EZV, ein erhöhter BMI, ein Alter unter 70 Jahren und ein niedrignormaler präoperativer Thrombozytenkonzentrationswert.
- Zwischen den Blutgruppen, den Anästhesieverfahren und den ASA-Klassifikationen zeigt sich kein signifikant unterschiedlicher perioperativer BV.

5 Zusammenfassung

Die elektive Implantation einer Hüftendoprothese ist in Deutschland einer der am häufigsten durchgeführten operativen Eingriffe. Hierbei kommt es regelhaft zu einem relevanten BV mit einem erhöhten Anämie- und Transfusionsrisiko.

Zur Etablierung und Verbesserung eines individuellen Transfusionsregimes ist es notwendig, die Patientinnen und Patienten mit einem erhöhten Transfusionsrisiko bereits präoperativ zu erkennen. Hierzu zählt auch eine Abschätzung des zu erwartenden BV.

In der vorliegenden Arbeit wurden perioperative patientenindividuelle Faktoren und ihr Einfluss auf den perioperativen BV untersucht. Des Weiteren wurde analysiert, inwieweit die Schätzung des intraoperativen BV durch die Anästhesistin oder den Anästhesisten den tatsächlichen perioperativen BV erfasst. Auf Grundlage des berechneten verlorenen EZV erfolgte bei 69 Patientinnen und Patienten die Analyse dieser Faktoren im Hinblick auf ihren prädiktiven Wert für einen erhöhten perioperativen Erythrozytenverlust.

Für Patientinnen und Patienten mit einem präoperativen EZV über 1800 ml, männliche Personen, einen präoperativen Hb-Wert höher als 14 g/dl und ein Alter unter 70 Jahren zeigte sich ein signifikant erhöhter berechneter perioperativer BV ($p < 0.01$).

Für präoperative Thrombozytenkonzentrationen über 260 Tsd./ μ l und eine OP-Zeit über 70 Minuten ergab sich ein signifikant erhöhter berechneter perioperativer BV ($p < 0.05$).

Für die Blutgruppen, die ASA-Klassifikation, den BMI und das Anästhesieverfahren war kein signifikant erhöhter berechneter perioperativer BV festzustellen ($p > 0.05$).

Der perioperative BV ist gegenüber der intraoperativen Schätzung um den Faktor 3 größer, die Schätzung korreliert nur schwach mit dem perioperativen BV und unterschätzt diesen.

Das präoperative EZV ist, bei Berücksichtigung weiterer patientenindividueller Daten, im Vergleich zum präoperativen Hb-Wert besser geeignet, den perioperativen BV vorauszusagen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit tragen dazu bei, den zu erwartenden perioperativen BV bei der Implantation einer Hüftendoprothese besser abschätzen zu können, und leisten so einen Beitrag zur Etablierung eines individuellen Transfusionsregimes.

In zukünftigen Arbeiten sollte in einer größeren Studienpopulation der prädiktive Einfluss von patientenindividuellen Faktoren auf den perioperativen BV bei endoprothetischem Hüftgelenkersatz weiter untersucht werden.

6 Summary

The elective implantation of a hip endoprosthesis is one of the most frequently performed surgical procedures in Germany. This usually results in relevant blood losses with an increased risk of anemia and transfusion.

In order to establish and improve an individual transfusion regime, it is necessary to identify patients with an increased transfusion risk already preoperatively. This includes an estimation of the expected blood loss.

In the present study I have investigated perioperative patient-specific factors and their influence on perioperative blood loss. Furthermore, I investigated to what extent the anesthesiologist's estimate of intraoperative blood loss captures the actual perioperative blood loss. Based on the calculated lost red blood cell volume, these factors were analyzed in 69 patients with regard to their predictive value for increased perioperative red blood cell loss.

For patients with a preoperative erythrocyte volume above 1800 ml, male patients, a preoperative Hb-value above 14 g/dl, and a patient age below 70 years, there was a highly significant increase in calculated perioperative blood loss ($p < 0.01$).

For preoperative platelet concentrations greater than 260 thousand/ μ l and an operating time longer than 70 minutes, there was a significantly increased calculated perioperative blood loss ($p < 0.05$).

For blood groups, ASA classification, and anesthesia procedure, there was no significantly increased calculated perioperative blood loss ($p > 0.05$).

Compared to the intraoperative estimate, the perioperative blood loss is larger by factor three, and the estimate is only weakly correlated with and underestimates the perioperative blood loss.

The preoperative erythrocyte volume is better able to predict the perioperative blood loss compared to the preoperative Hb-value when additional patient-specific data are considered.

The results of the present study contribute to a better estimation of the expected perioperative blood loss during implantation of a hip endoprosthesis and thus contribute to the establishment of an individual transfusion regimen.

In future studies, the predictive influence of patient-specific factors on perioperative BV in endoprosthetic hip replacement should be further investigated in a larger study population.

Abkürzungsverzeichnis

ASA =	American Society of Anesthesiologists
BG =	Blutgruppe
BMI =	Body-Mass-Index
BV =	Blutverlust
CSE =	kombinierte Spinal- und Epiduralanästhesie
EZV =	Erythrozytenvolumen
Hb-Wert =	Hämoglobin-Wert
HEP =	Hüftendoprothese
Hkt =	Hämatokrit
MCV =	mean corpuscular volume
MW =	Mittelwert
ns =	nicht signifikant
PBM =	Patient-Blood-Management
PEEP =	positive end-expiratory pressure
SD =	Standardabweichung
ScvO ₂ =	zentralvenöse O ₂ -Sättigung
SvO ₂ =	gemischtvenösen O ₂ -Sättigung
vEZV =	verlorenes Erythrozytenvolumen
WHO =	World Health Organization

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fallbeispiel des berechnetes EZV nach Mercuriali und des individuellen Verlustes bei zwei Personen mit einem BV von 1000 ml und gleichem Ausgangshämoglobin- bzw. Hkt-Wert.	8
Abbildung 2: Boxplot prä- und postoperatives EZV Mann/Frau	19
Abbildung 3: Boxplot berechnetes vEZV getrennt nach Geschlecht Mann/Frau.	20
Abbildung 4: Boxplot erhöhtes berechnetes vEZV in den Altersgruppen über und unter 70 Jahren.....	21
Abbildung 5: Boxplot berechnetes vEZV und BMI über und unter 25 kg/m ²	22
Abbildung 6: Boxplot berechnetes vEZV in den ASA-Gruppen 1 und 2 sowie in der ASA Gruppe 3.	23
Abbildung 7: Boxplot berechnetes vEZV in Allgemeinanästhesie und in CSE-Technik.....	24
Abbildung 8: Boxplot berechnetes vEZV in den Gruppen mit einer OP-Zeit über und unter 70 Minuten.	25
Abbildung 9: Boxplot berechnetes vEZV und präoperativen Thrombozytenkonzentration über und unter 260 Tsd./ μ l.	26
Abbildung 10: Boxplot berechnetes vEZV bei präoperativem Hb-Wert < 14 g/dl und > 14 g/dl	28
Abbildung 11: Signifikante lineare Regression von vEZV und präoperativem Hb ($F(1,67) = 55,37$; $p < 0.01$), ANOVA	29
Abbildung 12: Boxplot berechnetes vEZV bei einem präoperatives EZV über und unter 1800 ml.	30
Abbildung 13: Signifikante lineare Regression von vEZV berechnet und präoperativem	31
Abbildung 14: Boxplot berechnetes vEZV in den Blutgruppenklassen 0 und A/B/AB.....	32
Abbildung 15: Boxplot berechnetes vEZV und einem intraoperativen geschätzten vEZV von über und unter 180 ml.	35
Abbildung 16: Signifikante lineare Regressionsgleichung von berechnetem vEZV und geschätztem vEZV ($F(1,67) = 8,45$; $p < 0.05$), ANOVA	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Empfehlung zur Transfusion von Erythrozytenkonzentraten bei akuter Anämie	5
Tabelle 2:	ASA-Klassifikation der American Society of Anesthesiologists.....	11
Tabelle 3:	Adipositas-Klassifikation (WHO 2008) nach BMI	11
Tabelle 4:	Erhobene prä- und intraoperative Daten und verwendete Gruppenteiler	15
Tabelle 5:	Berechnetes Blutvolumen, Anzahl der Patientinnen und Patienten (N), Minimum, Maximum, Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD)....	17
Tabelle 6:	Prä- und postoperativ berechnetes EZV, berechnetes verlorenes EZV (vEZV) und sein relativer Anteil (%) am präoperativen EZV – gesamt	18
Tabelle 7:	Prä- und postoperativ berechnetes EZV, berechnetes verlorenes EZV (vEZV) und sein relativer Anteil (%) am präoperativen EZV – Frauen.....	18
Tabelle 8:	Prä- und postoperativ berechnetes EZV, berechnetes verlorenes EZV (vEZV) und sein relativer Anteil (%) am präoperativen EZV – Männer....	18
Tabelle 9:	Hb-Wert präoperativ, Anzahl der Patientinnen und Patienten (N), Minimum, Maximum, Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD)....	27
Tabelle 10:	Intraoperativ geschätzter BV, geschätzter und berechneter Verlust an EZV (vEZV_geschätzt, vEZV_berechnet) und relativer Anteil von geschätztem und berechnetem Erythrozytenverlust (vEZV_geschätzt relativ %, vEZV_berechnet relativ %) am präoperativen EZV – gesamt..	33
Tabelle 11:	Intraoperativ geschätzter BV, geschätzter und berechneter Verlust an EZV (vEZV_geschätzt, vEZV_berechnet) und relativer Anteil von geschätztem und berechnetem Erythrozytenverlust (vEZV_geschätzt relativ %, vEZV_berechnet relativ %) am präoperativen EZV – Frauen ..	33
Tabelle 12:	Intraoperativ geschätzter BV, geschätzter und berechneter Verlust an EZV (vEZV_geschätzt, vEZV_berechnet) und relativer Anteil von geschätztem und berechnetem Erythrozytenverlust (vEZV_geschätzt relativ %, vEZV_berechnet relativ %) am präoperativen EZV – Männer..	34
Tabelle 13:	Einfluss der untersuchten Variablen auf den perioperativen berechneten Erythrozytenverlust mit Signifikanzniveau.....	37

Literaturverzeichnis

1. Acheson AG, Brookes MJ, Spahn DR. Effects of allogeneic red blood cell transfusions on clinical outcomes in patients undergoing colorectal cancer surgery: a systematic review and meta-analysis. *Ann Surg.* 2012;256(2):235-44.
2. Aderinto J, Brenkel IJ. Pre-operative predictors of the requirement for blood transfusion following total hip replacement. *J Bone Joint Surg Br.* 2004;86(7):970-3.
3. Adkins AR, Lee D, Woody DJ, White WA. Accuracy of blood loss estimations among anesthesia providers. *Aana J.* 2014;82(4):300-6.
4. Ahmed I, Chan JK, Jenkins P, Brenkel I, Walmsley P. Estimating the transfusion risk following total knee arthroplasty. *Orthopedics.* 2012;35(10):e1465-71.
5. Alberth G, Kettisen J, Lisander B. Blood loss in prosthetic hip replacement is not influenced by the AB0 blood group. *Eur J Surg.* 2001;167(9):652-5.
6. Althoff FC, Neb H, Herrmann E, et al. Multimodal Patient Blood Management Program Based on a Three-pillar Strategy: A Systematic Review and Meta-analysis. *Ann Surg.* 2019;269(5):794-804.
7. Barrett M, Prasad A, Boyce L, Dawson-Bowling S, Achan P, Millington S, Hanna SA. Total hip arthroplasty outcomes in morbidly obese patients: A systematic review. *EFORT Open Rev.* 2018;3(9):507-12.
8. Barthels M. *Das Gerinnungskompendium.* Thieme; 2012.
9. Basques BA, Toy JO, Bohl DD, Golinvaux NS, Grauer JN. General compared with spinal anesthesia for total hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2015;97(6):455-61.
10. Baumann H, Chavez VV, Biscopio J, Schlegel E. Preoperative hemoglobin level, blood volume or circulating red blood cell volume as predictors for perioperative blood transfusion? A retrospective study on 681 patients undergoing orthopedic major joint replacement: 6AP1-7. *Eur J Anaesthesiol.* 2014;31:90.
11. Bell TH, Berta D, Ralley F, MacDonald SJ, McCalden RW, Bourne RB, Rorabeck CH, Naudie DD. 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):295-301.
12. Billote DB, Glisson SN, Green D, Wixson RL. A prospective, randomized study of preoperative autologous donation for hip replacement surgery. *J Bone Joint Surg Am.* 2002;84(8):1299-304.
13. Bowditch MG, Villar RN. Do obese patients bleed more? A prospective study of blood loss at total hip replacement. *Ann R Coll Surg Engl.* 1999;81(3):198-200.
14. Browne JA, Adib F, Brown TE, Novicoff WM. Transfusion rates are increasing following total hip arthroplasty: risk factors and outcomes. *J Arthroplasty.* 2013;28(8 Suppl):34-7.

15. Brunskill SJ, Millette SL, Shokoohi A, et al. Red blood cell transfusion for people undergoing hip fracture surgery. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015;(4):Cd009699.
16. Budair B, Ahmed U, Hodson J, David M, Ashraf M, McBride T. Are we all guilty of under-estimating intra-operative blood loss during hip fracture surgery? *J Orthop*. 2017;14(1):81-4.
17. Bundesärztekammer. Querschnitts-Leitlinien (BÄK) zur Therapie mit Blutkomponenten und Plasmaderivaten 2020. Accessed August 22, 2024. <https://www.wbbaek.de/richtlinien-leitlinien/haemotherapie-transfusionsmedizin/querschnitt-leitlinie>
18. Bundesärztekammer. *Richtlinie Hämotherapie Gesamtnovelle 2017*. Accessed August 22, 2024. https://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/_old-files/downloads/pdf-Ordner/RL/RiliH_Lese.pdf
19. Caekebeke-Peerlinck KM, Koster T, Briët E. Bleeding time, blood groups and von Willebrand factor. *Br J Haematol*. 1989;73(2):217-20.
20. Carling MS, Jeppsson A, Eriksson BI, Brisby H. Transfusions and blood loss in total hip and knee arthroplasty: a prospective observational study. *J Orthop Surg Res*. 2015;10:48.
21. Carson JL, Sieber F, Cook DR, et al. Liberal versus restrictive blood transfusion strategy: 3-year survival and cause of death results from the FOCUS randomised controlled trial. *Lancet*. 2015;385(9974):1183-9.
22. Carson JL, Terrin ML, Noveck H, et al. Liberal or restrictive transfusion in high-risk patients after hip surgery. *N Engl J Med*. 2011;365(26):2453-62.
23. Chen ZY, Wu HZ, Zhu P, Feng XB. Postoperative Changes in Hemoglobin and Hematocrit in Patients Undergoing Primary Total Hip and Knee Arthroplasty. *Chin Med J*. 2015;128(14):1977-9.
24. Chow JH, Chancer Z, Mazzeffi MA, et al. Impact of Preoperative Platelet Count on Bleeding Risk and Allogeneic Transfusion in Multilevel Spine Surgery. *Spine*. 2021;46(1):pE65-72.
25. Clarke AM, Dorman T, Bell MJ. Blood loss and transfusion requirements in total joint arthroplasty. *Ann R Coll Surg Engl*. 1992;74(5):360-3.
26. Collinge CA, Kelly KC, Little B, Weaver T, Schuster RD. The effects of clopidogrel (Plavix) and other oral anticoagulants on early hip fracture surgery. *J Orthop Trauma*. 2012;26(10):568-73.
27. Delaney M, Wendel S, Bercovitz RS, et al. Transfusion reactions: prevention, diagnosis, and treatment. *Lancet*. 2016;388(10061):2825-36.
28. Statistisches Bundesamt. Körpermaße der Bevölkerung nach Altersgruppen. Updated März 27, 2023. Accessed August 22, 2024. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Gesundheitszustand-Relevantes-Verhalten/Tabellen/koerpermasse-insgesamt.html>

29. Statistisches Bundesamt. Operationen und Prozeduren an vollstationären Patienten: Deutschland, Jahre, Geschlecht, Altersgruppen, Operationen und Prozeduren (1-4-Steller Hierarchie). Updated September 22, 2022. Accessed August 22, 2024. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Krankenhaeuser/Publikationen/Downloads-Krankenhaeuser/operationen-prozeduren-5231401217014.html>
30. Dildy GA 3rd, Paine AR, George NC, Velasco C. Estimating blood loss: can teaching significantly improve visual estimation? *Obstet Gynecol.* 2004;104(3):601-6.
31. Dunne JR, Malone D, Tracy JK, Gannon C, Napolitano LM. Perioperative anemia: an independent risk factor for infection, mortality, and resource utilization in surgery. *J Surg Res.* 2002;102(2):237-44.
32. Elwood NR, Martin AN, Turrentine FE, Jones RS, Zaydfudim VM. The negative effect of perioperative red blood cell transfusion on morbidity and mortality after major abdominal operations. *Am J Surg.* 2018;216(3):487-91.
33. Eroglu A, Uzunlar H, Erciyas N. Comparison of hypotensive epidural anesthesia and hypotensive total intravenous anesthesia on intraoperative blood loss during total hip replacement. *J Clin Anesth.* 2005;17(6):420-5.
34. Frisch N, Wessell NM, Charters M, et al. Effect of Body Mass Index on Blood Transfusion in Total Hip and Knee Arthroplasty. *Orthopedics.* 2016;39(5):844-9.
35. Frisch NB, Wessell NM, Charters MA, et al. Predictors and complications of blood transfusion in total hip and knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2014;29(9 Suppl):189-92.
36. Gerdessen L, Meybohm P, Choorapoikayil S, et al. Comparison of common perioperative blood loss estimation techniques: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Monit Comput.* 2021;35(2):245-58.
37. Gerdessen L, Neef V, Raimann FJ, Zacharowski K, Piekarski F. The visually estimated blood volume in scaled canisters based on a simulation study. *BMC Anesthesiology.* 2021;21(1):54.
38. Gibon E, Courpied JP, Hamadouche M. Total joint replacement and blood loss: what is the best equation? *Int Orthop.* 2013;37(4):735-9.
39. Glance LG, Blumberg N, Eaton MP, et al. Preoperative thrombocytopenia and postoperative outcomes after noncardiac surgery. *Anesthesiology.* 2014;120(1):62-75.
40. Gombotz H. Patient blood management is key before elective surgery. *Lancet.* 2011;378(9800):1362-3.
41. Gombotz H, Hofmann A. Patient Blood Management: three pillar strategy to improve outcome through avoidance of allogeneic blood products. *Anaesthetist.* 2013;62(7):519-27.
42. Goodnough LH, Finlay AK, Huddleston JI, et al. Obesity Is Independently Associated With Early Aseptic Loosening in Primary Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2018;33(3):882-6.

43. Grosflam JM, Wright EA, Cleary PD, Katz JN. Predictors of blood loss during total hip replacement surgery. *Arthritis Care Res.* 1995;8(3):167-73.
44. Guerin S, Collins C, Kapoor H, McClean I, Collins D. Blood transfusion requirement prediction in patients undergoing primary total hip and knee arthroplasty. *Transfus Med.* 2007;17(1):37-43.
45. Guo WJ, Wang JQ, Zhang WJ, Wang WK, Xu D, Luo P. Hidden blood loss and its risk factors after hip hemiarthroplasty for displaced femoral neck fractures: a cross-sectional study. *Clin Interv Aging.* 2018;13:1639-45.
46. Hackett NJ, De Oliveira GS, Jain UK, Kim JY. ASA class is a reliable independent predictor of medical complications and mortality following surgery. *Int J Surg.* 2015;18:184-90.
47. Hatzidakis AM, Mendlick RM, McKillip T, Reddy RL, Garvin KL. Preoperative autologous donation for total joint arthroplasty. An analysis of risk factors for allogenic transfusion. *J Bone Joint Surg Am.* 2000;82(1):89-100.
48. Hetherington JJ, Ford I, Ashcroft GP, Jansen JO. Intraoperative changes in platelet function in relation to moderate haemorrhage. *Thromb Res.* 2015;135(6):1198-202.
49. Holst LB, Petersen MW, Haase N, Perner A, Wetterslev J. Restrictive versus liberal transfusion strategy for red blood cell transfusion: systematic review of randomised trials with meta-analysis and trial sequential analysis. *BMJ.* 2015;350:h1354.
50. Hooper GJ, Rothwell AG, Hooper NM, Frampton C. The relationship between the American Society Of Anesthesiologists physical rating and outcome following total hip and knee arthroplasty: an analysis of the New Zealand Joint Registry. *J Bone Joint Surg Am.* 2012;94(12):1065-70.
51. Horowitz M, Neeman E, Sharon E, Ben-Eliyahu S. Exploiting the critical perioperative period to improve long-term cancer outcomes. *Nat Rev Clin Oncol.* 2015;12(4):213-26.
52. Hrnack SA, Skeen N, Xu T, Rosenstein AD. Correlation of body mass index and blood loss during total knee and total hip arthroplasty. *Am J Orthop.* 2012;41(10):467-71.
53. Husted H, Holm G, Jacobsen S. Predictors of length of stay and patient satisfaction after hip and knee replacement surgery: fast-track experience in 712 patients. *Acta Orthop.* 2008;79(2):168-73.
54. Irlbeck T, Zwißler B, Bauer A. ASA classification: Transition in the course of time and depiction in the literature. *Anaesthesist.* 2017;66(1):5-10.
55. Keating EM, Meding JB, Faris PM, Ritter MA. Predictors of transfusion risk in elective knee surgery. *Clin Orthop Relat Res.* 1998;(357):50-9.
56. Komatsu R, Dalton JE, Ghobrial M, et al. Blood Type O is not associated with increased blood loss in extensive spine surgery. *J Clin Anesth.* 2014;26(6):432-7.

57. Li L, Fu J, Xu C, et al. Factors associated with blood loss in ankylosing spondylitis patients with hip involvement undergoing primary total hip arthroplasty: a cross-sectional retrospective study of 243 patients. *J Orthop Surg Res.* 2020;15(1):541.
58. Lopez-Picado A, Albinarrate A, Barrachina B. Determination of Perioperative Blood Loss: Accuracy or Approximation? *Anesth Analg.* 2017;125(1): 280-6.
59. Malpani R, Bovonratwet P, Clark MG, Ottesen TD, Mercier MR, Grauer JN. Preoperative High, as well as Low, Platelet Counts Correlate With Adverse Outcomes After Elective Total Hip Arthroplasty. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev.* 2020;4(9):e2000049.
60. Maurer SG, Chen AL, Hiebert R, Pereira GC, Di Cesare PE. Comparison of outcomes of using spinal versus general anesthesia in total hip arthroplasty. *Am J Orthop.* 2007;36(7):E101-6.
61. Meier R, Marthy R, Saely CH, Kuster MS, Giesinger K, Rickli H. Comparison of preoperative continuation and discontinuation of aspirin in patients undergoing total hip or knee arthroplasty. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2016;26(8):921-8.
62. Meiser A, Casagrande O, Skipka G, Laubenthal H. Quantifizierung von Blutverlusten: Wie genau ist visuelles Schätzen und wovon hängt die Genauigkeit ab? *Der Anaesthetist.* 2001;50(1):13-20.
63. Memtsoudis SG, Cozowicz C, Bekeris J, et al. Anaesthetic care of patients undergoing primary hip and knee arthroplasty: consensus recommendations from the International Consensus on Anaesthesia-Related Outcomes after Surgery group (ICAROS) based on a systematic review and meta-analysis. *Br J Anaesth.* 2019;123(3):269-87.
64. Mercuriali F, Inghilleri G. Proposal of an algorithm to help the choice of the best transfusion strategy. *Curr Med Res Opin.* 1996;13(8):465-78.
65. Meybohm P, Kohlhof H, Wirtz DC, et al. Preoperative Anaemia in Primary Hip and Knee Arthroplasty. *Z Orthop Unfall.* 2020;158(2):194-200.
66. Monreal M, Lafoz E, Llamazares J, Roncales J, Roca J, Granero X. Preoperative platelet count and postoperative blood loss in patients undergoing hip surgery: an inverse correlation. *Haemostasis.* 1996;26(3):164-9.
67. Moore F. *Metabolic Care of the Surgical Patients.* Saunders; 1959.
68. Morelli VM, de Visser MC, van Tilburg NH, et al. ABO blood group genotypes, plasma von Willebrand factor levels and loading of von Willebrand factor with A and B antigens. *Thromb Haemost.* 2007;97(4):534-41.
69. Nadler SB, Hidalgo JH, Bloch T. Prediction of blood volume in normal human adults. *Surgery.* 1962;51(2):224-32.
70. O'Donnell J, Laffan MA. The relationship between ABO histo-blood group, factor VIII and von Willebrand factor. *Transfus Med.* 2001;11(4):343-51.

71. Ohmori T, Toda K, Kanazawa T, Tada K, Yagata Y, Ito Y. Retrospective high volume comparative study suggests that patients on aspirin could have immediate surgery for hip fractures without significant blood loss. *Int Orthop*. 2021;45(3):543-9.
72. Oldenburg JSR, Wöhrle N, Olek K, Brackmann HH. *Bedeutung der Blutgruppen-H-Substanz für den v.-Willebrand-Faktor/Faktor-VIII-Komplex*. Springer; 1993.
73. Olivier RMR, Fischer L, Steinbicker AU. Patient blood management: Medical concept for increasing patient safety. *Anaesthesist*. 2020;69(1):55-71.
74. Ondeck NT, Bohl DD, Bovonratwet P, et al. Predicting Adverse Outcomes After Total Hip Arthroplasty: A Comparison of Demographics, the American Society of Anesthesiologists class, the Modified Charlson Comorbidity Index, and the Modified Frailty Index. *J Am Acad Orthop Surg*. 2018;26(20):735-43.
75. Park JH, Rasouli MR, Mortazavi SM, Tokarski AT, Maltenfort MG, Parvizi J. Predictors of perioperative blood loss in total joint arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 2013;95(19):1777-83.
76. Pearson TC, Guthrie DL, 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):748-56.
77. Phan DL, Ahn K, Rinehart JB, Calderon MD, Wu WD, Schwarzkopf R. Joint arthroplasty Perioperative Surgical Home: Impact of patient characteristics on postoperative outcomes. *World J Orthop*. 2016;7(6):376-82.
78. Pola E, Papaleo P, Santoliquido A, Gasparini G, Aulisa L, De Santis E. Clinical factors associated with an increased risk of perioperative blood transfusion in nonanemic patients undergoing total hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 2004;86(1):57-61.
79. Prasad N, Padmanabhan V, Mullaji A. Blood loss in total knee arthroplasty: an analysis of risk factors. *Int Orthop*. 2007;31(1):39-44.
80. Pu X, Sun JM. General anesthesia vs spinal anesthesia for patients undergoing total-hip arthroplasty: A meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2019;98(16):e14925.
81. Pulido L, Ghanem E, Joshi A, Purtill JJ, Parvizi J. Periprosthetic joint infection: the incidence, timing, and predisposing factors. *Clin Orthop Relat Res*. 2008;466(7):1710-5.
82. Rabenberg M., Arthrose. *Gesundheitsberichterstattung des Bundes*. 2013;54.
83. Rashiq S, Finegan BA. The effect of spinal anesthesia on blood transfusion rate in total joint arthroplasty. *Can J Surg*. 2006;49(6):391-6.
84. Ross D, Erkocak O, Rasouli MR, Parvizi J. Operative Time Directly Correlates with Blood Loss and Need for Blood Transfusion in Total Joint Arthroplasty. *Arch Bone Jt Surg*. 2019;7(3):229-34.

85. Salido JA, Marín LA, Gómez LA, Zorrilla P, Martínez C. Preoperative hemoglobin levels and the need for transfusion after prosthetic hip and knee surgery: analysis of predictive factors. *J Bone Joint Surg Am.* 2002;84(2):216-20.
86. Schienkiewitz A, Mensink GBM, Kuhnert R, Lange C. Übergewicht und Adipositas bei Erwachsenen in Deutschland. *J Health Monit.* 2017;2(2):20-27
87. Schlegel E, Biscopio J. Patient blood management - From product to individual therapy. *Anesthesiologie und Intensivmedizin.* 2014;55:498-509.
88. Sehat KR, Evans RL, Newman JH. Hidden blood loss following hip and knee arthroplasty. Correct management of blood loss should take hidden loss into account. *J Bone Joint Surg Br.* 2004;86(4):561-5.
89. Shander A, Hofmann A, Gombotz H, Theusinger OM, Spahn DR. Estimating the cost of blood: past, present, and future directions. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol.* 2007;21(2):271-89.
90. Sharma R, Sharma S. *Physiology, Blood Volume.* StatPearls; 2021.
91. Simon GI, Craswell A, Thom O, Fung YL. Outcomes of restrictive versus liberal transfusion strategies in older adults from nine randomised controlled trials: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Haematol.* 2017;4(10):e465-e474.
92. Solon JG, Egan C, McNamara DA. Safe surgery: how accurate are we at predicting intra-operative blood loss? *J Eval Clin Pract.* 2013;19(1):100-5.
93. Spahn DR. Anemia and patient blood management in hip and knee surgery: a systematic review of the literature. *Anesthesiology.* 2010;113(2):482-95.
94. Tettamanti M, Lucca U, Gandini F, et al. Prevalence, incidence and types of mild anemia in the elderly: the "Health and Anemia" population-based study. *Haematologica.* 2010;95(11):1849-56.
95. To J, Sinha R, Kim SW, et al. Predicting Perioperative Transfusion in Elective Hip and Knee Arthroplasty: A Validated Predictive Model. *Anesthesiology.* 2017;127(2):317-25.
96. Tong E, Murphy WG, Kinsella A, et al. Capillary and venous haemoglobin levels in blood donors: a 42-month study of 36,258 paired samples. *Vox Sang.* 2010;98(4):547-53.
97. Unal D, Senayli Y, Polat R, et al. Peri-operative blood transfusion in elective major surgery: incidence, indications and outcome - an observational multicentre study. *Blood Transfus.* 2020;18(4):261-79.
98. Vasan SK, Rostgaard K, Majeed A, et al. HABO Blood Group and Risk of Thromboembolic and Arterial Disease: A Study of 1.5 Million Blood Donors. *Circulation.* 2016;133(15):1449-57.
99. Whitlock EL, Kim H, Auerbach AD. Harms associated with single unit perioperative transfusion: retrospective population based analysis. *BMJ.* 2015;350:h3037.
100. WHO. Nutritional anaemias. Report of a WHO scientific group. *World Health Organ Tech Rep Ser.* 1968;405:5-37.

101. Yu XW, Ai ZS, Gao YS, Zhang CQ. Blood loss closely correlates with body mass index in total hip arthroplasty performed through direct lateral approach. *Saudi Med J.* 2013;34(7):709-13.
102. Zhang J, Chen Z, Zheng J, Breusch SJ, Tian J. Risk factors for venous thromboembolism after total hip and total knee arthroplasty: a meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2015;135(6):759-72.

Anhang

LANDESÄRZTEKAMMER BADEN-WÜRTTEMBERG

KÖRPERSCHAFT DES ÖFFENTLICHEN RECHTS

ETHIK-KOMMISSION



Landesärztekammer Baden-Württemberg • Postfach 700381 • 70573 Stuttgart

20.01.2015

St. Vincentius-Kliniken Karlsruhe
Klinik für Anästhesie
Herrn Simon Schwarzach
Steinhäuserstr. 18
76135 Karlsruhe

Ansprechpartnerin:
monika.kretschmer@laek-bw.de
Tel.: 0711 76989-19
Fax: 0711 76989-856

Ihre Anfrage per E-Mail vom 09.01.2015 bezüglich der Notwendigkeit einer berufsrechtlichen Beratung einer bereits durchgeführten prospektiven Studie

Sehr geehrter Herr Schwarzach,

besten Dank für Ihre E-Mail vom 09.01.2015.

Die Ethik-Kommission hat sich in der Sitzung am 13.01.2015 mit Ihrer o.g. Anfrage befasst.

Von Seiten der Ethik-Kommission bestehen keine Bedenken gegen die geschilderte Datenerhebung.

Mit freundlichen Grüßen



Dr. med. G. Hook
Vorsitzender der Ethik-Kommission

Ehrenwörtliche Erklärung

Erklärung zur Dissertation

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt.

Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, oder habe diese nachstehend spezifiziert. Die vorgelegte Arbeit wurde weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

Ort, Datum

Unterschrift

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinen aufrichtigen Dank aussprechen. Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Prof. Dr. Dr. Michael Henrich, für seine wertvolle Unterstützung, seine fachliche Expertise und seine unermüdliche Motivation während meiner gesamten Dissertation. Seine Anleitung war für mich von unschätzbarem Wert.

Ein weiterer Dank geht an Prof. Biscopio, der mich für das Fach Anästhesie und das wissenschaftliche Arbeiten begeistert hat. Seine Leidenschaft und sein Engagement haben mir sehr geholfen meine Interessen in diesem Bereich zu vertiefen.

Ich möchte auch meiner Mutter, Uschi Schwarzach, und ihrem Partner, Rafaele Tiboni, danken. Ihre bedingungslose Unterstützung und ihr Glaube an mich haben mir in vielen Momenten Kraft gegeben.

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Frau, Claire. Ihre ständige Unterstützung, ihr Verständnis und ihre Geduld haben mir in den herausforderndsten Zeiten den Rücken gestärkt. Ohne sie wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Vielen Dank an alle, die mich auf diesem Weg begleitet haben!

Tabellarischer Lebenslauf

Der Lebenslauf wurde aus dieser Version der Arbeit entfernt

Der Lebenslauf wurde aus dieser Version der Arbeit entfernt