

Analyse der Praxis der intraoperativen Transfusion am Klinikum
der Universität München mit dem Ziel der Entwicklung eines
Algorithmus zur Optimierung der Anforderungen von
Erythrozytenkonzentraten vor Operationen



Dissertation

Astrid Christina Hahn

Aus der Klinik für Anaesthesiologie der
Ludwig-Maximilians-Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. Bernd Zwißler

**Analyse der Praxis der intraoperativen Transfusion am Klinikum
der Universität München mit dem Ziel der Entwicklung eines
Algorithmus zur Optimierung der Anforderungen von
Erythrozytenkonzentraten vor Operationen**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Astrid Christina Hahn
aus
Starnberg

2017

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Berichterstatter:	Prof. Dr. med. Markus Rehm
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. med. Joerg Hasford Priv. Doz. Dr. med. Tom-Philipp Zucker
Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter:	Dr. med. Bernhard Pollwein
Dekan:	Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel
Tag der mündlichen Prüfung:	27.04.2017

In Dankbarkeit meiner lieben Familie

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	8
1.1 Transfusionen – „Böses Blut“?	8
1.2 Geschichte der Transfusion	10
1.3 Ziel der Arbeit	11
2. Material und Methoden	13
2.1 Datenquellen	13
2.1.1 OPS-Code	13
2.1.2 Transfusionskatalog der ATMZH	14
2.1.3 Datensatz	14
2.2 Berücksichtigte Parameter	15
2.2.1 Patientenbezogene Daten	15
2.2.2 ASA-Risikoklassifikation	15
2.2.3 Dringlichkeit	16
2.3 Statistik	16
2.3.1 Allgemeines	16
2.3.2 Auswahl der Stichprobe	16
2.3.3 Deskriptive Statistik	17
2.3.4 Poisson-Regression	17
2.3.5 Vergleich des mittleren Transfusionsbedarfs	19
3. Ergebnisse	20
3.1 Deskriptive Statistik	20
3.1.1 Durchgeführte Eingriffe	20
3.1.2 Alters- und Geschlechtsverteilung	21
3.1.3 Körperoberfläche	23
3.1.4 Ausgangs-Hämoglobin-Wert	24
3.1.5 ASA-Risikoklassifikation	25
3.1.6 Dringlichkeit	26
3.2 Regressionsanalyse	27
3.2.1 Ein- und Ausschlusskriterien	27
3.2.2 Urologische Eingriffe	28
3.2.2.1 Radikale Zystektomie	29
3.2.2.2 Tumornephrektomie/Nephroureterektomie	32
3.2.3 Orthopädische Eingriffe	34
3.2.3.1 Hüft-TEP	34

3.2.3.2	Hüft-TEP-Wechsel	36
3.2.3.3	Knie-TEP-Wechsel	39
3.2.4	Allgemeine - und viszeralchirurgische Eingriffe	41
3.2.4.1	Ösophagektomie	41
3.2.4.2	Lebertransplantation	43
3.2.4.3	Leberresektion	46
3.2.4.4	Tiefe anteriore Rektumresektion	48
3.2.4.5	Abdominoperineale Rektumexstirpation	51
3.2.4.6	Hemikolektomie/Hartmann-Wiederanschluss	53
3.2.5	Thoraxchirurgische Eingriffe	55
3.2.5.1	Offene Lobektomie/Bilobektomie/Pneumonektomie	55
3.2.5.2	Lungentransplantation	57
3.2.5.3	Thorakoskopie	59
3.2.6	Gefäßchirurgische Eingriffe.....	61
3.2.6.1	Femoro-poplitealer, Femoro-cruraler und Femoro-femorale Bypass.....	61
3.2.6.2	Offene Eingriffe an der abdominalen Aorta	63
3.2.6.3	BAA-Y-Stentgraft/TAA-Stentgraft	66
3.2.6.4	Thrombektomie	68
3.2.6.5	Thorako-abdominales Aortenaneurysma (TAAA)	71
3.2.6.6	Majoramputation.....	73
3.2.7	Unfallchirurgische Eingriffe	76
3.2.7.1	Frakturen der Extremitäten	76
3.2.7.2	Frakturen der Hals-, Brust- oder Lendenwirbelsäule.....	76
3.2.8	Neurochirurgische Eingriffe	78
3.2.8.1	Kraniotomie	79
3.2.8.2	Bandscheibenvorfall	81
3.2.8.3	Stabilisierung der Wirbelsäule.....	83
3.2.9	Herzchirurgische Eingriffe.....	85
3.2.9.1	Aorto-koronarer Bypass (ACB).....	85
3.2.9.2	Aortenklappenersatz (AKE)/Mitralklappenersatz (MKE) (nicht voroperiert).....	88
3.2.9.3	Aortenklappenersatz (AKE)/Mitralklappenersatz (MKE) (Re-OP)	90
3.2.9.4	Aorta Ascendens-Ersatz.....	92
3.2.9.5	Aorta Ascendens-Bogenersatz.....	94
3.2.9.6	Herztransplantation.....	96
3.2.10	Kardiologische Eingriffe.....	98

3.2.10.1	Herzkatheter interventionell (ASD-/PDA-Verschluss).....	98
3.2.10.2	Herzkatheter interventionell (alle übrigen).....	100
3.2.11	Gynäkologische Eingriffe	102
3.2.12	Mund-, kiefer- und gesichtschirurgische Eingriffe	103
3.2.13	Eingriffe im Hals-, Nasen- und Ohrenbereich	103
4.	Diskussion	103
4.1	Die wichtigsten Ergebnisse der Arbeit im Überblick	103
4.2	Abschätzung des Transfusionsbedarfs – die Studienlage	108
4.3	Individualität des Algorithmus	111
4.4	Modellcharakter des Algorithmus	113
4.5	Bluttransfusion und Glaube – Zeugen Jehovas	115
4.6	Vermeidung lagerungsbedingter Komplikationen	119
4.7	Ökonomische Aspekte	122
4.8	Methodenkritik	126
5.	Zusammenfassung	127
6.	Literaturverzeichnis	135
7.	Anhang	142
7.1	Tabellenverzeichnis	142
7.2	Abbildungsverzeichnis	150
7.3	Abkürzungsverzeichnis	151
7.4	Zuordnung von OPS-Codes zu den Eingriffen gemäß Transfusionskatalogen der ATMZH	153
7.4.1	Urologie	153
7.4.2	Orthopädie	154
7.4.3	Allgemeine, Viszeral-, Gefäß- und Thoraxchirurgie	155
7.4.4	Unfallchirurgie	157
7.4.5	Neurochirurgie	158
7.4.6	Herzchirurgie	159
7.4.7	Kinderkardiologie	160
7.4.8	Frauenheilkunde und Geburtshilfe	161
7.4.9	Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie	161
7.4.10	Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde	162
7.5	Danksagung	163
7.6	Eidesstattliche Versicherung	165

1. Einleitung

1.1 Transfusionen – „Böses Blut“?

„*Böses Blut – Kehrtwende in der Intensivmedizin*“. Das ist der etwas reißerische Titel einer aktuellen TV-Dokumentation (Erstaussstrahlung am 24.11.2014, ARD), die Bluttransfusionen unter den Verdacht stellt häufig, wenn nicht sogar regelhaft gravierende Nachteile mit sich zu bringen. Die ARD-Sendung ist nur ein Beispiel dafür, wie die Medien das Thema Transfusion und deren potentielle Risiken wie eine erhöhte Infektionsgefahr, das Auftreten von Krebsrezidiven bis hin zu einer erhöhten Sterberate für ein Laienpublikum teilweise geradezu dramatisch aufbereiten. Berichterstattungen dieser Art wecken beim Patienten häufig Misstrauen, nicht hinreichend über die Chancen und vor allem aber über die Risiken einer Transfusion aufgeklärt zu sein. Zudem können sie Ängste und Befürchtungen auslösen, dass Ärzte in vermeintlich leichtfertiger und undifferenzierter Weise Blut transfundieren und schwerwiegende Nebenwirkungen, vielleicht sogar aus wirtschaftlichen Erwägungen heraus, in Kauf nehmen - Ärzte verabreichen offensichtlich leichtfertig „böses Blut“, was natürlich eine negative suggestive Bewertung ärztlichen Handelns und sogar der Ärzte selbst nahelegt.

Gemäß der aktuellen Studienlage ist es wissenschaftlich und objektiv betrachtet natürlich schon seit langem bekannt und unstrittig, dass die Verabreichung von Blutkonserven, wie jeder andere Eingriff in die körperliche Unversehrtheit auch, Gefahren mit sich bringt. In den letzten Jahrzehnten wurden jedoch substantielle Anstrengungen unternommen, um die Sicherheit von Bluttransfusionen zu erhöhen. Durch entsprechende Forschungsarbeiten wurden hier auch schon sehr große Erfolge erzielt. So konnte durch die Verfeinerung diagnostischer Testverfahren das Risiko einer Übertragung viraler Infektionen drastisch gesenkt werden (DODD et al., 2002; GOODNOUGH, 2003). Diese Risiken bewegen sich für HIV heutzutage nur mehr zwischen 1:1.468.000 und 1:4.700.000, für HBV zwischen 1:31.000 und 1:205.000 und für HCV zwischen 1:1.935.000 und 1:3.100.000 (MARCUCCI et al., 2004 MÜLLER et al., 2015; 112: 507–18). Das Risiko einer bakteriellen Kontamination ist insbesondere bei Blutplättchen aufgrund ihrer relativ hohen Lagerungstemperatur gegeben (KLEINMAN et al., 2003). Immunologische Risiken einer Bluttransfusion liegen beispielsweise in einer ABO-Inkompatibilität oder in einer immunsuppressiven Wirkung der übertragenen Erythrozytenkonzentrate (EK) begründet, welche gemäß Studienlage für die Entwicklung postoperativer Infektionen (VAMVAKAS, 1996) und für das Auftreten von Krebsrezidiven (RIEDL et al., 2013) verantwortlich sein

kann. Der Zusammenhang zwischen einer Bluttransfusion und der Erhöhung der Krebsrate ist in der Literatur durchaus noch umstritten. RIEDL et al. (2013) konnten in ihrer Studie zwar einen Anstieg der Krebsdiagnosen bis zu einem Jahr nach der Transfusion, nicht jedoch für längere Zeiträume beobachten und vermuteten, dass die Patienten schon vor der Bluttransfusion an einer noch nicht diagnostizierten, eine Anämie auslösenden Tumorerkrankung litten. Nicht unerhebliche Komplikationen gehen auch von fehlbestellten EKs und der damit einhergehenden verlängerten Lagerungsdauer aus. Mehrere Studien konnten belegen, dass lagerungsbedingte biochemische Vorgänge die Funktionsfähigkeit der Blutzellen derart beeinträchtigen, dass das postoperative Infektionsrisiko steigt (OFFNER et al., 2002) oder das Auftreten eines Multiorganversagens begünstigt wird (ZALLEN et al., 1999).

Grundsätzlich sollte eine rationale, kritische Betrachtungsweise der Thematik auch die Überlegung beinhalten, dass der Grund für vermehrte Komplikationen, das Wiederauftreten von Krebs oder eine erhöhte Sterblichkeit in dem schon an sich schlechteren gesundheitlichen Ausgangszustand der transfundierten Patienten liegen könnte. Unter diesen Bedingungen wäre nicht zwingend die Bluttransfusion, sondern eben auch, vielleicht sogar primär der Gesundheitszustand der Patienten Auslöser für etwaige Komplikationen bzw. ein schlechteres Outcome. Selbstverständlich sollten die Ängste der Patienten ernst genommen und bei Vorliegen einer Indikation zur Transfusion alle Anstrengungen unternommen werden, um beeinflussbare Risiken möglichst zu minimieren. Insbesondere vor Operationen, die naturgemäß eine hohe Wahrscheinlichkeit an Bluttransfusionen implizieren, ist dies von besonderer Wichtigkeit. In diesem Zusammenhang nehmen die Optimierung der Versorgungskette sowie die bedarfsgerechte Ausrichtung des Bestellwesens von EKs auf die patientenspezifischen Bedürfnisse und die Erfordernisse eines operativen Eingriffs einen besonders hohen Stellenwert ein. Hierdurch kann nämlich die Lagerungsdauer von Erythrozyten deutlich reduziert und damit lagerungsbedingte Schädigungen der Konserven minimiert werden. Die möglichst schonende Behandlung der Blutkonserven ermöglicht eine Minimierung der lagerungsbedingten Risiken und trägt dazu bei, die heilendenden, d.h. „guten“, Eigenschaften des Blutes aufrecht zu erhalten.

1.2 Geschichte der Transfusion

Die großen Errungenschaften der Transfusionsmedizin müssen im Kontext ihrer Geschichte betrachtet werden. Blut galt seit jeher als „Elixier des Lebens“, als Träger physischer und intellektueller Eigenschaften sowie als Zeichen der Familienzugehörigkeit, sprich der „Blutsverwandtschaft“. Man glaubte, mit dem Blut die individuellen Eigenschaften eines Menschen oder eines Tieres auf eine andere Person übertragen zu können, so etwa die jugendliche Sprungkraft eines Kindes oder die Sanftmut eines Lammes auf eine Person, die diese Attribute entbehrt (BAUER, 2004). Nachdem im Jahr 1628 William Harvey (1578-1657) mit seiner Kreislauftheorie eine wichtige Grundlage für das physiologische Verständnis der Blutzirkulation geschaffen hatte, gelang Jean Davis (1640-1704) im Jahr 1667 die erste Blutübertragung von einem Lamm auf einen von Fieber und zahlreichen Aderlässen geschwächten Jugendlichen, der diese Prozedur erstaunlicherweise überlebte (BAUER, 2004). Andere Tierbluttransfusionen liefen weit weniger glimpflich ab. So starben gemäß der von Leonard Landois (1837-1902) im Jahr 1875 veröffentlichten Statistik an 129 Tierbluttransfusionen 62 Menschen (http://www.medicine-history.de/files/geschichte_der_transfusion.pdf). Die sogenannte „Leichenrede“ von Richard von Volkmann (1830-1889) im Jahr 1875 markierte das Ende der Ära der Tierbluttransfusion, von der er sich mit den Worten distanzierte: *„Zur Übertragung von Schafsblut gehören drei Schafe: eines, dem man das Blut entnimmt, ein zweites, das es sich übertragen lässt und dazu ein drittes, das die Übertragung durchführt“* (http://www.medicine-history.de/files/geschichte_der_transfusion.pdf). Im Jahr 1829 führte James Blundell (1790-1877) zum ersten Mal eine erfolgreiche Transfusion von menschlichem Blut auf eine durch akuten Blutverlust beeinträchtigte Wöchnerin durch (BAUER, 2004). In der Mitte des 19. Jahrhunderts, einem Zeitalter noch vor der Asepsis, welches von einer hohen Operationsmortalität geprägt war, galt die Bluttransfusion als einer der sichersten chirurgischen Eingriffe überhaupt: Die Sterberate lag bei einem von drei Patienten und entsprach damals etwa der Mortalität bei Amputationen und war damit sogar geringer als bei Behandlung von sog. Eingeweidebrüchen. (http://www.medicine-history.de/files/geschichte_der_transfusion.pdf). Bald jedoch standen renommierte Chirurgen wie Ernst Bergmann (1836 – 1907) der Bluttransfusion skeptisch gegenüber. In seiner Rede zum Stiftungstag der Militärärztlichen Bildungsanstalten am 2. August 1883 gab er zu bedenken: *„Wir müssen uns eben im Können bescheiden, so lange wir noch im Wissen zurückstehen“* (WIEBECKE et al., 2004). Hier bezog sich Ernst von Bergmann

auf die schon damals in Medizinerkreisen enthusiastisch vorgetragene Proklamation einer neuen Blutspendeära, deren Zeit schlichtweg aber noch nicht gekommen war. Die Entdeckung der Blutgruppen am Anfang des 20. Jahrhunderts durch Karl Landsteiner (1868–1943), der für seine wissenschaftliche Verdienste auf diesem Gebiet im Jahr 1930 den Nobelpreis für Medizin erhielt, stellte aber den entscheidenden Wendepunkt in der Geschichte der Transfusionsmedizin dar. Die Einführung des ABO-Bluttgruppensystems führte letzten Endes zu einer drastischen Reduktion der Hämolytischen Transfusionsreaktion vom Soforttyp (heutzutage nurmehr: 1:500.000 – 1:1.000.000, MÜLLER et al., 2015) und zum Einsatz der homologen Bluttransfusion als Routinemaßnahme (http://www.medicine-history.de/files/geschichte_der_transfusion.pdf). Heutzutage sind Bluttransfusionen aus der Medizin nicht mehr wegzudenken. So werden allein in Deutschland pro Jahr 4 Mio. Erythrozytenkonzentrate transfundiert und unzweifelhaft können dadurch mehr Menschen gerettet werden als je zuvor, insbesondere nach Unfällen oder während Operationen. Die Zahl der Patienten, die durch Transfusionen ihr Leben behalten ist unzweifelhaft um ein vielfaches höher als die Zahl der Patienten, die heutzutage tatsächlich durch Transfusionen zu Tode kommen. Dessen unbenommen sollte dieses „Elixier des Lebens“ auch zur Vermeidung nur seltener Nebenwirkungen (siehe 1.1) natürlich so sparsam wie möglich eingesetzt werden.

1.3 Ziel der Arbeit

Die deutsche Gesellschaft unterliegt - wie andere westliche Industrienationen auch - einem demographischen Wandel. Die Daten des statistischen Bundesamtes zeigen, dass die insgesamt alternde Bevölkerung auch im Schrumpfen begriffen (STATISTISCHES BUNDESAMT: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerung.html>) und mit komplexer werdenden Krankheiten und Behandlungsalternativen konfrontiert ist (GESUNDHEITSBERICHTSERSTATTUNG DES BUNDES: http://www.gbe-bund.de/gbe10/abrechnung.prc_abr_test_lgon?p_uid=gast&p_aid=52166675&p_sprache=D&p_knoten=TR8500; WEISER et al., 2008). Diese Entwicklungen bleiben nicht ohne Auswirkungen auf die Versorgung mit Blutkomponenten, da eine immer kleiner werdende Anzahl von Spendern (junge, gesunde Menschen) einer größer werdenden Menge potentieller Empfänger (mehr ältere, kranke Menschen) gegenübersteht und das Risiko von Versorgungsengpässen zunimmt (GREINACHER et al.,

2010), Koordinierte Anstrengungen werden nötig sein, um den aus der Alterung der westlichen Gesellschaft resultierenden Schwierigkeiten entgegen zu wirken. Hinzu kommen eine große Anzahl vermeidbarer Transfusionen und damit verbundene Kosten, die das Gesundheitssystem vor große Herausforderungen stellen (SHANDER et al., 2007). Die aufgezeigten Entwicklungen erfordern daher ein Umdenken bei der Vergabepaxis und eine Neuausrichtung der Transfusionsstrategien. Neue Konzepte wie das Patient Blood Management (PBM) wurden etabliert, die darauf abzielen, durch präoperative Optimierung des Erythrozytenvolumens, Minimierung des Blutverlusts und Ausnutzung der individuellen Anämietoleranz die Notwendigkeit von Transfusionen so gering wie möglich zu halten (GOMBOTZ et al., 2013). Aufgrund der Veränderung der Altersstruktur in unserer Gesellschaft, des ökonomischen Kostendrucks und des medizinischen Erkenntnisgewinns sehen sich die Universitätsklinika zunehmend gezwungen, die Effektivität ihres Transfusionsverhaltens zu überdenken, Strategien zur Vermeidung unnötiger Bluttransfusionen zu entwickeln und Algorithmen zur Optimierung der Versorgungskette zu implementieren.

An die aktuellen Entwicklungen anknüpfend verfolgt diese Arbeit das Ziel, die am Klinikum der Universität München vorherrschende perioperative Bestellpraxis für Erythrozytenkonzentrate zu analysieren und für verschiedene operative Prozeduren einen Algorithmus zur Optimierung der präoperativen Anforderungen von Erythrozytenkonzentraten zu entwickeln, um daraus Handlungsempfehlungen zur Optimierung des Transfusionsprozesses abzuleiten. Zu diesem Zweck wurden die Transfusionsdaten des Klinikums der Universität München aus dem Zeitraum 20.08.2013 bis 20.08.2014 analysiert und ein Vergleich zwischen der tatsächlich angeforderten und der algorithmisch berechneten Bestellmenge an EKs angestellt. Ebenso fanden die Transfusionskataloge des Klinikums, die Auskunft über den zu erwartenden Transfusionsbedarf nach Einschätzungen von Experten aufgrund ihrer klinischen Erfahrung geben, Eingang in die Analyse. Auf Basis dieser Auswertungen wird es möglich sein, die klinischen Versorgungsstrukturen differenzierter zu betrachten und bedarfsgerechter gestalten zu können. Im Idealfall lässt sich ein dynamisches System generieren, welches imstande ist, Veränderungen in den Transfusionsraten, die durch einen Wandel im medizinischen Wissenstand oder in der klinischen Erfahrung bedingt sind, aufzugreifen und Anpassungen im Sinne einer regelmäßigen Validierung zuzulassen.

2. Material und Methoden

2.1 Datenquellen

2.1.1 OPS-Code

Das 1969 gegründete Deutsche Institut für Medizinische Dokumentation und Information (DIMDI) untersteht dem Bundesministerium für Gesundheit und ist gemäß dem Gesetz zur Sicherung und Strukturverbesserung der gesetzlichen Krankenversicherung (Gesundheitsstrukturgesetz, GSG) mit der Verschlüsselung von Diagnosen und Prozeduren mit internationalen medizinischen Klassifikationen beauftragt. Dabei handelt es sich u.a. um den Operationen- und Prozedurenschlüssel (OPS). Dieser klassifiziert Operationen, Prozeduren und allgemein medizinische Maßnahmen im stationären und ambulanten Bereich und wird jährlich aktualisiert. Der OPS ist hierarchisch gegliedert und beinhaltet sämtliche kodierbaren medizinischen Maßnahmen. Er besteht aus sechs fachgebietsübergreifenden Kapiteln (Tabelle 1).

Tabelle 1: Systematik des OPS

Kap.-Nr.	Kode-Bereich	Klassentitel
1	1-00... 1-99	Diagnostische Maßnahmen
3	3-03... 3-99	Bildgebende Diagnostik
5	5-01... 5-99	Operationen
6	6-00... 6-00	Medikamente
8	8-01... 8-99	Nichtoperative therapeutische Maßnahmen
9	9-20... 9-99	Ergänzende Maßnahmen

Die Kapitel sind in Gruppen, Kategorien und Subkategorien untergliedert, die jeweils mit drei- bis sechsstelligen Codes versehen sind, welche die Hierarchieebene eindeutig widerspiegeln. Dreistellige Codes bezeichnen Überschriften, während Vier-, Fünf- und Sechssteller einen Eingriff näher definieren. Nur diese dürfen zur Kodierung herangezogen werden. Am folgenden Beispiel sei die Systematik des OPS näher erläutert (Tabelle 2).

Tabelle 2: Beispiel OPS-Code

Kapitel:	5	Operationen
Gruppe:	5-35...5-37	Operationen am Herzen
Kategorie	5-35	Operationen an Klappen und Septen des Herzens und herznaher Gefäße
Subkategorie/4-Steller:	5-350	Valvulotomie
Subkategorie/5-Steller:	5-350.1	Aortenklappe, offen

2.1.2 Transfusionskatalog der ATMZH

Die Abteilung für Transfusionsmedizin, Zelltherapeutika und Hämostaseologie (ATMZH) der Klinik für Anaesthesiologie am Klinikum der Universität München veröffentlicht in regelmäßigen Abständen Transfusionskataloge. Diese enthalten die gängigsten Operationen an der Urologischen Klinik und Poliklinik, der Orthopädische Klinik und Poliklinik, der Klinik für Allgemeine Viszeral-, Gefäß- und Thoraxchirurgie, der Klinik für Allgemeine, Unfall-, Hand- und Plastische Chirurgie, der Neurochirurgischen Klinik, der Herzchirurgischen Klinik, der Kinderkardiologischen Klinik, der Klinik und Poliklinik für Frauenheilkunde und Geburtshilfe, der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie sowie der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde. Sie geben für jeden Eingriff Auskunft darüber, ob voraussichtlich mit einem Einsatz von Blutprodukten zu rechnen ist und wie viele EKs gegebenenfalls im Operationssaal und in der ATMZH bereitzuhalten sind. Die Transfusionskataloge beruhen auf den Ergebnissen einer Arbeitsgruppe aus Chirurgen und Anästhesisten, die - ihren Erfahrungen entsprechend - für jede Operation festlegten, wie viele EKs initial, d.h. vor Abruf des Patienten, beordert werden sollten. Mit der Erstellung der Transfusionskataloge verfolgt die ATMZH das Ziel, höchstmögliche Sicherheits- und Qualitätsstandards für den Patienten zu gewährleisten. Zu diesem Zwecke soll die Bestellung von Blutprodukten minimiert und die Anzahl der kursierenden Konserven außerhalb der Blutbank möglichst gering gehalten werden.

2.1.3 Datensatz

Durch die Ethikkommission der LMU München wurde die Untersuchung vollumfänglich begutachtet und genehmigt (UE Nr. 103-14). Die in der vorliegenden Arbeit entwickelten Rechenmodelle basieren auf einem Datensatz, der durch eine Verknüpfung der Daten aus dem Klinischen Arbeitsplatzsystem KAS® (SAP®, Walldorf, Deutschland) und den Anästhesieprotokollen NarkoData® (IMESO®, Gießen, Deutschland) generiert wurde. Er umfasst den Zeitraum vom 20.08.2013 bis zum 20.08.2014 und gibt Auskunft zu 37.188 Operationen, die an den Standorten Innenstadt und Großhadern des Klinikums der Universität München durchgeführt wurden. Neben den soziodemographischen Daten (Alter, Geschlecht) werden hierin weitere patientenspezifische Parameter (Größe, Gewicht, Hämoglobin-Wert) aufgelistet. Außerdem enthält der Datensatz Informationen zur Art des vorgenommenen Eingriffs, zur angewandten Narkoseart, zur ASA-Risikoklassifikation,

zur Dringlichkeit der Operation, der Höhe des Blutverlustes sowie Angaben zur präoperativ angeforderten und perioperativ verbrauchten Menge an Erythrozytenkonzentraten (EKs).

Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit liegt auf der Entwicklung eines Konzeptes zur Abschätzung des eingriffsspezifischen Transfusionsbedarfs. Als mögliche Einflussfaktoren auf die Anzahl der zu erwartenden EKs wurden das Geschlecht, das Alter, die Körperoberfläche, der Hämoglobinwert sowie die ASA-Risikoklassifikation und die Dringlichkeit definiert.

2.2 Berücksichtigte Parameter

2.2.1 Patientenbezogene Daten

Neben den soziodemographischen Daten finden weitere patientenspezifische Parameter in der Analyse Berücksichtigung. Hierunter zählen das Alter und das Geschlecht, der Ausgangs-Hämoglobinwert und die Körperoberfläche. Letztere wurde unter Anwendung der Gehan-George-Formel aus der Größe und dem Gewicht der Patienten errechnet.¹

2.2.2 ASA-Risikoklassifikation

Die ASA-Risikoklassifikation basiert auf den Empfehlungen der American Society of Anaesthesiologists (ASA) und dient der Abschätzung des perioperativen Risikos. Hierbei werden die Patienten vor der Narkose in sechs verschiedenen Risikogruppen eingeteilt. Die Risikoklassifikation geht auf das Jahr 1940 zurück, als ein Komitee der ASA mit der Erfassung von Prädiktoren für das operative Risiko betraut wurde. Aufgrund der Komplexität der Einflussfaktoren auf das Operationsrisiko modifizierte das Komitee den ursprünglichen Auftrag und entwickelte eine Klassifikation, die den präoperativen Gesundheitszustand des Patienten berücksichtigte und in angepasster Form noch heute Gültigkeit hat.

Der Kategorie ASA 1 gehören gesunde Patienten an. Personen der Gruppe ASA 2 leiden an einer leichten systemischen Erkrankung, während in ASA 3 eine deutliche Einschränkung durch die Krankheit vorliegt. Patienten der ASA-Klasse 4 sind lebensbedrohlich

¹ Gehan-George-Formel: $0,01545 \cdot [\text{kg}]^{0,46336} \cdot [\text{cm}]^{0,54468}$

erkrankt und weisen ein hohes perioperatives Risiko auf. ASA 5 wird für moribunde Patienten angewendet, die ohne Operation wahrscheinlich nicht überleben werden, und ASA 6 für hirntote Organspender.

2.2.3 Dringlichkeit

Der Datensatz unterscheidet drei Dringlichkeitsstufen: geplante und ungeplante Eingriffe sowie Notfalloperationen.

2.3 Statistik

2.3.1 Allgemeines

Die statistischen Analysen wurden mit dem Computerprogramm IBM® SPSS® Statistics Version 22 (IBM, Ehningen, Deutschland) durchgeführt.

Relative Häufigkeiten werden auf eine Kommastelle, Mittelwert und Standardabweichung auf drei und Standardfehler auf vier Komastellen gerundet angegeben. Werte unter 1 werden in den Tabellen jeweils ohne die 0 vor dem Komma dargestellt. Die Dringlichkeitsstufen 1, 2 und 3 im Rahmen der deskriptiven Statistik sowie in Tabelle 208 stehen für geplante (1), ungeplante (2) und Notfalleingriffe (3).

2.3.2 Auswahl der Stichprobe

In einem ersten Schritt mussten mehrere Umkodierungen vorgenommen werden, um den vorliegenden Datensatz für die weitere Analyse nutzbar zu machen. Die Ausprägungen der kategorialen Variablen Geschlecht, ASA-Risikoklassifikation und Dringlichkeit wurden mit entsprechenden Codes versehen. Innerhalb der intervallskalierten Variablen KÖF, Alter und Hämoglobinwerten wurden jeweils Gruppen gebildet, um die Darstellung im Rahmen der deskriptiven Statistik zu vereinfachen.

Hierauf wurde jedem operativen Eingriff aus den Transfusionskatalogen der ATMZH ein passender OPS-Code zugewiesen. Die in Frage kommenden OPS-Codes gingen aus dem Datensatz hervor, der für jeden im Betrachtungszeitraum durchgeführten Eingriff einen entsprechenden Code auswies. Dieser wurde sodann mit dem OPS-Katalog aus dem Jahr 2014, der im online-Portal des DIMDI einsehbar ist, abgeglichen. Voraussetzung für den Einschluss einer Operation in die spätere Datenanalyse war eine mindestens vierstellige OPS-Codierung. Die meisten im Transfusionskatalog enthaltenen Operationen konnten

mit einem spezifischen OPS versehen werden. Als Beispiel sei hier die „Knie-Arthroskopie“ genannt, die durch den OPS-Code 1.697.7 (Diagnostische Arthroskopie Kniegelenk) eindeutig gekennzeichnet ist. Andere Eingriffe erforderten hingegen die Zuordnung mehrerer OPS-Codes. Beispielsweise wurde die „Radikale Zystektomie (Ileumconduit/Neoblase)“ durch die OPS-Codes 5-576 (Zystektomie), 5-577 (Ersatz der Harnblase) und 5-577.0 (Ersatz der Harnblase mit Ileum) definiert. Einigen im Transfusionskatalog aufgeführten Eingriffen konnte kein OPS-Code zugewiesen werden. Eine Übersicht über die in den Transfusionskatalogen gelisteten Eingriffe und die zugeordneten OPS-Codes findet sich im Anhang (vgl. Kapitel 7.4).

Anschließend wurde jedem Eingriff eine Kodierung in SPSS zugewiesen. Den obigen Beispielen folgend kann ein SPSS-Code also einen oder mehrere OPS-Codes beinhalten: die „Knie-Arthroskopie“ ist beispielsweise durch den SPSS-Code 12, die „Radikale Zystektomie (Ileumconduit/Neoblase)“ durch den SPSS-Code 3 charakterisiert. Insgesamt wurden 86 verschiedene Operationen identifiziert und mit einem SPSS-Code versehen. Dies entspricht 16.261 Eingriffen, die einer weiteren Analyse unterzogen wurden.

Der Gesamtdatensatz enthält 20.927 Eingriffe, die nicht eindeutig zugeordnet werden konnten und daher nicht in die Auswertung einfließen. Hierbei handelt es sich um Prozeduren, die kein entsprechendes Pendant im Transfusionskatalog hatten oder die im Datensatz mit einer lediglich dreiziffrigen Kodierung gekennzeichnet waren und aus diesem Grund nicht näher spezifiziert werden konnten.

2.3.3 Deskriptive Statistik

Für intervallskalierte Variablen wurden Mittelwert und Standardabweichung, für nominal- und ordinalskalierte Items relative Häufigkeiten dargestellt. Als Teststatistiken zur Untersuchung des Einflusses von kategorialen unabhängigen Variablen auf den Transfusionsbedarf (Y nicht normalverteilt) für den Gesamtdatensatz wurde je nach Anzahl der X-Kategorien der Mann-Whitney-U-Test ($X=2$) oder der Kruskal-Wallis-Test ($X>2$) eingesetzt.

2.3.4 Poisson-Regression

Zur Untersuchung, ob ein Zusammenhang zwischen verschiedenen patientenbezogenen Variablen und dem Transfusionsbedarf besteht, kam eine Poisson-Regression zur Anwendung. Dieses Verfahren eignet sich beim vorliegenden Sachverhalt in besonderem

Maße, da die abhängige Variable, nämlich die pro Eingriff benötigten EK-Einheiten, als Zählgröße angesehen werden kann. Hierbei handelt es sich um diskrete Zufallsvariablen größer gleich Null. Als Einflussfaktoren auf den Transfusionsbedarf wurden das Alter, das Geschlecht, die KÖF, der Ausgangs-Hb-Wert, die ASA-Risikoklassifikation und die Dringlichkeitsstufe einer OP herangezogen. Für jede Operation, die den Einschlusskriterien entsprach (Kapitel 3.2.1), wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt. Nachfolgend werden die statistisch-mathematischen Hintergründe der Poisson-Regression in aller Kürze erläutert (in Anlehnung an das INSTITUT FÜR STATISTIK, LMU München: Einführung in die Poisson-Regression: http://www.statistik.lmu.de/stablab/seminar_geo0910/Dokumente/seminar09/Oelker_Ha.pdf).

Die Poisson-Verteilung ist eine diskrete Wahrscheinlichkeitsverteilung, mit deren Hilfe die Anzahl von Ereignissen modelliert werden kann, die in einem bestimmten Zeitintervall eintreten. Sie wird „Verteilung seltener Ereignisse“ genannt.² Sie ist charakterisiert durch eine Verteilung mit der Dichte

$$f(y_i) = \frac{\lambda^{y_i}}{y_i!} \exp(-\lambda) \quad ; \quad y_i = 0, 1, 2, \dots$$

Der Parameter λ stellt gleichzeitig Erwartungswert und Varianz der Verteilung dar und kann als die mittlere Anzahl zu erwartender Ereignisse interpretiert werden, wobei $\lambda > 0$ gelten muss. Dadurch ist die Poisson-Verteilung für diskrete Werte größer gleich Null definiert und aus diesem Grund besonders für Zählgrößen geeignet. Für große Raten konvergiert die Poisson-Verteilung gegen eine Binominalverteilung.

Poisson-verteilte Daten können durch Regressionsmodelle analysiert werden. Ziel einer Poisson-Regression ist es, einen Zusammenhang zwischen einer abhängigen Zielgröße und einer oder mehreren unabhängigen Variablen herzuleiten. Die Zielgröße y_i ist mit dem Parameter λ poisson-verteilt und wird durch folgende Regressionsgleichung, der sogenannten „Generalgleichung“, beschrieben. Dabei bedeutet $\exp(x_i\beta)$ in sämtlichen in dieser Arbeit aufgeführten Formeln $e^{x_i\beta}$.

$$y_i = \exp(x_i\beta) = \exp(\beta_0 + \beta_1x_1 + \dots + \beta_nx_n)$$

² Namensgeber der Poisson-Verteilung ist Simeon Denis Poisson, der 1837 diese herleitete. Die Poissonverteilung beschreibt die Häufigkeit des Auftretens von seltenen Ereignissen. Da aber eine sehr große Anzahl von Elementen existiert, bei der das Ereignis eintreten könnte, ist das Ereignis derart beobachtbar, dass ein Wert für das durchschnittliche Auftreten in einem Zeit- oder Raumintervall angegeben werden kann (www.poissonverteilung.de)

Die Kovariablen haben also einen multiplikativen Einfluss auf die durchschnittliche Anzahl der erwarteten Ereignisse, da

$$\begin{aligned}y_i &= \exp(x_i\beta) = \exp(\beta_0 + \beta_1x_1 + \dots + \beta_ix_i) \\ &= \exp(\beta_0) \exp(\beta_1x_1) \cdot \dots \cdot \exp(\beta_ix_i)\end{aligned}$$

Das Statistikprogramm SPSS listet für jedes Regressionsmodell die Schätzungen der Parameter β_0 und β_i auf. Diese können wie folgt interpretiert werden:

- β_0 : Unter der Annahme, dass alle Einflussgrößen null sind, in der vorliegenden Arbeit also keine patientenbezogenen Parameter vorliegen, entspricht $\exp(\beta_0)$ der geschätzten erwarteten EK-Anzahl.
- β_i : Falls sich eine patientenbezogene Variable x_i um eine Einheit ändert, erhöht oder reduziert sich die erwartete EK-Anzahl je nach Vorzeichen des Parameters β_i um den Faktor $\exp(\beta_i)$, unter der Annahme, dass alle anderen Prädiktoren konstant sind.

Zur Beschreibung der Regressionsanalyse wurden folgende Parameter verwendet: der Schätzwert des Parameters β , der Standard-Fehler des Schätzers (SE), die Wald-Statistik, der p-Wert, die Exponentialfunktion $\exp(\beta)$ und das 95%-Konfidenzintervall für $\exp(\beta)$.

In das beste Modell gingen letztendlich nur diejenigen Variablen ein, die signifikant mit der Zielvariablen korrelierten. Eine Irrtumswahrscheinlichkeit mit $p < 0,05$ wurde als signifikant erachtet.

2.3.5 Vergleich des mittleren Transfusionsbedarfs

Einen weiteren Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit bildet der Vergleich der im vorliegenden Kollektiv durchschnittlich bestellten EK-Menge und der in den Transfusionskatalogen der einzelnen Kliniken empfohlenen EK-Anzahl mit den Ergebnissen der Poisson-Regression. Diese Gegenüberstellung dient dem Zweck, die Eignung der tatsächlich beobachteten bzw. der im Transfusionskatalog hinterlegten mittleren EK-Anzahl als Schätzwerte für den erwarteten Transfusionsbedarf zu untersuchen.

Für jede Operation wird hierfür der im Rahmen der Poisson-Analyse ermittelte Algorithmus auf die Patientendaten im Kollektiv angewandt und die benötigte EK-Anzahl mittels der Regressionsgleichung geschätzt. Angegeben werden das arithmetische Mittel und das

dazugehörige 95%-Konfidenzintervall. Dieses definiert den Sicherheitsbereich, in welchen sich die erwartete Anzahl an Blutprodukten mit einer 95%-igen Wahrscheinlichkeit bewegt.

Liegt der Mittelwert der im Betrachtungszeitraum angeforderten oder aufgrund der klinischen Expertise im Transfusionskatalog hinterlegten EK-Anzahl außerhalb des im Rahmen der Poisson-Regression berechneten Konfidenzintervalls, besteht ein statistisch eindeutiger Unterschied zwischen der im vorliegenden Datensatz beobachteten und der algorithmisch berechneten Anzahl an benötigten EKs. Die Richtwerte für die präoperative Bestellung von EKs sollten in diesem Falle entsprechend überdacht und an die Ergebnisse der Poisson-Regression angepasst werden.

Liegt der Mittelwert der angeforderten oder aufgrund der klinischen Expertise im Transfusionskatalog hinterlegten EK-Anzahl hingegen innerhalb des Konfidenzintervalls und umfasst dieses einen relativ eng umgrenzten Bereich, so beträgt die Wahrscheinlichkeit 95%, dass das Konfidenzintervall die wahre unbekannte Anzahl an EKs beinhaltet und der beobachtete Mittelwert ein guter Schätzer ist. Bei einem breiten Konfidenzintervall enthält der Datensatz nicht genügend Informationen, um eine Aussage über die erwartete mittlere EK-Anzahl treffen zu können.

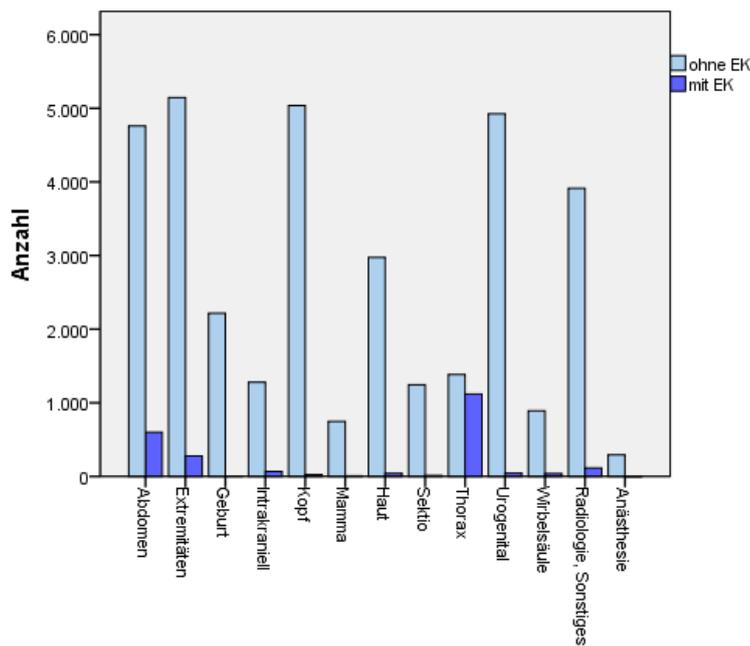
3. Ergebnisse

3.1 Deskriptive Statistik

3.1.1 Durchgeführte Eingriffe

Im Zeitraum vom 20.08.2013 bis zum 20.08.2014 wurden an den verschiedenen Standorten des Klinikums der Universität München 37.188 Operationen durchgeführt. Insgesamt betrachtet wurden die meisten Eingriffe am Abdomen und den Extremitäten (jeweils etwa 14%) vorgenommen, gefolgt von Operationen am Kopf und im Urogenitaltrakt (jeweils ca. 13%). Radiologische Interventionen machten 10% der Eingriffe aus. Die meisten Erythrozytenkonzentrate erforderten Eingriffe am Thorax. Abdominelle und die Extremitäten betreffende Operationen standen an zweiter und dritter Stelle.

Abbildung 1: Anzahl der Operationen ohne und mit Transfusionsbedarf

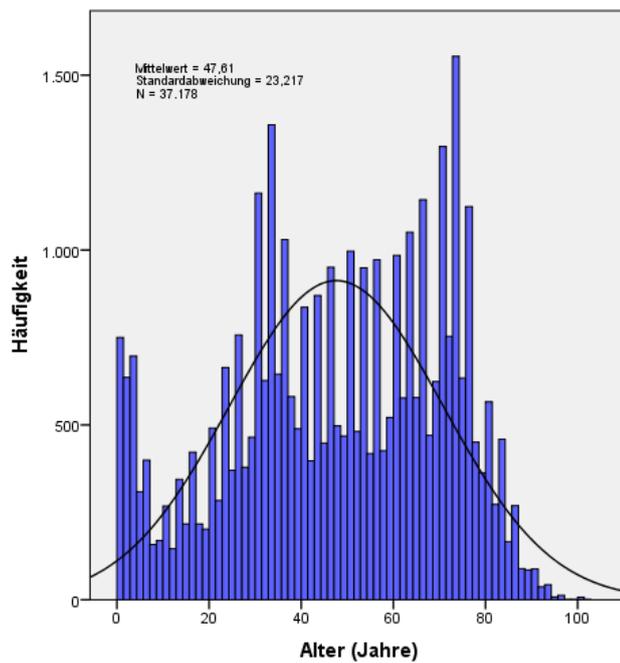


Insgesamt betrachtet wurden mehr Erythrozytenkonzentrate präoperativ bestellt als perioperativ verbraucht. Die durchschnittliche Anzahl der bestellten EKs lag bei 3,5 Beuteln. Verbraucht wurden durchschnittlich 2,8 EKs.

3.1.2 Alters- und Geschlechtsverteilung

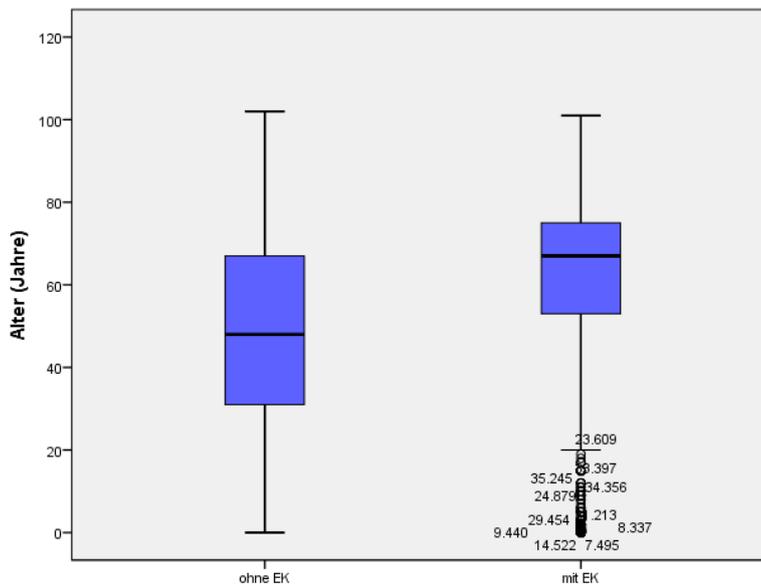
Im Gesamtkollektiv waren die Patienten zwischen 0 und 102 Jahren alt, der Mittelwert lag bei 48 Jahren. Es konnten drei Häufigkeitsgipfel beobachtet werden: ein Gipfel im 1. Lebensjahr, eine weiterer bei etwa 35 Jahren und ein Gipfel bei 75 Jahren.

Abbildung 2: Histogramm für die Variable Alter ohne Transfusionsbedarf



Bei den 34.825 Eingriffen, die keine Blutübertragung erforderten, lag der Altersdurchschnitt bei 47 Jahren. Die 2.353 transfundierten Patienten waren durchschnittlich 61 Jahre alt. Der Kruskal-Wallis-Test zeigte, dass die Anzahl der verabreichten EKs signifikant durch die Altersgruppen beeinflusst wird ($p=0,000$).

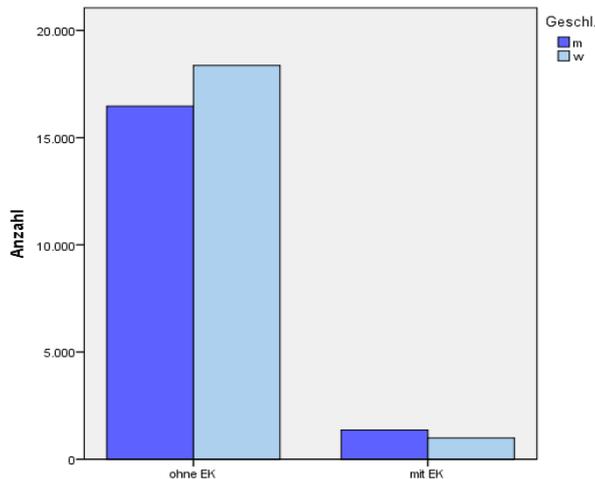
Abbildung 3: Boxplot für die Variable Alter ohne und mit Transfusionsbedarf



Im Gesamtkollektiv war das Geschlechterverhältnis relativ ausgewogen. 52% der Operationen wurden an Frauen vorgenommen, 48% an Männern. Mit 58% war der überwiegende Teil der transfundierten Patienten männlich. Zwischen Männern und Frauen lässt

sich ein Unterschied in der Anzahl der benötigten Blutprodukte vermuten ($p=0,005$). Der Mann-Whitney-U-Test zeigte, dass der Bedarf bei Männern größer ausfällt (mittlerer Rang = 1210) als bei Frauen (mittlerer Rang = 1134). Männer verbrauchten durchschnittlich 2,9 EKs, Frauen 2,7 EKs.

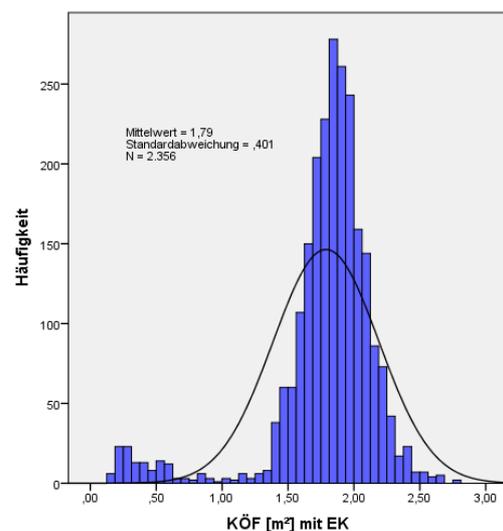
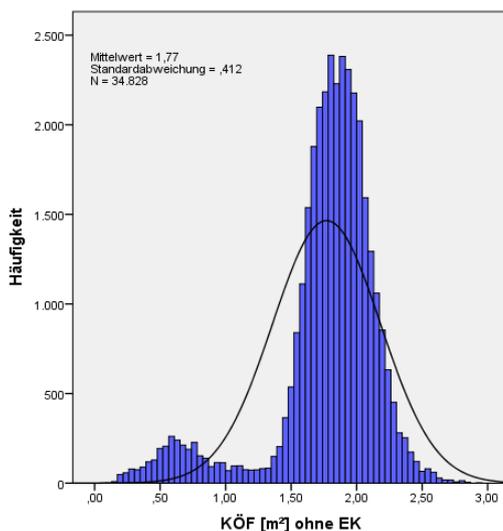
Abbildung 4: Absolute Häufigkeiten für die Variable Geschlecht ohne und mit Transfusionsbedarf



3.1.3 Körperoberfläche

Die mittlere Körperoberfläche der Patienten ohne Transfusionsbedarf betrug 1,77 m². Ein Gipfel lag bei 0,6 m² und ein weiterer bei 1,8 m². Auch bei den transfundierten Patienten zeigt sich eine zweigipflige Verteilung um 0,2 m² Körperoberfläche und um 1,8 m². Der Mittelwert lag hier bei 1,79 m².

Abbildung 5: Histogramm für die Variable Körperoberfläche ohne Transfusionsbedarf
Abbildung 6: Histogramm für die Variable Körperoberfläche mit Transfusionsbedarf



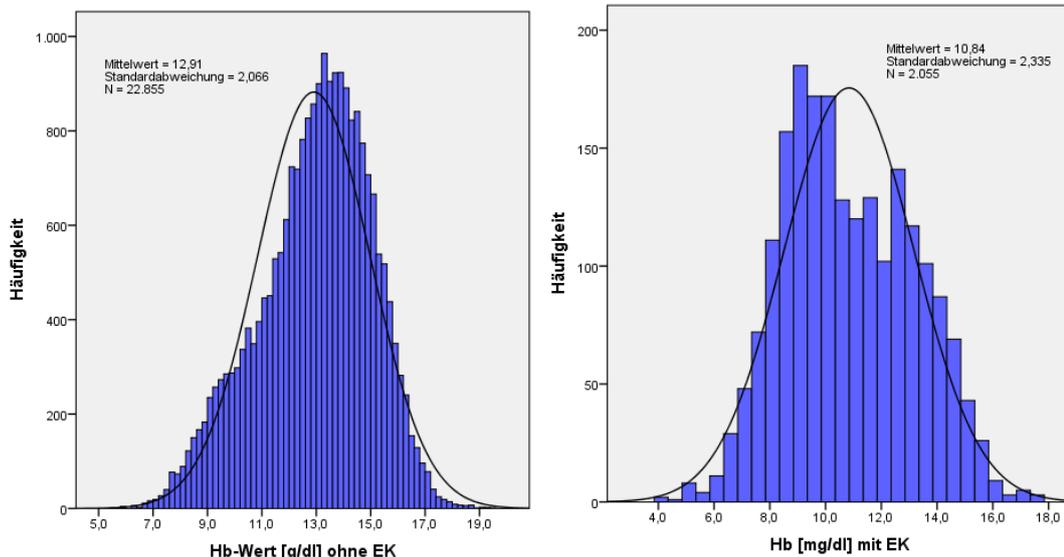
Pädiatrische Patienten mit einer Körperoberfläche $< 0,49\text{m}^2$ benötigten im Mittel 1,6 EKs, bestellt wurden vorab für diese Gruppe 2,2 EKs. Bei einer Körperoberfläche zwischen $1,50$ und $1,99\text{m}^2$ wurden durchschnittlich 3,4 EK-Beutel angefordert und 2,8 verabreicht. Patienten mit einer Körperoberfläche $>2,5\text{m}^2$ benötigten die meisten EKs. Durchschnittlich wurden für diese Gruppe 5,5 Beutel präoperativ bestellt und 6,9 EKs transfundiert. Zwischen der Anzahl der verabreichten EKs und der Körperoberfläche scheint zumindest teilweise ein signifikanter Zusammenhang zu bestehen. Dieser zeigt sich insbesondere beim paarweisen Vergleich mit adjustierten p-Werten zwischen der Gruppe 1 (KÖF $<0,49\text{m}^2$, $p=0,040$) und den Gruppen 3 (KÖF $1,0-1,49\text{m}^2$, $p=0,000$), 4 (KÖF $1,5-1,99\text{m}^2$, $p=0,000$), 5 (KÖF $2,0-2,49\text{m}^2$, $p=0,000$) und 6 (KÖF $>2,5\text{m}^2$, $p=0,000$). Beinahe alle anderen paarweisen Vergleiche zeigten keine signifikanten Unterschiede ($p>0,05$).

3.1.4 Ausgangs-Hämoglobin-Wert

Der Ausgangs-Hämoglobin-Wert von nicht-transfunden Patienten lag zwischen $4,9$ und $19,5$ g/dl, der Mittelwert bei $12,91$ g/dl. Patienten, die während der Operation Blutprodukte erhielten, wiesen einen durchschnittlichen Hb-Wert von $10,84$ g/dl auf.

Abbildung 7: Histogramm für die Variable Ausgangs-Hämoglobinwert ohne Transfusionsbedarf

Abbildung 8: Histogramm für die Variable Ausgangs-Hämoglobinwert mit Transfusionsbedarf



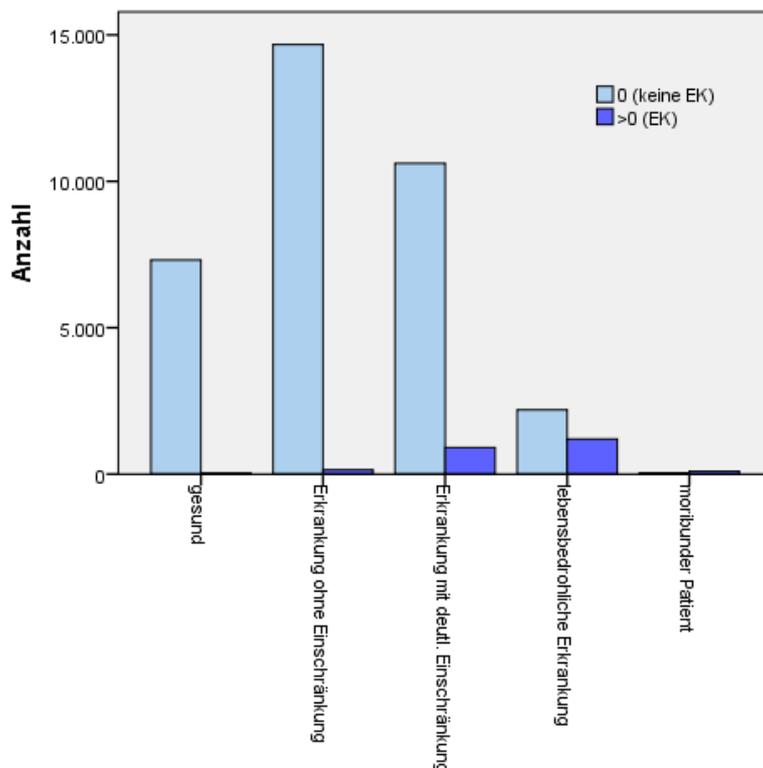
Je nach Höhe des Hämoglobinwerts variierte die durchschnittlich verabreichte Anzahl von EKs. Bei einem Hb-Wert < 10 g/dl wurden im Mittel 3,6 EKs angefordert und 2,9 EKs verbraucht, während Patienten mit einem Hb-Wert >12 g/dl von den 3,7 bestellten

Beutel 2,6 perioperativ benötigten. Es besteht mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Zusammenhang zwischen der Höhe des Hb-Werts und der Anzahl der erforderlichen EK-Anzahl ($p=0,003$). Der Korrelationskoeffizient ist negativ und beträgt $-0,066$. Je geringer also der Hb-Wert ist, desto mehr EKs sind erforderlich.

3.1.5 ASA-Risikoklassifikation

Während 42% der Patienten ohne Transfusionsbedarf in die ASA-Gruppe 2 eingestuft wurden, gefolgt von ASA 3 (31%) und ASA 1 (21%), wiesen Patienten, bei denen Eingriffe unter Verwendung von EKs vorgenommen wurden, ein höheres perioperatives Risiko auf. Mit 51% litten knapp die Hälfte dieser Patienten an einer lebensbedrohlichen Erkrankung (ASA 4) und 39% an einer Erkrankung mit zumindest deutlicher Einschränkung (ASA 3). Lediglich 20 Gesunde, und damit 0,8% der Patienten, erhielten im Rahmen des vorgenommenen Eingriffs Blutprodukte. 8 Verstorbene (ASA 6) wurden in die weitere Analyse nicht einbezogen.

Abbildung 9: Absolute Häufigkeiten für die Variable ASA-Risikoklassifikation ohne und mit Transfusionsbedarf



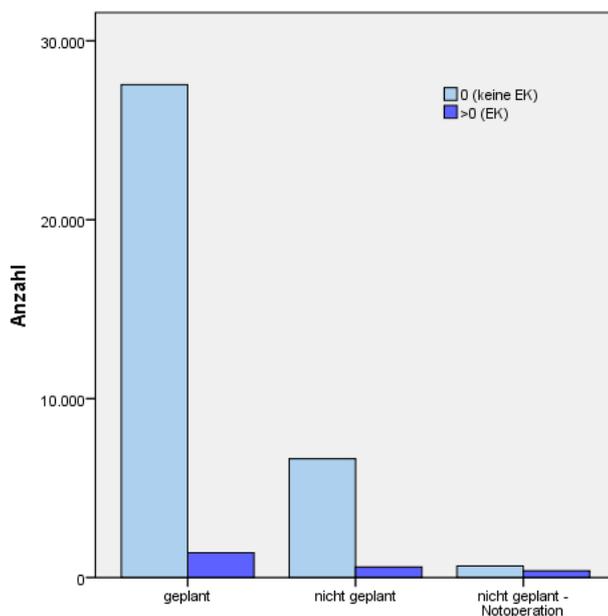
Für Patienten der ASA-Gruppen 1 und 2 wurden durchschnittlich weniger EK-Beutel angefordert als letztendlich benötigt wurden, nämlich 1,5 versus 2,0 bei ASA 1 und 1,6 versus 2,9 bei ASA 2, während die mittlere Anforderung und der Verbrauch von EKs in

der ASA-Klasse 3 jeweils 2,4 Beutel betragen. Für lebensbedrohlich erkrankte und moribunde Patienten wurden präoperativ mehr Blutprodukte bestellt, als perioperativ verbraucht (ASA 4: 4,3 versus 2,9; ASA 5: 6,2 versus 4,9). Eine Beeinflussung der Anzahl der notwendigen EKs durch die ASA-Risikoklassifikation ist gemäß dem Kruskal-Wallis-Test höchst wahrscheinlich ($p=0,000$).

3.1.6 Dringlichkeit

Unabhängig vom Transfusionsbedarf handelte es sich bei der überwiegenden Zahl der Eingriffe um geplante Operationen. Eingriffe, die ohne Transfusion von statten gingen, waren in 79% der Fälle geplant und 19% der Fälle ungeplant, nur 1,9% der Operationen wurden notfallmäßig durchgeführt. Dahingegen erforderten 59% der geplanten und 25% der ungeplanten Operationen die Verabreichung von EKs, während in 16% der Notfall- eingriffe transfundiert werden musste.

Abbildung 10: Absolute Häufigkeiten für die Variable Dringlichkeit ohne und mit Transfusionsbedarf



Im Mittel wurde für geplante Eingriffe 2,7 Beutel EKs bestellt und 2,6 verwendet. Ungeplante Eingriffe benötigten durchschnittlich 3,1 Einheiten EKs, während präoperativ 3,9 EKs angefordert wurden. Für Notfalloperationen wurden die meisten Beutel angefordert, der Mittelwert lag bei 5,6 Stück, während letztendlich durchschnittlich 3,1 EKs verbraucht wurden. Ein Zusammenhang der Dringlichkeit eines Eingriffs mit der Verabreichung von EKs zeigte sich als wahrscheinlich ($p=0,000$).

3.2 Regressionsanalyse

Die Regressionsanalyse verfolgt im Rahmen der vorliegenden Arbeit das Ziel, den Einfluss der unabhängigen Variablen Alter, Geschlecht, Körperoberfläche, Hb-Wert, ASA-Risikoklassifikation und Dringlichkeit auf die Anzahl der Erythrozytenkonzentrate als abhängige Variable näher zu untersuchen und dabei die Zusammenhänge, die bereits durch die Teststatistik annäherungsweise dargestellt wurden, für jede einzelne Operation zu spezifizieren, um daraus einen allgemeinen Algorithmus zur Einschätzung des Transfusionsbedarfs abzuleiten.

3.2.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Einige Prozeduren konnten nicht in die Regressionsanalyse einbezogen werden. Hierbei handelt es sich um Eingriffe, die im beobachteten Zeitraum keine Transfusionsaktivität erforderten. Operationen, die mehr als 100 Mal ohne Verwendung von EKs durchgeführt wurden, lassen darauf schließen, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit generell kein Transfusionsbedarf bei diesen Eingriffen zu erwarten ist. Dagegen weisen Eingriffe, die weniger als 100 Mal vorgenommen wurden, ein zu kleines Patientenkollektiv auf, als dass eine allgemeine Aussage zum Transfusionsbedarf abgeleitet werden könnte. Die Notwendigkeit einer Verabreichung von Blutprodukten erscheint bei diesen Eingriffen jedoch eher unwahrscheinlich.

Tabelle 3: Operationen ohne Transfusionsbedarf

OP gemäß Transfusionskatalog der ATMZH	Operationen mit Transfusionsbedarf	Operationen insgesamt	Transfusionsrate
Radikale Prostatektomie (offen/Da Vinci)	0	174	0,00%
Nierenbeckenplastik Da Vinci	0	34	0,00%
TUR-P	0	386	0,00%
URS	0	162	0,00%
Sachse Inkontinenz-OP's (Advance, Botox etc.)	0	206	0,00%
Harnröhrenrekonstruktion	0	37	0,00%
Phimose, Nesbit-OP's etc.	0	182	0,00%
Schulter-ASK	0	82	0,00%
Periphere Handeingriffe	0	212	0,00%
WS-Nucleotomie	0	165	0,00%
Lap/offene Leistenhernie	0	78	0,00%
Lap Sleeve Gastrektomie	0	14	0,00%
Lap Adrenalektomie	0	45	0,00%
Shuntanlagen	0	119	0,00%
Femoralis TEA/Profundoplastik	0	5	0,00%
VP-Shunt	0	92	0,00%
Stereotaktische Eingriffe	0	246	0,00%
Panfaziales Trauma	0	77	0,00%
Larynektomie	0	95	0,00%

Von einer Berücksichtigung in der Regressionsanalyse wurde auch bei Eingriffen Abstand genommen, die eine Transfusionsrate von weniger als 5% oder aber ein zu kleines Patientenkollektiv auswiesen. In diesen Fällen können keine verwertbaren Resultate abgeleitet werden.

Tabelle 4: Operationen mit einem Transfusionsbedarf <5% oder kleinem Patientenkollektiv

OP gemäß Transfusionskatalog der ATMZH	Operationen mit Transfusionsbedarf	Operationen insgesamt	Transfusionsrate
Prostataadenomenukleation	2	200	1,00%
TUR-B	1	363	0,28%
Knie-ASK	1	243	0,41%
Periphere Fußeingriffe	2	83	2,41%
Knie-TEP	5	144	3,47%
Metallentfernungen	2	591	0,34%
Pankreasresektion	2	57	3,51%
Gastrektomie	1	14	7,14%
Nieren-/Pankreastransplantation	4	83	4,82%
Lap/offene CHE	5	147	3,40%
Lap IPOM	1	63	1,59%
Thoraxwandresektion mit Plastischer Deckung	1	26	3,85%
Offene atypische Resektion der Lunge	3	103	2,91%
Varizeneingriffe	1	39	2,56%
Minoramputationen	1	110	0,91%
Hüft-/Femur-/Unterschenkel-/Ellenbogen-/Humerus-/Beckenfrakturen	61	1389	4,39%
Intraaxiale Tumoren/Metastasen/Schädelbasis, Meningeome	3	71	4,23%
Stenosen (lumbal+cervikal)	1	45	2,22%
WS Tumore	7	151	4,64%
Herzkatheter diagnostisch	5	138	3,62%
Aortendissektion	3	11	27,27%
Explorativ-Laparatomie (Corpus/Cervix)	1	222	0,45%
Konisation/Hysteroskopie/fraktionierte Abrasio	4	1104	0,36%
Geburt	2	2120	0,09%
Sectio	12	1257	0,95%
Tumorresektion im HNO-Bereich + Neck dissection	1	66	1,52%
Größere Tumoroperationen im HNO-Bereich	5	169	2,96%
Paraganglion	1	93	1,08%

Alle anderen Eingriffe, die in mehr als 5% der Fälle mit einer Transfusion verbunden waren, wurden einer Regressionsanalyse nach Poisson unterzogen. Die Ergebnisse der Analyse für die einzelnen Prozeduren finden sich in den nachfolgenden Kapiteln.

3.2.2 Urologische Eingriffe

Zwei Eingriffe aus dem urologischen Bereich standen in mehr als 5% der Fälle mit einer Blutübertragung in Verbindung und wurden daher in die Regressionsanalyse einbezogen. Es handelt sich um die Radikale Zystektomie und die Tumornephrektomie/Nephroureterektomie.

abreichten EKs lediglich vermuten ($p=0,073$). Die p-Werte für das Geschlecht, die Körperoberfläche und die ASA-Klassen lagen weit über dem Signifikanzniveau von 0,05. Die Variable Dringlichkeit wurde nicht in Analyse einbezogen, da sämtliche Eingriffe geplant und somit einer einzigen Kategorie zugeordnet waren. Der Schätzwert des Parameters B informiert über die Richtung des Einflusses einer unabhängigen Variable. Das positive Vorzeichen besagt, dass mit zunehmendem Alter der Bedarf an EKs steigt. Die Exponentialfunktion $\text{Exp}(B)$ gibt dabei den Faktor der Veränderung an. Unter der Annahme konstanter Werte aller anderen Variablen steigt mit jedem Lebensjahr die erwartete Anzahl an EKs um den Faktor 1,032. Der negative B-Koeffizient der unabhängigen Variablen Hb-Wert bedeutet, dass bei steigendem Hämoglobin die Transfusionswahrscheinlichkeit abnimmt. Die erwartete Anzahl EKs sinkt mit jeder Einheit Hb um den Faktor $\text{Exp}(B)=0,762$.

Tabelle 8: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	,584	1,6461	,126	1	,723	1,794	,071	45,173
AlterJahre	,031	,0176	3,204	1	,073	1,032	,997	1,068
HbWertNarko	-,272	,0642	17,919	1	,000	,762	,672	,864

Aus den genannten Parametern lässt sich die Anzahl der benötigten EKs unter Heranziehung der Variablen Alter und Hb-Wert wie folgt abschätzen:

$$\lambda = \exp(0,584 + 0,031 * \text{Alter} - 0,272 * \text{HbWert})$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Wie die in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten deskriptiven Kennzahlen zeigen, stellte sich der mittlere tatsächliche Bedarf an EKs niedriger heraus, als präoperativ angenommen.

Tabelle 9: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Radikale	Anforderung	85	0,0	4,0	1,224	1,491
Zystektomie	Verbrauch	85	0,0	5,0	,612	1,156

Unter Anwendung des Algorithmus aus der Poisson-Regression erfolgte auf Basis der Patientendaten im vorliegenden Kollektiv eine Schätzung der benötigten EK-Anzahl. Das zugehörige Konfidenzintervall definiert dabei den Sicherheitsbereich, in welchem sich die erwartete Anzahl an Blutprodukten mit einer 95%-igen Wahrscheinlichkeit bewegt.

Die Breite des Konfidenzintervall lässt auf die Eignung eines Schätzers für die Vorhersage des EK-Bedarfs schließen.

Liegt der Mittelwert der im Betrachtungszeitraum angeforderten oder aufgrund der klinischen Expertise im Transfusionskatalog hinterlegten EK-Anzahl außerhalb des im Rahmen der Poisson-Regression berechneten Konfidenzintervalls, besteht ein statistisch eindeutiger Unterschied zwischen der im vorliegenden Datensatz beobachteten und der algorithmisch berechneten Anzahl an benötigten EKs. Die Richtwerte für die präoperative Bestellung von EKs sollten in diesem Falle entsprechend überdacht und an die Ergebnisse der Poisson-Regression angepasst werden.

Liegt der Mittelwert der angeforderten oder aufgrund der klinischen Expertise im Transfusionskatalog hinterlegten EK-Anzahl hingegen innerhalb des Konfidenzintervalls und umfasst dieses einen relativ eng umgrenzten Bereich, so beträgt die Wahrscheinlichkeit 95%, dass das Konfidenzintervall die wahre unbekannte Anzahl an EKs beinhaltet und der beobachtete Mittelwert ein guter Schätzer ist. Bei einem breiten Konfidenzintervall enthält der Datensatz nicht genügend Informationen, um eine Aussage über die erwartete mittlere EK-Anzahl treffen zu können.

Im Falle der Radikalen Zystektomie liegt die durchschnittlich angeforderte EK-Menge außerhalb des Konfidenzintervalls und unterscheidet sich daher statistisch eindeutig von der im Rahmen der Poisson-Regression berechneten erwarteten Anzahl. Die präoperative Bestellmenge sollte entsprechend an eine im Konfidenzintervall liegende Anzahl angepasst werden.

Das auf Basis des oben hergeleiteten Algorithmus ermittelte Konfidenzintervall liegt zwischen 0,336 und 0,694 EKs, gerundet also zwischen 0 und 1, was einer praxisnahen von ganzen EK-Beuteln ausgehenden Betrachtungsweise entspricht. Für die Praxis resultieren hieraus zwei Optionen: Für die genannte Operation können je nach individuellen Bedürfnissen 0 EK oder 1 EK eingeplant werden. Im Transfusionskatalog werden für die Radikale Zystektomie 0 EK ausgewiesen, was folglich korrekt und angemessen ist.

Tabelle 10: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				MW	SE	95% CI	
						oberer	unterer
Radikale Zystektomie	1,224	,612	0	,483	,0892	,336	,694

3.2.2.2 Tumornephrektomie/Nephroureterektomie

Deskriptive Statistik

Die Operation wurde an 273 Personen vorgenommen, wobei 26 Eingriffe den Einsatz von Konserven erforderten. Das Durchschnittsalter im Gesamtkollektiv lag bei 60 Jahren, transfundierte Patienten waren im Mittel etwa 70 Jahre alt. Mit 64% waren überwiegend Männer von einer Tumornephrektomie bzw. einer Nephroureterektomie betroffen, Transfusion benötigten mit 69% ebenfalls überwiegend männliche Patienten. Der Eingriff barg bei der Hälfte der Patienten ein hohes perioperatives Risiko (ASA3). Mit 69% waren es vor allem auch diese Patienten, denen EKs verabreicht wurden.

Tabelle 11: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Tumornephrektomie/	EK>=0	273	175	64,1	98	35,9	60,352	14,329
Nephroureterektomie	EK=0	247	157	63,6	90	36,4	59,385	14,282
	EK>=1	26	18	69,2	8	30,8	69,538	11,403

Tabelle 12: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			Tumornephrektomie/	EK>=0	273	13,507
Nephroureterektomie	EK=0	247	13,765	1,872	1,954	,298
	EK>=1	26	11,112	2,056	1,844	,218

Tabelle 13: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA						Dringlichkeit									
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Tumornephrektomie/	EK>=0	273	16	5,9	117	42,9	135	49,5	5	1,8								
Nephroureterektomie	EK=0	247	16	6,5	111	44,9	117	47,4	3	1,2								
	EK>=1	26			6	23,1	18	69,2	2	7,7								

Poisson-Regression

Annähernd alle Eingriffe waren geplant, so dass die Dringlichkeit der Operationen nicht als unabhängige Variable in das Modell integriert wurde. Die Körperoberfläche und die ASA-Risikoklassifikation zeigten für das vorliegende Kollektiv keine Signifikanz, so dass schließlich lediglich die Variablen Alter, Hb-Wert und Geschlecht im Modell verblieben. Mit jedem Lebensjahr erhöht sich die Anzahl der benötigten EKs um den Faktor 1,032, während ein um eine Einheit fallender Hb-Wert den EK-Bedarf um den Faktor 0,630

erhöht. Mit einem p-Wert von kleiner als 0,0001 ist der Einfluss des Geschlechts auf den Transfusionsbedarf statistisch eindeutig. Männer benötigen 3,549 EKs mehr als Frauen.

Tabelle 14: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	1,645	,7814	4,434	1	,035	5,183	1,121	23,970
AlterJahre	,032	,0083	14,868	1	,000	1,032	1,016	1,049
HbWertNarko	-,463	,0476	94,339	1	,000	,630	,573	,691
Mann	1,267	,3015	17,648	1	,000	3,549	1,966	6,410
Frau	0	1	.	.

Aus den Ergebnissen der Regressionsanalyse lässt sich folgender Algorithmus ableiten:

$$\lambda = \exp\left(1,645 + 0,032 * \text{Alter} - 0,463 * \text{HbWert} + \begin{cases} 1,267 (\text{Mann}) \\ 0 (\text{Frau}) \end{cases}\right)$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Im Gesamtkollektiv wurden präoperativ durchschnittlich mehr EKs bestellt als letztendlich benötigt wurden.

Tabelle 15: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Tumornephrektomie/	Anforderung	273	0,0	10,0	1,007	1,453
Nephroureterektomie	Verbrauch	273	0,0	17,0	,311	1,389

Die im Datensatz beobachtete mittlere Bestellmenge liegt außerhalb des im Rahmen der Poisson-Regression für das vorhandene Patientenkollektiv berechneten Konfidenzintervalls und unterscheidet sich damit statistisch eindeutig vom geschätzten Transfusionsbedarf.

Die mit Hilfe der Regressionsanalyse ermittelte erwartete EK-Anzahl liegt zwischen 0,093 und 0,198. Die Tumornephrektomie erfordert also annähernd 0 EK, so dass die im Transfusionskatalog empfohlene Menge zutreffend ist.

Man beachte, dass Tumornephrektomien mit Cavazapfen einen weitaus größeren Blutbedarf als alleinige Tumornephrektomien erfordern. Diese Fälle konnten allerdings nicht gesondert kodiert werden und sind somit zwar integraler Bestandteil der Analyse, verlangen in der Praxis jedoch eine Einzelfallbetrachtung.

Tabelle 16: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				MW	SE	95% CI	
						oberer	unterer
Tumornephrektomie/ Nephroureterektomie	1,007	,311	0	,136	,0263	,093	,198

3.2.3 Orthopädische Eingriffe

Der Transfusionskatalog der Orthopädischen Klinik und Poliklinik umfasst folgende Eingriffe: Knie-ASK, Schulter-ASK, Periphere Handeingriffe, Periphere Fußeingriffe, Hüft-TEP, Hüft-TEP-Wechsel, Knie-TEP, Knie-TEP-Wechsel, WS-Nucleotomie und Metallentfernungen. Aufgrund der Vorgabe, nur solche Operationen in die Regressionsanalyse einzubeziehen, die in mindestens 5% der Fälle eine Übertragung von Blutprodukten erforderten, beschränken sich die nachfolgenden Ausführungen auf den Einsatz einer Hüft-TEP, auf den Wechsel einer Hüft-TEP und den Wechsel einer Knie-TEP.

3.2.3.1 Hüft-TEP

Deskriptive Statistik

Der Ersatz des Hüftgelenks durch eine Endoprothese ist ein relativ häufiger operativer Eingriff, der im Beobachtungszeitraum insgesamt 261 Mal und in ungefähr zwei Drittel der Fälle an weiblichen Patienten vorgenommen wurde, wobei das Geschlechterverhältnis in beiden Patientenkollektiven (ohne bzw. mit Transfusion) in etwa konstant war. Das Durchschnittsalter lag bei 70 Jahren. Die transfundierten Patienten wiesen durchschnittlich einen um 2,3 g/dl niedrigeren Hämoglobin-Wert auf. Bei dem überwiegenden Teil (ca. 60%) der Patienten war die Operation aufgrund des Vorliegens einer schweren Grunderkrankung mit einem mäßigen Risiko (ASA 3) verbunden. 10% der transfundierten Patienten litten an einer lebensbedrohlichen Erkrankung (ASA 4). Fast 90% der Eingriffe war geplant, lediglich eine Operation galt als Notfall.

Tabelle 17: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Hüft-TEP	EK>=0	261	103	39,5	158	60,5	69,747	16,156
	EK=0	222	88	39,6	134	60,4	69,527	16,088
	EK>=1	39	15	38,5	24	61,5	71,000	16,694

Anforderung und Verbrauch von EKs

Insgesamt betrachtet erforderte die Versorgung mit einem künstlichen Hüftgelenk einen durchschnittlich geringeren Einsatz an EKs als präoperativ kalkuliert.

Tabelle 21: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Hüft-TEP	Anforderung	261	0,0	8,0	,969	1,312
	Verbrauch	261	0,0	4,0	,284	,772

Das den Bereich von 0,237 bis 0,606 EKs und somit von 0 EK bis 1 EK umfassende Konfidenzintervall enthält sowohl die im Patientenkollektiv beobachtete angeforderte als auch die im Transfusionskatalog empfohlene EK-Anzahl. Aufgrund des relativ eng umgrenzten Bereichs enthält das Konfidenzintervall mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% die wahre unbekannte Anzahl an EKs und lässt auf eine gute Eignung des im Transfusionskatalog aufgeführten Schätzwerts schließen. Die Entscheidung für 0 EK oder 1 EK kann in der Praxis je nach interventions- und patientenbezogenen Erfordernissen getroffen werden.

Tabelle 22: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW	MW	MW	Poisson-Regression			
	Anforderung	Verbrauch	Katalog	MW	SE	95% CI oberer	95% CI unterer
Hüft-TEP	,969	,284	0	,379	,0908	,237	,606

3.2.3.2 Hüft-TEP-Wechsel

Deskriptive Statistik

Der Wechsel einer Hüft-TEP wurde bei 87 Personen durchgeführt, die im Mittel ca. 73 Jahre alt waren. Vor allem Frauen waren mit 60% von dieser Operation betroffen und stellten auch den Großteil derjenigen Patienten, die eine Transfusion benötigten, im Gegensatz zu Männern allerdings mit leicht fallender Tendenz. Der Hb-Wert der transfundierten Patienten lag niedriger, die Körperoberfläche hingegen etwas höher als bei den nicht-transfunden Personen. Die meisten Patienten wurden aufgrund ihrer bestehenden schweren Allgemeinerkrankung in die ASA-Klasse 3 eingestuft, so dass ein erhöhtes Operationsrisiko berücksichtigt werden musste. Gesunde Patienten (ASA 1) erhielten keine Blutprodukte. Es handelte sich meist um geplante Eingriffe, 5% wurden jedoch notfallmäßig durchgeführt.

Tabelle 23: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Hüft-TEP-Wechsel	gesamt	87	35	40,2	52	59,8	72,506	10,738
	EK=0	52	19	36,5	33	63,5	72,135	11,393
	EK>=1	35	16	45,7	19	54,3	73,057	9,819

Tabelle 24: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			Hüft-TEP-Wechsel	gesamt	87	11,698
	EK=0	52	12,517	1,944	1,855	,227
	EK>=1	35	10,480	1,705	1,954	,257

Tabelle 25: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA					Dringlichkeit										
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Hüft-TEP-Wechsel	gesamt	87	1	1,1	22	25,3	55	63,2	9	10,3	69	79,3	14	16,1	4	4,6		
	EK=0	52	1	1,9	18	34,6	27	51,9	6	11,5	39	75,0	10	19,2	3	5,8		
	EK>=1	35			4	11,4	28	80,0	3	8,6	30	85,7	4	11,4	1	2,9		

Poisson-Regression

Da Patienten der ASA-Gruppe 1 keine EKs benötigten, wurden diese nicht in die Regressionsanalyse einbezogen. Letztendlich zeigten die übrigen ASA-Gruppen für das vorliegende Kollektiv jedoch keine signifikanten Werte und wurden nicht weiter berücksichtigt. Gleiches galt für die Variablen Alter und Geschlecht. Die anderen unabhängigen Variablen haben einen statistisch abgesicherten Einfluss auf den EK-Bedarf und verblieben somit im Modell.

Tabelle 26: Modelleffekte

	Wald	df	Sig.
Konstante	1,495	1	,221
Dringlichkeit	9,772	2	,008
KÖFm ²	5,247	1	,022
HbWertNarko	37,575	1	,000

Ein um eine Einheit sinkender Hb-Wert erhöht die Anzahl an EKs um den Faktor 0,671, während eine um eine Einheit steigende Körperoberfläche die EK-Anzahl um den Faktor 3,068 erhöht. Als weiterer Einflussfaktor kommt die Dringlichkeit des Eingriffs in Frage. Im Vergleich zu Notfalleingriffen erforderten geplante und ungeplante Eingriffe einen

größeren EK-Einsatz. Die Unterschiede zwischen den einzelnen kategorialen Ausprägungen waren statistisch signifikant. Lediglich die ungeplante Eingriffe und Notfalloperationen schienen sich nicht in ihrem EK-Bedarf zu unterscheiden.

Tabelle 27: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	,782	1,3142	,354	1	,552	2,186	,166	28,720
Geplante OP	1,499	,7262	4,259	1	,039	4,476	1,078	18,577
Ungeplante OP	,537	,7966	,454	1	,500	1,711	,359	8,151
Notfall-OP	0					1		
KÖFm ²	1,121	,4895	5,247	1	,022	3,068	1,176	8,008
HbWertNarko	-,398	,0650	37,575	1	,000	,671	,591	,763

Die erwartete Anzahl an EKs lässt unter Anwendung folgender Rechenoperation abschätzen:

$$\lambda = \exp \left(0,782 + 1,121 * \text{KÖF} - 0,398 * \text{HbWert} - \begin{cases} 1,499 (\text{geplante OP}) \\ 0,537 (\text{ungeplante OP}) \\ 0 (\text{notfallmäßige OP}) \end{cases} \right)$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Im betrachteten Zeitraum wurden für den Wechsel einer Hüft-TEP etwas weniger EKs eingesetzt als erwartet.

Tabelle 28: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Hüft-TEP	Anforderung	87	0,0	4,0	1,379	1,504
Wechsel	Verbrauch	87	0,0	6,0	,908	1,386

Die beobachtete durchschnittliche Bestellmenge liegt außerhalb des mit Hilfe der Poisson-Regression ermittelten Konfidenzintervalls und unterscheidet sich damit statistisch von der geschätzten EK-Anzahl.

Das zwischen 0,190 und 0,627 liegende Konfidenzintervall umfasst den Bereich zwischen 0 und 1 und enthält somit die im Transfusionskatalog empfohlene EK-Anzahl, welche aufgrund der engen Intervallgrenzen als Schätzer für den EK-Bedarf geeignet ist. Je nach individuellen Bedürfnissen kann eine Erhöhung auf 1 EK erwogen werden.

Tabelle 29: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW	MW	MW	Poisson-Regression			
	Anforderung	Verbrauch	Katalog	MW	SE	95% CI	
						oberer	unterer
Hüft-TEP Wechsel	1,379	,908	0	,345	,1051	,190	,627

3.2.3.3 Knie-TEP-Wechsel

Deskriptive Statistik

Im Beobachtungszeitraum wurden insgesamt 73 Knie-TEPs ausgewechselt. Operationen ohne Transfusionsbedarf wurden in 53% der Fälle an Frauen vorgenommen, während 54 % der Patienten, die Blutprodukte benötigten, männlich waren. Transfundierte Patienten waren mit 62 Jahren etwa 4 Jahre jünger als die Personen, die keine EKs erhielten, und wiesen einen Hb-Wert von 11 g/dl auf. Beide Patientengruppen waren durch eine Allgemeinerkrankung überwiegend leicht (ASA 2) oder deutlich (ASA 3) eingeschränkt. Gesunden Patienten (ASA 1) wurden keine Blutkonserven verabreicht. Insgesamt handelte es sich mehrheitlich um geplante Eingriffe. Nur ein Eingriff wurde als Notfall klassifiziert, wobei keine Blutkonserven eingesetzt werden mussten.

Tabelle 30: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Knie-TEP- Wechsel	gesamt	73	35	47,9	38	52,1	65,534	19,596
	EK=0	60	28	46,7	32	53,3	66,283	19,592
	EK>=1	13	7	53,8	6	46,2	62,077	20,027

Tabelle 31: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			Knie-TEP- Wechsel	gesamt	73	12,133
	EK=0	60	12,422	1,982	1,870	,210
	EK>=1	13	11,023	2,076	1,857	,303

Tabelle 32: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA										Dringlichkeit					
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Knie-TEP- Wechsel	gesamt	73	3	4,1	24	32,9	43	58,9	3	4,1								
	EK=0	60	3	5,0	19	31,7	37	61,7	1	1,7								
	EK>=1	13			5	38,5	6	46,2	2	15,4								

Poisson-Regression

Auf der Suche nach dem besten Regressionsmodell mussten mehrere Anpassungen vorgenommen werden. Da Patienten der ASA-Klasse 1 keine EKs benötigten, wurde diese Patientengruppe nicht in die Analyse einbezogen. Gleiches galt für die ungeplanten notfallmäßig durchgeführten Eingriffe. Nach Ausschluss dieser beiden Ausprägungen konnten mehrere Einflussfaktoren auf den Blutbedarf bei dem Wechsel einer Knie-TEPs identifiziert werden.

Tabelle 33: Tests der Modelleffekte

	Wald	df	Sig.
Konstante	11,358	1,0000	0,001
ASACode	6,765	2,0000	0,034
AlterJahre	7,610	1,0000	0,006
HbWertNarko	7,332	1,0000	0,007

Eine Abhängigkeit der Anzahl an EKs vom Alter und Hb-Wert ließ sich statistisch eindeutig zeigen, die p-Werte beider unabhängigen Variablen bewegten sich weit unter dem Signifikanzniveau von 0,05. Im Schätzwert des Parameters B zeigte sich jeweils eine negative Korrelation, was dahingehend zu interpretieren ist, dass die erwartete Anzahl an EKs mit sinkendem Alter (Faktor 0,962) und fallendem Hb-Wert (Faktor 0,687) zunimmt. Generell ist der Einfluss der Einstufung in die ASA-Risikoklassifikation ebenfalls statistisch abgesichert (p=0,034). Im paarweisen Vergleich mit der ASA-Gruppe 4 zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Ausprägungen der unabhängigen Variable, wohl aber zwischen den ASA-Gruppen 2 und 3.

Tabelle 34: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	6,236	1,8378	11,514	1	,001	510,730	13,928	18728,378
ASA 2	,161	,9564	,028	1	,867	1,174	,180	7,653
ASA 3	-1,165	,8651	1,812	1	,178	,312	,057	1,700
ASA 4	0					1		
AlterJahre	-,039	,0141	7,610	1	,006	,962	,936	,989
HbWertNarko	-,375	,1386	7,332	1	,007	,687	,524	,902

Aus den aufgeführten Überlegungen ergibt sich folgender Algorithmus zur Schätzung der erwarteten Anzahl an EKs:

$$\lambda = \exp \left(6,236 - 0,039 * \text{Alter} - 0,375 * \text{HbWert} + \begin{cases} 0,161 \text{ (ASA 2)} \\ -1,165 \text{ (ASA 3)} \\ 0 \text{ (ASA 4)} \end{cases} \right)$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Der durchschnittliche Verbrauch erwies sich geringfügig niedriger als der präoperativ eingeschätzte Bedarf.

Tabelle 35: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Knie-TEP	Anforderung	73	0,0	8,0	,877	1,374
Wechsel	Verbrauch	73	0,0	4,0	,274	,692

Sowohl die in der Stichprobe beobachtete durchschnittlich angeforderte EK-Anzahl als auch der im Transfusionskatalog angegebene Richtwert sind Teil des zwischen 0 und 1 liegenden Konfidenzintervalls und eignen sich aufgrund der engen Intervallgrenzen daher als Schätzwerte für den Transfusionsbedarf. Die präoperative Entscheidung für die Bereitstellung von 0 oder 1 EK-Beutel sollte nach individuellen Gesichtspunkten erfolgen.

Tabelle 36: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				MW	SE	95% CI	
						oberer	unterer
Knie-TEP	,877	,274	0	,251	,0948	,120	,526
Wechsel							

3.2.4 Allgemeine - und viszeralchirurgische Eingriffe

An den einzelnen Standorten des Klinikums der Universität München wurde eine Vielzahl von Allgemein- und viszeralchirurgischen Eingriffen durchgeführt, wovon im Folgenden die Ösophagektomie, die Lebertransplantation, die Leberresektion, die Tiefe anteriore Rektumresektion, die Abdominoperineale Rektumexstirpation und die Hemikolektomie näher betrachtet werden.

3.2.4.1 Ösophagektomie

Deskriptive Statistik

Im betrachteten Jahr wurde bei 48 vorwiegend männlichen Patienten der Ösophagus entfernt. Frauen waren in 23% der Fälle von der Operation betroffen, erhielten jedoch keine Transfusionen. Die durchschnittlich 50 Jahre alten Patienten waren bei Durchführung des

Eingriffs relativ jung, während das Durchschnittsalter der transfundierten Patienten mit 65 Jahren deutlich höher lag. Bei den Laborwerten fällt besonders der Unterschied in der Körperoberfläche auf, die bei den Patienten, die Blutprodukte benötigten, deutlich über dem Gesamtdurchschnitt lag. Das perioperative Risiko beider Patientengruppen wurde mehrheitlich mit ASA 3 klassifiziert. Der überwiegende Anteil der Ösophagektomien war geplant. Von den sechs ungeplanten Operationen bestand bei keiner ein Transfusionsbedarf.

Tabelle 37: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Ösophagektomie	gesamt	48	37	77,1	11	22,9	49,568	25,445
	EK=0	43	32	74,4	11	25,6	47,820	26,081
	EK>=1	5	5	100,0			64,600	12,260

Tabelle 38: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			gesamt	48	12,829	2,259
Ösophagektomie	EK=0	43	12,931	2,281	1,625	,666
	EK>=1	5	12,100	2,178	1,895	,142

Tabelle 39: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA					Dringlichkeit										
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Ösophagektomie	gesamt	48	9	18,8	34	70,8	5	10,4					42	87,5	6	12,5		
	EK=0	43	8	18,6	31	72,1	4	9,3					37	86,0	6	14,0		
	EK>=1	5	1	20,0	3	60,0	1	20,0					5	100,0				

Poisson-Regression

Das Geschlecht und die Dringlichkeitsstufe des Eingriffs konnten für den bestehenden Datensatz nicht als unabhängige Variablen im Regressionsmodell herangezogen werden, da in beiden Fällen ausschließlich eine Kategorie vertreten war: transfundiert wurden lediglich Männer in durchweg geplanten Operationen. Folglich verblieben nur die Variablen Alter, Körperoberfläche, Hb-Wert und ASA-Klasse im Modell, die allesamt keine signifikanten Ergebnisse lieferten. Eine allgemeine Aussage bezüglich der Einflussfaktoren auf den Transfusionsbedarf bei der Ösophagektomie lässt sich hieraus aufgrund des limitierten Informationsgehalts im vorliegenden Patientenkollektiv jedoch nicht ableiten.

Tabelle 40: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	-1,728	2,3857	,525	1	,469	,178	,002	19,068
ASA 2	-1,370	1,4238	,926	1	,336	,254	,016	4,140
ASA 3	-,584	,9562	,373	1	,541	,557	,086	3,632
ASA 4	0					1		
AlterJahre	,012	,0246	,252	1	,616	1,012	,965	1,063
KÖFm ²	,679	1,0261	,438	1	,508	1,972	,264	14,734
HbWertNarko	-,060	,1723	,119	1	,730	,942	,672	1,321

Anforderung und Verbrauch von EKs

Wie die in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten deskriptiven Kennzahlen zeigen, stellte sich der mittlere tatsächliche Bedarf an EKs niedriger heraus, als präoperativ angenommen.

Tabelle 41: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Ösophag-ektomie	Anforderung	48	0,0	8,0	1,354	1,828
	Verbrauch	48	0,0	4,0	,250	,812

Im Fall der Ösophagektomie konnte für das vorliegende Patientenkollektiv keine signifikanten Einflussfaktoren auf den Transfusionsbedarf ermittelt werden, so dass sich die zukünftige Bestellpraxis an den bisherigen Regelungen orientieren sollte.

3.2.4.2 Lebertransplantation

Deskriptive Statistik

Am Klinikum der Universität München wurden während des der Analyse zugrunde liegenden Zeitraums 55 Lebern transplantiert, wovon bei 48 Eingriffen EKs eingesetzt wurden. Die Patienten waren in etwa zwei Drittel der Fälle männlichen Geschlechts und im Mittel 52 Jahre alt. Der Ausgangs-Hb-Wert der transfundierten Patienten lag deutlich unter dem derjenigen Patienten, die keine Blutprodukte benötigten. Aufgrund der schweren oder gar lebensbedrohlichen Vorerkrankungen der Patienten musste ein mäßiges bzw. hohes Operationsrisiko berücksichtigt werden. 85% der Eingriffe wurden ungeplant und 13% notfallmäßig durchgeführt. Nur eine Operation fand geplant statt.

Tabelle 42: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Leber-Tx	gesamt	55	37	67,3	18	32,7	51,927	12,262
	EK=0	7	4	57,1	3	42,9	52,286	14,256
	EK>=1	48	33	68,8	15	31,3	51,875	12,116

Tabelle 43: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			Leber-Tx	gesamt	55	10,698
	EK=0	7	13,400	1,757	1,979	,235
	EK>=1	48	10,304	2,331	1,960	,230

Tabelle 44: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA						Dringlichkeit									
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Leber-Tx	gesamt	55			30	54,5	25	45,5			1	1,8	47	85,5	7	12,7		
	EK=0	7			7	100,0							6	85,7	1	14,3		
	EK>=1	48			23	47,9	25	52,1			1	2,1	41	85,4	6	12,5		

Poisson-Regression

Nach primärer Berücksichtigung aller sechs unabhängigen Variablen im Regressionsmodell verblieben lediglich die Variablen ASA, Dringlichkeit und Hb-Wert im Modell, welche für den bestehenden Datensatz einen statistisch eindeutigen Einfluss auf die EK-Anzahl aufwiesen. Für die kategorialen Variablen ASA und Dringlichkeit wurden paarweise Vergleiche mit adjustierten p-Werten angestellt. Der paarweise Vergleich zwischen den einzelnen Kategorien der Variable ASA lieferte für alle Kombinationen hochsignifikante Ergebnisse, so dass ein statistisch abgesicherter Unterschied in der Anzahl der benötigten EKs je nach Zugehörigkeit zu ASA 3 oder ASA 4 besteht. Der Einfluss der Dringlichkeit einer Operation auf die Anzahl der benötigten EK ist mit einem p-Wert kleiner als 0,0001 grundsätzlich anzunehmen. Unterschiede in der EK-Anzahl scheinen jedoch nicht für jedwede Kombination zu bestehen, zumindest aber für ungeplante Eingriffe im Vergleich mit geplanten bzw. Notfalloperationen.

Tabelle 45: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	4,121	,3687	124,920	1	,000	61,597	29,905	126,875
ASA 3	-,402	,1256	10,267	1	,001	,669	,523	,855
ASA 4	0					1		
Geplante OP	1,068	,3837	7,740	1	,005	2,908	1,371	6,170
Ungeplante OP	-,509	,1710	8,871	1	,003	,601	,430	,840
Notfall-OP	0					1		
HbWertNarko	-,182	,0310	34,663	1	,000	,833	,784	,885

Der Algorithmus zur Abschätzung der erwarteten Anzahl an EKs lautet:

$$\lambda = \exp \left(4,121 - 0,182 * \text{HbWert} - \begin{cases} 0,402 \text{ (ASA 3)} \\ 0 \text{ (ASA 4)} \end{cases} + \begin{cases} 1,068 \text{ (geplante OP)} \\ -0,509 \text{ (ungeplante OP)} \\ 0 \text{ (notfallmäßige OP)} \end{cases} \right)$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Die Durchführung einer Leber-Transplantation erforderte mit durchschnittlich 5,3 EKs und maximal 27 EKs einen hohen Einsatz von Blutprodukten. Präoperativ wurden im Mittel ca. doppelt so viele EKs bestellt wie letztendlich verbraucht wurden

Tabelle 46: Vergleich Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Leber-Tx	Anforderung	55	0,0	12,0	10,727	2,415
	Verbrauch	55	0,0	27,0	5,273	4,832

Die im Betrachtungszeitraum durchschnittlich angeforderte EK-Anzahl liegt innerhalb des im Rahmen der Poisson-Regression berechneten Konfidenzintervalls. Aufgrund des relativ breiten Konfidenzintervalls, welches den schwer kalkulierbaren Transfusionsbedarf bei Lebertransplantationen widerspiegelt, eignet sich die beobachtete mittlere Bestellmenge eher mäßig als Schätzer für die erwartete EK-Anzahl.

Den aufgrund der klinischen Expertise im Transfusionskatalog angegebenen Transfusionsbedarf in Höhe von 6 EKs ist im gerundet den Bereich zwischen 7 und 11 umfassenden Konfidenzintervall nicht enthalten, so dass ein statistisch eindeutiger Unterschied zwischen der im Transfusionskatalog empfohlenen und der algorithmisch geschätzten Anzahl an EKs anzunehmen ist. Die Richtwerte für die präoperative Bestellung von EKs sollten in diesem Falle entsprechend überdacht und an die Ergebnisse der Poisson-Regression angepasst werden.

Poisson-Regression

Bei der Aufstellung der Regressionsgleichung mussten einigen Besonderheiten des vorliegenden Datensatzes Rechnung getragen und entsprechende Anpassungen vorgenommen werden. Die Patienten der ASA-Klasse 1, die keine Bluttransfusion erhielten, wurden ebenso wenig in das Modell integriert wie die Variable Dringlichkeit, die nur eine einzige Ausprägung auswies. Alle anderen Variablen fanden Berücksichtigung. Die p-Werte für das Geschlecht und die Körperoberfläche bewegten sich jenseits des Signifikanzniveaus von 0,05, so dass diese Variablen im weiteren Verlauf ausgeschlossen wurden. Hierauf wurde der Einfluss der verbleibenden unabhängigen Variablen ASA-Risikoklassifikation, Alter und Hb-Wert auf die erwartete Anzahl an EKs jeweils einzelnen überprüft. Für sich alleine erzielten die genannten Größen jeweils hochsignifikante Werte, die jedoch einer gemeinsamen Integration von Hb-Wert und Alter in das Modell nicht standhielten. Dies liegt darin begründet, dass das Alter und der Hb-Wert zu einem gewissen Grade dieselben Informationen enthalten und daher das Alter keinen signifikanten Effekt mehr aufweist, sobald der Hb-Wert im Modell inkludiert ist und umgekehrt. Zur Auswahl des besten Modells, welches die Zielvariable möglichst genau erklärt und dabei die bestmögliche Abstraktion der Realität liefert, wurde das Akaike Informationskriterium (AIC) herangezogen³. Die absoluten Zahlen des AIC haben dabei keine Bedeutung, sondern nur relativ zum Vergleich verschiedener Modelle. Die Auswahl fällt auf das Modell mit kleinstem AIC. Im vorliegenden Beispiel wies das Modell mit ASA und Hb-Wert als unabhängige Variablen ein AIC von 295,876, das Modell mit ASA und Alter hingegen ein AIC von 312,117 auf, so dass die Wahl auf ersteres fiel. Letztendlich konnte jedoch nur noch für den Hb-Wert ein signifikanter Effekt auf den Transfusionsbedarf nachgewiesen werden.

Tabelle 51: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	3,622	1,2317	8,649	1	,003	37,423	3,348	418,368
HbWertNarko	-,307	,0995	9,550	1	,002	,735	,605	,894

³ S. Kullback und R. A. Leibler gelang es im Jahre 1915 ein Distanzmaß zwischen der Wahrheit $f(x)$ und dem approximierenden Modell $g(x|\theta)$ aufzustellen, welches es zu minimieren gilt. Akaike konnte zeigen, dass die negative Loglikelihood-Funktion ein verzerrter Schätzer für die Kullback-Leibler-Divergenz ist, dessen Bias mit steigendem Stichprobenumfang asymptotisch der Anzahl zu schätzender Parameter des betrachteten Modells entspricht und im AIC Berücksichtigung findet (https://de.wikipedia.org/wiki/Informationskriterium#Akaikes_Informationskriterium).

Der Algorithmus zur Schätzung der benötigten EK-Anzahl lautet demnach:

$$\lambda = \exp(3,622 - 0,307 * \text{HbWert})$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Im Gesamtkollektiv wurden im Vorfeld durchschnittlich mehr EKs bestellt als perioperativ benötigt wurden.

Tabelle 52: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Leber- resektion	Anforderung	105	0,0	8,0	1,752	1,870
	Verbrauch	105	0,0	9,0	,724	1,805

Die durchschnittlich angeforderte EK-Anzahl liegt ebenso wie der im Transfusionskatalog geschätzte Blutbedarf außerhalb des im Rahmen der Poisson-Regression ermittelten, zwischen 0 und 1 liegenden Konfidenzintervalls. Der Unterschied zu dem in der Regressionsanalyse ermittelten Richtwert ist somit statistisch eindeutig. Eine Orientierung der präoperativen Bestellmenge an die Intervallgrenzen wäre daher in Erwägung zu ziehen.

Tabelle 53: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				MW	SE	95% CI	
						oberer	unterer
Leber- resektion	1,752	,724	2	,640	,1654	,386	1,062

3.2.4.4 Tiefe anteriore Rektumresektion

Deskriptive Statistik

Die Tiefe anteriore Rektumresektion wurde 38 Mal elektiv durchgeführt, wovon in sieben Fällen der Einsatz von EKs erforderlich war. Männer waren von dem Eingriff weitaus häufiger betroffen. Das Durchschnittsalter lag insgesamt bei 62 Jahren. Patienten mit Transfusionsbedarf waren im Mittel 66 Jahre alt und wiesen einen deutlich geringeren Ausgangs-Hb-Wert auf. Der überwiegende Anteil der Patienten gehörte der ASA-Gruppe 3 an. ASA 1- und ASA 2-Patienten wurden nicht transfundiert.

Tabelle 54: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Tiefe anteriore	gesamt	38	25	65,8	13	34,2	61,816	15,265
Rektumresektion	EK=0	31	20	64,5	11	35,5	60,968	16,304
	EK>=1	7	5	71,4	2	28,6	65,571	9,361

Tabelle 55: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			Tiefe anteriore	gesamt	38	12,582
Rektumresektion	EK=0	31	13,000	1,749	1,916	,220
	EK>=1	7	10,729	1,305	2,016	,349

Tabelle 56: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA						Dringlichkeit											
			1		2		3		4		5		1		2		3			
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%		
Tiefe anteriore	gesamt	38	1	2,6	8	21,1	28	73,7	1	2,6					38	100,0				
Rektumresektion	EK=0	31	1	3,2	8	25,8	22	71,0							31	100,0				
	EK>=1	7				6	85,7	1	14,3						7	100,0				

Poisson-Regression

Die Variable Dringlichkeit wurde nicht in Analyse einbezogen, da die Eingriffe durchweg geplant waren und somit nur eine Kategorie vertreten war. Da die Patienten der ASA-Klassen 1 und 2 keiner Bluttransfusion bedurften, wurden diese ebenfalls nicht berücksichtigt. Die anderen Variablen wurden im Regressionsmodell erfasst, ein statistisch relevanter Zusammenhang mit der EK-Anzahl besteht im betrachteten Patientenkollektiv jedoch nur für die Variablen ASA, Alter und Hb-Wert. Beide letztgenannten Variablen korrelieren negativ mit der benötigten Anzahl an EKs. Unter der Annahme konstanter Werte aller anderen Variablen lässt ein um eine Einheit sinkender Hb-Wert die Anzahl der benötigten EKs um den Faktor 0,326 steigen, während ein jüngerer Patient 0,931 Mal mehr EKs braucht, als ein um ein Jahr älterer Patient. Der Einfluss der ASA-Risikoklassifikation ist mit $p < 0,0001$ ebenfalls statistisch abgesichert. Der negative Schätzwert des Parameters B suggeriert, dass Patienten mit einer schweren Allgemeinerkrankung weniger EKs verabreicht werden als lebensbedrohlich erkrankten Patienten.

Tabelle 57: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	20,300	6,9638	8,498	1	,004	655228078,134	774,135	554585279507337,000
ASA 3	-4,374	1,1597	14,227	1	,000	,013	,001	,122
ASA 4	0					1		
AlterJahre	-,072	,0354	4,119	1	,042	,931	,868	,998
HbWertNarko	-1,122	,3862	8,438	1	,004	,326	,153	,694

Die angegebenen Parameterschätzungen bilden die Grundlage für folgende Regressionsgleichung:

$$\lambda = \exp\left(20,300 - 0,072 * \text{Alter} - 1,122 * \text{HbWert} - \begin{cases} 4,374 (ASA 3) \\ 0 (ASA 4) \end{cases}\right)$$

Die Schätzung ist aufgrund des exorbitant hohen Werts der Exponentialfunktion Exp(B) und des dazugehörigen Konfidenzintervalls für die Konstante jedoch mit größter Vorsicht zu betrachten. Im vorliegenden Kollektiv ist die Stichprobengröße für die Tiefe anteriore Rektumresektion mit 38 Patienten sehr klein, so dass die Notwendigkeit besteht, die beobachteten Abhängigkeiten an einem größeren Patientenkollektiv zu überprüfen.

Anforderung und Verbrauch von EKs

Der durchschnittliche EK-Verbrauch im Rahmen der Tiefen anterioren Rektumresektion erwies sich niedriger als präoperativ kalkuliert.

Tabelle 58: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Tiefe anteriore	Anforderung	38	0,0	6,0	1,263	1,571
Rektumresektion	Verbrauch	38	0,0	4,0	,342	,847

Gemessen an den Grenzen des Konfidenzintervalls, welches auf Basis des oben hergeleiteten Algorithmus unter Verwendung der tatsächlichen Patientendaten im Kollektiv ermittelt wurde, erforderte die Tiefe anteriore Rektumresektion 0,402 bis 1,898 EKs, was gerundet 0 bis 2 EK-Beutel entspricht. Sowohl die im Mittel präoperative angeforderte EK-Anzahl als auch die aufgrund der klinischen Expertise ermittelte und im Transfusionskatalog hinterlegte Menge bewegen sich damit innerhalb des Konfidenzintervalls. Der umfassende Bereich ist relativ eng umgrenzt, so dass das Konfidenzintervall mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% die wahre unbekannte Anzahl an EKs beinhaltet und beide Richtwerte brauchbare Schätzer sind. Die Entscheidung für 0, 1 oder 2 EKs kann in Abhängigkeit der klinischen Gegebenheiten erfolgen.

Tabelle 59: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				MW	SE	95% CI	
						oberer	unterer
Tiefe anteriore Rektumresektion	1,263	,342	0	,874	,3457	,402	1,898

3.2.4.5 Abdominoperineale Rektumexstirpation

Deskriptive Statistik

Insgesamt mussten sich 38 Patienten einer Abdominoperinealen Rektumexstirpation unterziehen. Vier Operationen waren mit einer Bluttransfusion verbunden. Männer und Frauen waren ähnlich häufig von dem Eingriff betroffen. Die Patienten zählten etwa 54 Jahre, wobei das Durchschnittsalter der transfundierten Patienten mit 71 Jahren weit höher lag. Insgesamt wurden ca. 95% der Patienten in die ASA-Klassen 2 und 3 eingruppiert. Gesunde Patienten (ASA 1) benötigten keine Blutprodukte. Abgesehen von einem Eingriff handelte es sich durchweg um elektive Operationen.

Tabelle 60: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Abdominoperineale Rektumexstirpation	gesamt	38	18	47,4	20	52,6	54,228	24,140
	EK=0	34	16	47,1	18	52,9	52,314	24,104
	EK>=1	4	2	50,0	2	50,0	70,500	20,042

Tabelle 61: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			Abdominoperineale Rektumexstirpation	gesamt	38	12,718
	EK=0	34	12,923	1,808	1,724	,382
	EK>=1	4	11,175	2,861	1,848	,283

Tabelle 62: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA						Dringlichkeit									
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Abdominoperineale Rektumexstirpation	gesamt	38	2	5,3	20	52,6	16	42,1					37	97,4	1	2,6		
	EK=0	34	2	5,9	18	52,9	14	41,2					33	97,1	1	2,9		
	EK>=1	4			2	50,0	2	50,0					4	100,0				

Poisson-Regression

Aufgrund der Gegebenheiten im bestehenden Patientengut konnten nicht alle unabhängigen Variablen in die Poisson-Regression integriert werden. So konnte der Einfluss der Dringlichkeitsstufe einer Operation auf die erwartete EK-Anzahl nicht näher untersucht werden, da abgesehen von einer Operation alle Eingriffe geplant waren. Die beiden gesunden Patienten, die jeweils keine EKs erhielten, gingen ebenfalls nicht in Analyse ein. Für die verbleibenden Prädiktoren konnte statistisch kein Zusammenhang mit der Anzahl der benötigten EKs aufgezeigt werden. Sämtliche p-Werte lagen jenseits des Signifikanzniveaus von 0,05. Eine grundsätzliche Aussage zum Transfusionsbedarf bei der Abdominoperinealen Rektumexstirpationen lässt sich hieraus jedoch nicht ableiten, da entweder der Umfang der vorliegende Stichprobe zu gering oder aber die Anzahl der transfundierten Patienten zu klein war.

Tabelle 63: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	-,005	4,6479	,000	1	,999	,995	,000	8996,631
Mann	,901	,9969	,817	1	,366	2,462	,349	17,374
Frau	0					1		
ASA 2	-,121	1,2165	,010	1	,921	,886	,082	9,613
ASA 3	0					1		
AlterJahre	-,015	,0331	,203	1	,653	,985	,923	1,051
KÖFm ²	1,557	1,3068	1,420	1	,233	4,746	,366	61,466
HbWertNarko	-,293	,2381	1,518	1	,218	,746	,468	1,189

Anforderung und Verbrauch von EKs

Insgesamt erforderte die Abdominoperineale Rektumexstirpation einen etwas geringeren EK-Einsatz als angenommen.

Tabelle 64: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Abdominoperin.	Anforderung	38	0,0	4,0	,842	1,263
Rektumexstirp.	Verbrauch	38	0,0	6,0	,289	1,063

Da im vorliegenden Fall kein statistisch eindeutiger Zusammenhang der ins Modell eingegangenen Variablen mit dem erwarteten EK-Bedarf nachgewiesen werden konnte, sollte wie bisher der Transfusionskatalog als Entscheidungsgrundlage für die Bestellpraxis dienen.

3.2.4.6 Hemikolektomie/Hartmann-Wiederanschluss

Deskriptive Statistik

Die Hemikolektomie ist eine vielfach durchgeführte Prozedur, die insgesamt geringfügig mehr Männer betraf, jedoch eher bei weiblichen Patienten Bluttransfusionen erforderte. Patienten ohne Transfusionsbedarf waren durchschnittlich 60 Jahre, transfundierte Patienten hingegen 65 Jahre alt. Der Ausgangs-Hb-Wert unterschied sich zwischen beiden Patientengruppen deutlich. Sämtliche ASA-Risikogruppen waren vertreten, wobei die Patienten aufgrund ihrer Vorerkrankungen überwiegend in die ASA-Klassen 2 und 3 eingestuft wurden. Der Großteil der Eingriffe war geplant, 10 Operationen mussten allerdings ungeplant und ein Eingriff notfallmäßig vorgenommen werden.

Tabelle 65: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Hemikolektomie/ Hartmann- Wiederanschluss	gesamt EK=0 EK>=1	137 121 16	70 64 6	51,1 52,9 37,5	67 57 10	48,9 47,1 62,5	60,972 60,398 65,313	15,794 15,667 16,584

Tabelle 66: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			Hemikolektomie/ Hartmann- Wiederanschluss	gesamt EK=0 EK>=1	137 121 16	12,594 13,033 9,463

Tabelle 67: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA										Dringlichkeit					
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Hemikolektomie/ Hartmann- Wiederanschluss	gesamt EK=0 EK>=1	137 121 16	7 6 1	5,1 5,0 6	50 45 5	36,5 37,2 31,3	74 67 7	54,0 55,4 43,8	5 3 2	3,6 2,5 12,5	1 1 1	0,7 0,8 6,3	126 114 12	92,0 94,2 75,0	10 7 3	7,3 5,8 18,8	1 1 1	0,7 0,7 6,3

Poisson-Regression

Alle sechs unabhängigen Variablen fanden im Regressionsmodell Berücksichtigung. Für das Geschlecht, die Körperoberfläche, die Dringlichkeit und die ASA-Risikoklassifikationen konnten keine signifikanten Werte ermittelt werden, wohl aber für das Alter und den Hb. Der Schätzwert des Parameters B für die Variable Alter ist größer Null, was auf eine positive Korrelation mit der Anzahl der benötigten EKs hindeutet. Mit jedem Jahr steigt der Bedarf an EKs um den Faktor 1,031. Einen gegenläufigen Zusammenhang mit

dem Hb-Wert signalisiert hingegen der negative Schätzwert des Parameters B. Ein um eine Einheit sinkender H-Wert lässt die erwarteten EKs um den Faktor 0,586 steigen.

Tabelle 68: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	2,331	1,4875	2,456	1	,117	10,288	,557	189,879
AlterJahre	,030	,0133	5,118	1	,024	1,031	1,004	1,058
HbWertNarko	-,534	,1011	27,918	1	,000	,586	,481	,715

Der Algorithmus zur Schätzung des Transfusionsbedarfs lautet demnach:

$$\lambda = \exp(2,331 + 0,030 * \text{Alter} - 0,534 * \text{HbWert})$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Die Hemikolektomie erforderte den Einsatz von durchschnittlich 0,197 EKs und maximal 5 EKs. Der Bedarf wurde vorab weitaus höher eingeschätzt.

Tabelle 69: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Hemikolektomie/	Anforderung	137	0,0	10,0	,737	1,368
Hartmann-Wiederanschluß	Verbrauch	137	0,0	5,0	,197	,662

Das Konfidenzintervall umfasst mit 0,038 bis 0,157 einen sehr kleinen Bereich, der am ehesten die Null einschließt. Der im Transfusionskatalog mit Null angegebene EK-Bedarf ist bei einer gerundeten Betrachtungsweise somit im Konfidenzintervall enthalten und aufgrund der äußerst engen Grenzen desselben ein solider Richtwert für den erwarteten Einsatz von Blutkonserven.

Die in der Stichprobe beobachtete durchschnittlich angeforderte EK-Anzahl liegt mit 0,737 näher an der Eins und unterscheidet sich daher statistisch von der algorithmisch ermittelten Menge.

Tabelle 70: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				MW	SE	oberer	unterer
Hemikolektomie/	,737	,197	0	,078	,0278	,038	,157
Hartmann-Wiederanschluß							

3.2.5 Thoraxchirurgische Eingriffe

Abgesehen von der Thoraxwandresektion mit plastischer Deckung durch Verschiebelappenplastik und der Offenen atypischen Resektion ist die Transfusionswahrscheinlichkeit bei thoraxchirurgischen Eingriffe in der Regel hoch. Die folgenden Abschnitte widmen sich der statistischen Darstellung dieses Aspekts bei der Einfachen Lobektomie bzw. Bilobektomie, der Single- bzw. Doppellungentransplantation und Thorakoskopischen Interventionen.

3.2.5.1 Offene Lobektomie/Bilobektomie/Pneumonektomie

Deskriptive Statistik

Die im Betrachtungszeitraum durchgeführten 37 Eingriffe waren ausnahmslos geplant und erforderten in 4 Fällen eine Bluttransfusion. Der Anteil der männlichen Patienten überwog mit 57%. Die Patienten waren durchschnittlich 57 Jahre alt und litten größtenteils an einer schwerwiegenden Grunderkrankung, die mit einem mäßigen perioperativen Risiko (ASA 3) einherging.

Tabelle 71: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Offene Lobektomie/ Bilobektomie/ Pneumonektomie	gesamt EK=0 EK>=1	37 33 4	21 19 2	56,8 57,6 50,0	16 14 2	43,2 42,4 50,0	57,401 57,904 53,250	20,050 19,065 30,347

Tabelle 72: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			Offene Lobektomie/ Bilobektomie/ Pneumonektomie	gesamt EK=0 EK>=1	37 33 4	13,322 13,458 12,200

Tabelle 73: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA									Dringlichkeit						
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Offene Lobektomie/ Bilobektomie/ Pneumonektomie	gesamt EK=0 EK>=1	37 33 4	9	24,3	26	70,3	2	5,4	37	100,0	33	100,0	33	100,0	33	100,0	33	100,0

Poisson-Regression

In einem ersten Schritt erfolgte der Ausschluss der Dringlichkeit, da nur eine einzige Ausprägung dieser Kategorie besetzt war. Alle anderen Parameter verblieben zunächst im Modell. Die relative geringe Fallzahl und vor allem die Tatsache, dass lediglich vier Operationen mit einer Blutübertragung einhergingen, verursachte Schwierigkeiten bei der Anpassung des Regressionsmodells, was eine Vereinfachung des Modells erforderte. Infolgedessen wurde der Einfluss jeder einzelnen der fünf verbliebenen Variablen auf die EK-Anzahl isoliert betrachtet. Dieses Verfahren lieferte ausschließlich für die kategoriale Variable ASA signifikante Korrelationen, die im weiteren Verlauf mittels paarweiser Vergleiche mit adjustierten p-Werten weiter analysiert wurden. Statistische relevante Unterschiede in der Anzahl der erwarteten EK-Anzahl lieferte dabei der Vergleich von lebensbedrohlich Erkrankten (ASA 4) mit leicht (ASA 2) bzw. schwer (ASA 3) erkrankten Patienten, nicht jedoch zwischen ASA 2 und ASA 3.

Tabelle 74: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	,916	,7071	1,679	1	,195	2,500	,625	9,996
ASA 2	-3,114	1,1785	6,980	1	,008	,044	,004	,448
ASA 3	-2,565	,9907	6,703	1	,010	,077	,011	,536
ASA 4	0					1		

Die erwartete EK-Anzahl ergibt sich wie folgt:

$$\lambda = \exp\left(0,916 - \begin{cases} 3,114 \text{ (ASA 2)} \\ 2,565 \text{ (ASA 3)} \\ 0 \text{ (ASA 4)} \end{cases}\right)$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Für den Eingriff wurden präoperativ mehr EKs angefordert, als letztendlich benötigt wurden.

Tabelle 75: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Offene Lobektomie/	Anforderung	37	0,0	4,0	1,486	1,239
Bilobektomie/Pneumonektomie	Verbrauch	37	0,0	5,0	,297	,996

Das zwischen 0 und 1 liegende Konfidenzintervall enthält weder die in der Stichprobe beobachtete durchschnittlich angeforderte EK-Anzahl noch den aufgrund klinischer Er-

fahrungswerte ermittelten und im Transfusionskatalog angegebenen Richtwert. Im vorliegenden Fall unterscheiden sich die im Patientenkollektiv beobachtete und anhand des Algorithmus berechnete EK-Anzahl in statistisch eindeutiger Weise voneinander. Eine Anpassung der Schätzwerte an die Resultate der Regressionsanalyse wäre daher überlegenswert.

Tabelle 76: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				MW	SE	95% CI	
						unterer	oberer
Offene Lobektomie/ Bilobektomie/Pneumonektomie	1,486	,297	3	,377	,1717	,154	,920

3.2.5.2 Lungentransplantation

Deskriptive Statistik

Innerhalb des Beobachtungszeitraums erfolgten 56 Lungentransplantationen, wobei in drei Vierteln der Fälle Blutkonserven eingesetzt wurden. Die transfundierten Patienten gehörten in relativ ausgewogener Weise beiden Geschlechtern an und waren mit durchschnittlich 47 Jahren jünger als Personen, die keine EKs erhielten. Auch der Ausgangshämoglobin-Wert und die Körperoberfläche waren für beide Patientengruppen unterschiedlich. Aufgrund der lebensbedrohlichen Erkrankung wies 82% des Patientenkollektivs ein hohes perioperatives Risiko auf (ASA 4). Sämtliche Eingriffe wurden ungeplant durchgeführt.

Tabelle 77: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Single-/Doppel- Lungen- transplantation	gesamt	56	33	58,9	23	41,1	50,179	13,030
	EK=0	14	13	92,9	1	7,1	59,214	3,886
	EK>=1	42	20	47,6	22	52,4	47,167	13,631

Tabelle 78: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			Single-/Doppel- Lungen- transplantation	gesamt	56	13,066
	EK=0	14	14,257	1,123	1,914	,157
	EK>=1	42	12,638	2,165	1,759	,220

Tabelle 79: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA						Dringlichkeit									
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Single-/Doppel-	gesamt	56			9	16,1	46	82,1	1	2			56	100,0				
Lungen-	EK=0	14			3	21,4	11	78,6					14	100,0				
transplantation	EK>=1	42			6	14,3	35	83,3	1	2,4			42	100,0				

Poisson-Regression

Da alle Patientin der Dringlichkeitskategorie 2 angehörten, wurde dieses Kriterium in der weiteren Analyse nicht berücksichtigt. Letztendlich konnten für die Variablen Alter und Hb-Wert statistisch abgesicherte Effekte auf den Transfusionsbedarf festgestellt werden. Beide Prädiktoren weisen eine inverse Korrelation mit dem Transfusionsbedarf auf.

Tabelle 80: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	5,077	,8318	37,252	1	,000	160,307	31,397	818,492
AlterJahre	-,028	,0090	9,525	1	,002	,973	,956	,990
HbWertNarko	-,182	,0562	10,516	1	,001	,833	,746	,930

Der Algorithmus zur präoperativen Einschätzung der erwarteten EK-Anzahl lautet:

$$\lambda = \exp(5,077 - 0,028 * \text{Alter} - 0,182 * \text{HbWert})$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Der Bedarf an Blutprodukten im Rahmen von Lungentransplantationen ist beträchtlich. Die präoperative Bestellmenge belief sich standardmäßig auf 10 EKs. Mit 4 EKs lag der durchschnittliche Verbrauch weit niedriger.

Tabelle 81: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Lungen-Tx	Anforderung	56	10,0	10,0	10,000	,000
	Verbrauch	56	0,0	28,0	4,482	5,490

Da sowohl die präoperativ angeforderte als auch die im Transfusionskatalog empfohlene EK-Anzahl außerhalb des im Rahmen der Regressionsanalyse ermittelten Konfidenzintervalls liegen, besteht ein statistisch relevanter Unterschied im beobachteten und errechneten Transfusionsbedarf, was in einer Anpassung der Richtwerte münden sollte.

Tabelle 82: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				MW	SE	95% CI	
						unterer	oberer
Lungen-Tx	10,000	4,482	10	3,655	,4347	2,895	4,614

3.2.5.3 Thorakoskopie

Deskriptive Statistik

Thorakoskopische Eingriffe betrafen in 65% der Fälle männliche Patienten. Der Altersdurchschnitt bei den 61 Eingriffen, die keine Blutübertragung erforderten, lag bei 56 Jahren. Die 8 transfundierten Patienten waren durchschnittlich 52 Jahre alt und wiesen einen um 3,45 g/dl niedrigeren Ausgangs-Hb-Wert auf. Die nicht-transfundierten Patienten wurden vorwiegend in die ASA-Klasse 3 eingestuft, während der Einsatz von Blutkonserven vor allem lebensbedrohlich Erkrankten galt. Gesunde Patienten (ASA 1) und solche, die durch ihre Grunderkrankung keine Einschränkungen erfuhren (ASA 2), erhielten keine Transfusionen. Vier Eingriffe wurden ungeplant und zwei notfallmäßig durchgeführt, bei allen anderen Eingriffen handelte es sich um elektive Operationen.

Tabelle 83: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Thorakoskopie	gesamt	69	45	65,2	24	34,8	58,783	20,378
	EK=0	61	39	63,9	22	36,1	55,880	19,154
	EK>=1	8	6	75,0	2	25,0	52,375	22,709

Tabelle 84: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			Thorakoskopie	gesamt	69	12,557
	EK=0	61	12,985	1,894	1,863	,214
	EK>=1	8	9,533	2,359	1,850	,188

Tabelle 85: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA										Dringlichkeit							
			1		2		3		4		5		1		2		3			
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%		
Thorakoskopie	gesamt	69	1	1,4	17	24,6	42	60,9	9	13,0					63	91,3	4	5,8	2	2,9
	EK=0	61	1	1,6	17	27,9	39	63,9	4	6,6					60	98,4	1	1,6		
	EK>=1	8					3	37,5	5	62,5					3	37,5	3	37,5	2	25,0

Poisson-Regression

Die Patienten der Risikoklassifikationen ASA 1 und ASA 2 fanden in der Regressionsanalyse keine Berücksichtigung, da in diesen Klassen keine EKs verabreicht wurden. Auf der Suche nach dem besten Modell konnte lediglich für die Variable Hb-Wert ein statistisch eindeutiger Einfluss auf die erwartete EK-Anzahl gezeigt werden. Die statistische Aussagekraft ist jedoch begrenzt, da 88,4 % der Patienten keine EKs benötigten. Der Schätzwert des Parameters B weist auf eine negative Korrelation in dem Sinne hin, dass mit sinkendem Hb-Wert der Transfusionsbedarf um den Faktor 0,386 steigt.

Tabelle 86: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	8,276	2,2109	14,013	1	,000	3929,242	51,567	299394,432
HbWertNarko	-,953	,2429	15,401	1	,000	,386	,240	,621

In den Algorithmus zur Schätzung der EK-Anzahl fließt neben der Konstante somit nur der Hb als unabhängige Variable ein:

$$\lambda = \exp(8,276 - 0,953 * \text{HbWert})$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Anforderung und Verbrauch von EKs unterscheiden sich bei thorakoskopischen Interventionen nur geringfügig voneinander.

Tabelle 87: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Thorakoskopie	Anforderung	69	0,0	6,0	,652	1,433
	Verbrauch	69	0,0	6,0	,275	,922

Der mit Hilfe des oben dargestellten Algorithmus ermittelte Schätzwert lässt mit einem den Bereich von 0,010 bis 0,201 umfassenden Konfidenzintervall auf einen äußerst geringen Transfusionsbedarf schließen, der gerundet am ehesten mit 0 EK anzunehmen ist. Die in der Stichprobe beobachtete durchschnittlich angeforderte EK-Anzahl liegt mit 0,652 näher an der Eins und unterscheidet sich daher statistisch von der auf Basis der Poisson-Regression ermittelten Menge.

Auch der im Transfusionskatalog mit 2 EKs angegebene Richtwert ist nicht im Konfidenzintervall enthalten, so dass ein statistisch eindeutiger Unterschied zur errechneten EK-Anzahl vorliegt.

Tabelle 88: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW	MW	MW	Poisson-Regression			
	Anforderung	Verbrauch	Katalog	MW	SE	95% CI	
						oberer	unterer
Thorakoskopie	,652	,275	2	,044	,0341	,010	,201

3.2.6 Gefäßchirurgische Eingriffe

Zum Spektrum der gefäßchirurgischen Prozeduren am Klinikum der Universität München, die im Rahmen dieser Arbeit näher betrachtet werden, gehören Bypass-Operationen an der Arteria femoralis, Stent-Anlagen sowie offene Eingriffe an der Aorta, Thrombektomien, die Versorgung von Aortenaneurysmen und Majoramputationen. Die Anlage von Shunts, Thrombendarteriektomien, Varizeneingriffe und Minoramputationen wiesen im Betrachtungszeitraum entweder eine zu niedrige Fallzahl oder einen zu geringen Transfusionsbedarf auf, um berücksichtigt werden zu können.

3.2.6.1 Femoro-poplitealer, Femoro-cruraler und Femoro-femoraler Bypass

Deskriptive Statistik

Ein femoraler Bypass wurde bei 50 Personen angelegt, die durchschnittlich 70 Jahre alt waren. Mit 68% mussten sich vorwiegend Männer dieser Operation unterziehen und stellen auch den Großteil derjenigen Patienten, die eine Transfusion benötigten. Die Notwendigkeit einer Transfusion bestand vor allem bei Patienten mit einem niedrigen Ausgangs-Hb-Wert. Der Großteil der Patienten litt an einer schweren Grunderkrankung (ASA 3), während 18% der transfundierten Patienten lebensbedrohlich erkrankt waren. 84 % der Eingriffe waren geplant. Fünf Operationen waren als Notfall ausgewiesen.

Tabelle 89: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Fem-pop/Fem-crur/Fem-fem	gesamt	50	34	68,0	16	32,0	70,140	10,188
	EK=0	39	26	66,7	13	33,3	69,615	11,229
Cross Over Bypass	EK>=1	11	8	72,7	3	27,3	72,000	4,960

Tabelle 90: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			Fem-pop/Fem- crur/Fem-fem	gesamt	50	12,031
	EK=0	39	12,579	2,063	1,879	,164
Cross Over Bypass	EK>=1	11	9,890	0,787	1,778	,243

Tabelle 91: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA						Dringlichkeit									
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Fem-pop/Fem- crur/Fem-fem	gesamt	50		2	4,0	43	86,0	5	10,0			42	84,0	3	6,0	5	10,0	
Cross	EK=0	39		1	2,6	35	89,7	3	7,7			33	84,6	3	7,7	3	7,7	
Over Bypass	EK>=1	11		1	9,1	8	72,7	2	18,2			9	81,8			2	18,2	

Poisson-Regression

In einer Kreuztabelle wurde die gemeinsame Häufigkeitsverteilung der unabhängigen Variable „Dringlichkeit“ und der abhängigen Variable „EK“ dargestellt und gezeigt, dass die mit ungeplanten Fälle keinen EK-Einsatz erforderten und bei Notfalloperationen nur ein Patient 1 EK und ein weiterer Patient 2 EKs benötigte. Nach dem Ausschluss der ungeplanten Eingriffe führte die Regression weiterhin zu Problemen, so dass in einem Folgeschritt ausschließlich die Variable Dringlichkeit auf Signifikanz getestet wurde und bei einem p-Wert weit über 0,05 letztendlich keine Berücksichtigung im Regressionsmodell fand. Ein statistisch abgesicherter Einfluss auf die erwartete EK-Anzahl ergab sich im Rahmen der weiteren Analyse für die Variablen Alter und Hb-Wert, die schließlich im Modell verblieben. Jedes Lebensjahr erhöht den Bedarf an EKs um den Faktor 1,101, während eine fallende Hb-Einheit diesen um den Faktor 0,403 steigen lässt.

Tabelle 92: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	1,588	1,9370	,673	1	,412	4,896	,110	218,085
AlterJahre	,096	,0235	16,761	1	,000	1,101	1,051	1,153
HbWertNarko	-,908	,2339	15,080	1	,000	,403	,255	,638

Die Ergebnisse der Poisson-Regression fließen in den folgenden Algorithmus zur Schätzung der EK-Anzahl ein:

$$\lambda = \exp(1,588 + 0,096 * \text{Alter} - 0,908 * \text{HbWert})$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Der perioperative Bedarf an EKs zeigte sich geringer, als vor der Operation angenommen.

Tabelle 93: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Fem-pop/Fem-crur/Fem-	Anforderung	50	0,0	4,0	1,520	1,693
fem Cross Over Bypass	Verbrauch	50	0,0	2,0	,280	,573

Das berechnete Konfidenzintervall umfasst mit von 0,020 bis 0,277 einen sehr eng umgrenzten Bereich und weist bei einer gerundeten Betrachtungsweise am ehesten einen Transfusionsbedarf von 0 EKs aus. Sowohl die durchschnittlich angeforderte als auch die aufgrund klinischer Expertise empfohlene Menge unterscheiden sich daher statistisch deutlich von der berechneten EK-Anzahl und sollten entsprechend angeglichen werden.

Tabelle 94: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				MW	SE	95% CI	
						unterer	oberer
Fem-pop/Fem-crur/Fem- fem Cross Over Bypass	1,520	,280	2	,075	,0501	,020	,277

3.2.6.2 Offene Eingriffe an der abdominellen Aorta

Deskriptive Statistik

Offene Operationen an der abdominellen Aorta wurden an 68 Personen vorgenommen, die im Mittel ca. 61 Jahre alt waren. Bei 59% der Eingriffe mussten Blutkonserven übertragen werden. Insgesamt betrachtet mussten sich hauptsächlich Männer und nur in 34% der Fälle Frauen dieser Operation unterziehen, der Anteil der weiblichen Patienten an den transfundierten Personen stieg allerdings auf 43%. Der Ausgangs-Hb-Wert und die Körperoberfläche der transfundierten Patienten lagen niedriger als bei Patienten, die keine Bluttransfusion benötigten. Im Falle einer Transfusion war mehr als die Hälfte des Patientenkollektivs von einer lebensbedrohlichen Erkrankung betroffen (ASA 4), während bei der Patientengruppe ohne Transfusionsbedarf das Risikoprofil 3 vorherrschte. Patienten der ASA-Klasse 2 benötigten keine Blutkonserven. Sämtliche Dringlichkeitsstufen waren vertreten. Sechs Notfalleingriffe erforderten den Einsatz von EKs.

Tabelle 95: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Offene Eingriffe	gesamt	68	45	66,2	23	33,8	60,633	18,018
abdominelle Aorta	EK=0	28	22	78,6	6	21,4	62,643	12,347
	EK>=1	40	23	57,5	17	42,5	59,227	21,148

Tabelle 96: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			Offene Eingriffe	gesamt	68	13,283
abdominelle Aorta	EK=0	28	14,422	1,286	2,009	,248
	EK>=1	40	12,495	2,207	1,793	,482

Tabelle 97: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA						Dringlichkeit									
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Offene Eingriffe	gesamt	68	2	2,9	25	36,8	39	57,4	2	3	57	83,8	5	7,4	6	8,8		
abdominelle Aorta	EK=0	28	2	7,1	15	53,6	11	39,3			26	92,9	2	7,1				
	EK>=1	40			10	25,0	28	70,0	2	5,0	31	77,5	3	7,5	6	15,0		

Poisson-Regression

Bei Patienten der Risikoklasse 2 wurden keine Blutprodukte transfundiert, so dass diese nicht in die weitere Analyse einbezogen wurden. Das Geschlecht und das Alter zeigten für das bestehende Kollektiv keine Signifikanz. Der Einfluss der anderen unabhängigen Variablen auf die erwartete EK-Anzahl ist hingegen statistisch abgesichert ($p < 0,05$).

Tabelle 98: Tests der Modelleffekte

	Wald	df	Sig.
Konstante	71,561	1	,000
ASA	21,501	2	,000
Dringlichkeit	17,145	2	,000
KÖFm ²	4,118	1	,042
HbWertNarko	117,887	1	,000

Dem Schätzwert des Parameters B nach zu urteilen, besteht ein positiver Zusammenhang mit der Körperoberfläche und ein negativer mit dem Ausgangs-HbWert. Der EK-Bedarf steigt mit zunehmender Körperoberfläche (Faktor 1,701) und mit fallendem Hb-Wert (Faktor 0,685). Grundsätzlich beeinflusst die ASA-Risikoklassifikation und die Dringlichkeitsstufe die EK-Anzahl in statistisch eindeutiger Weise, was in p-Werten kleiner als 0,0001 im Rahmen der Tests der Modelleffekte abgebildet wird. Da es sich jedoch um kategoriale Variablen handelt, wurden paarweise Vergleiche mit adjustierten p-Werten

angestellt. Relevante Unterschiede bestehen im vorliegenden Datensatz zwischen den ASA-Klassen 3 und 4 ($p < 0,0001$), während sich diese zwischen den ASA-Gruppen 3 und 5 zumindest vermuten lassen ($p = 0,053$). Die Richtung des Effektes differiert je nach Zugehörigkeit zu einer Risikoklasse. Im Vergleich zu moribunden Patienten benötigen schwer Erkrankte weniger und lebensbedrohlich Erkrankte mehr EKs. Der paarweise Vergleich der Dringlichkeitsstufen zeigte, dass sich die Anzahl der benötigten EKs bei ungeplanten Eingriffen verglichen mit geplanten bzw. notfallmäßig durchgeführten Eingriffen signifikant unterschied ($p < 0,05$).

Tabelle 99: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	4,155	,5825	50,885	1	,000	63,770	20,360	199,731
ASA 3	-,813	,3463	5,516	1	,019	,443	,225	,874
ASA 4	,268	,3324	,648	1	,421	1,307	,681	2,507
ASA 5	0					1		
Geplante OP	,275	,2327	1,400	1	,237	1,317	,835	2,078
Ungeplante OP	1,347	,3302	16,626	1	,000	3,844	2,012	7,344
Notfall-OP	0					1		
KÖFm ²	,531	,2619	4,118	1	,042	1,701	1,018	2,843
HbWertNarko	-,378	,0348	117,887	1	,000	,685	,640	,734

Aus der Regressionsanalyse ergibt sich folgender Algorithmus, um die erwartete EK-Anzahl unter Berücksichtigung der ermittelten Einflussfaktoren näher einzugrenzen:

$$\lambda = \exp \left(4,155 + 0,531 * \text{KÖF} - 0,378 * \text{HbWert} + \begin{cases} -0,813 \text{ (ASA 3)} \\ 0,268 \text{ (ASA 4)} \\ 0 \text{ (ASA 5)} \end{cases} + \begin{cases} 0,275 \text{ (geplante OP)} \\ 1,347 \text{ (ungeplante OP)} \\ 0 \text{ (notfallmäßige OP)} \end{cases} \right)$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Offene Eingriffe an der Aorta erforderten einen relativ hohen Einsatz an EKs, der stark variierte, was sich in der großen Differenz zwischen minimalem und maximalem Transfusionsbedarf zeigt.

Tabelle 100: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Offene Eingriffe	Anforderung	68	0,0	12,0	3,647	3,463
abdominelle Aorta	Verbrauch	68	0,0	22,0	2,250	4,068

Die angeforderte und aufgrund des klinischen Erfahrungsschatzes empfohlene EK-Anzahl liegen außerhalb des als Sicherheitsbereich dienenden Konfidenzintervalls, so dass

ein statistisch abgesicherter Unterschied zu der im Rahmen der Poisson-Regression erfolgten Schätzung anzunehmen ist.

Tabelle 101: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW	MW	MW	Poisson-Regression			
	Anforderung	Verbrauch	Katalog	MW	SE	95% CI	
						unterer	oberer
Offene Eingriffe abdominelle Aorta	3,647	2,250	6	1,652	,2358	1,249	2,186

3.2.6.3 BAA-Y-Stentgraft/TAA-Stentgraft

Deskriptive Statistik

Die Versorgung eines thorakalen bzw. abdominalen Aortenaneurysmas mit einem endovaskulären Stent wurde im betrachteten Jahr 77 Mal vorwiegend an Männern durchgeführt, die auch hauptsächlich von Bluttransfusionen betroffen waren. Das Durchschnittsalter der transfundierten Patienten lag mit 73 Jahren höher als im Gesamtkollektiv, der Ausgangs-Hb-Wert und die Körperoberfläche waren hingegen etwas niedriger. Insgesamt waren 60% der Patienten durch ihre schweren Vorerkrankungen einem mäßigen perioperativen Risiko ausgesetzt (ASA 3), das Risikoprofil der transfundierten Patienten verschob sich indessen in Richtung ASA 4. Obgleich es sich größtenteils um geplante Eingriffe handelte, fällt vor allem bei den Operationen mit Transfusionsbedarf der hohe Anteil an Notfällen auf.

Tabelle 102: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
BAA-Y-Stentgraft/ TAA-Stentgraft	gesamt	77	60	77,9	17	22,1	71,805	10,617
	EK=0	61	49	80,3	12	19,7	71,557	11,046
	EK>=1	16	11	68,8	5	31,3	72,750	9,044

Tabelle 103: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			BAA-Y-Stentgraft/ TAA-Stentgraft	gesamt	77	12,856
	EK=0	61	13,241	1,811	1,934	,190
	EK>=1	16	11,257	1,982	1,865	,178

Tabelle 104: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA						Dringlichkeit									
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
BAA-Y-Stentgraft/	gesamt	77		5	6,5	47	61,0	24	31,2	1	1	62	80,5	10	13,0	5	6,5	
TAA-Stentgraft	EK=0	61		5	8,2	40	65,6	16	26,2			53	86,9	6	9,8	2	3,3	
	EK>=1	16				7	43,8	8	50,0	1	6,3	9	56,3	4	25,0	3	18,8	

Poisson-Regression

Abgesehen von der ASA-Klasse 2, in der keine Verabreichung von Blutprodukten zu verzeichnen war, verblieben alle unabhängigen Variablen im Modell. Ein signifikanter Einfluss auf die Anzahl der benötigten EKs ließ sich mit Ausnahme vom Geschlecht und der Risikoklassifikation für alle sonstigen Variablen zeigen. Während dieser für die Dringlichkeitsstufe, das Alter und die Körperoberfläche mit p-Werten kleiner als 0,0001 statistisch abgesichert ist, besteht bezüglich des Hb-Werts zumindest mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Zusammenhang mit dem Transfusionsbedarf ($p < 0,05$). Die drei metrischen Variablen Alter, Körperoberfläche und Hb-Wert wiesen gemäß dem Vorzeichen des Schätzwerts des Parameters B eine negative Korrelation mit der EK-Anzahl auf. Unterschiede zwischen den einzelnen Ausprägungen der kategorialen Variable Dringlichkeit wurden mittels paarweiser Vergleiche untersucht und konnten abgesehen von geplanten versus ungeplanten Eingriffen für alle Kombinationen nachgewiesen werden. Verglichen mit Notfalleingriffen werden für geplante und ungeplante Operationen weniger EKs benötigt.

Tabelle 105: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	21,820	3,5155	38,522	1	,000	2993117434,987	3045847,874	2941299877824,790
Geplante OP	-3,226	,3928	67,424	1	,000	,040	,018	,086
Ungeplante OP	-2,258	,4828	21,882	1	,000	,105	,041	,269
Notfall-OP	0					1		
AlterJahre	-,106	,0190	31,249	1	,000	,899	,866	,933
KÖFm²	-5,144	1,1974	18,452	1	,000	,006	,001	,061
HbWertNarko	-,226	,1131	4,009	1	,045	,797	,639	,995

Der EK-Bedarf kann auf Basis folgender Regressionsgleichung abgeschätzt werden:

$$\lambda = \exp \left(21,820 - 0,106 * \text{Alter} - 5,144 * \text{KÖF} - 0,226 * \text{HbWert} - \begin{cases} 3,226 (\text{geplante OP}) \\ 2,258 (\text{ungeplante OP}) \\ 0 (\text{notfallmäßige OP}) \end{cases} \right)$$

Die Schätzung ist aufgrund des exorbitant hohen Werts des Exponentialfunktion $\text{Exp}(B)$ und des dazugehörigen Konfidenzintervalls für die Konstante jedoch mit größter Vorsicht zu betrachten.

Anforderung und Verbrauch von EKs

Der EK-Verbrauch bei Einbringung eines Stents stellte sich geringer heraus als ursprünglich kalkuliert.

Tabelle 106: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
BAA-Y-Stentgraft/	Anforderung	77	0,0	10,0	2,623	2,641
TAA-Stentgraft	Verbrauch	77	0,0	23,0	,766	2,823

Das unter Anwendung des Algorithmus berechnete Konfidenzintervall inkludiert weder die durchschnittlich bestellte noch die im Transfusionskatalog angeratene EK-Menge. Beide Zahlen unterscheiden sich daher statistisch relevant von dem errechneten Schätzwert.

Tabelle 107: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				MW	SE	95% CI	
						untere	obere
BAA-Y-Stentgraft/	2,623	,766	2	,617	,1747	,354	1,074
TAA-Stentgraft							

3.2.6.4 Thrombektomie

Deskriptive Statistik

Im Beobachtungszeitraum wurden 162 Thrombektomien durchgeführt. Die 140 Patienten, denen keine Blutprodukte zugeführt wurden, waren im Mittel 70 Jahre alt, während die 22 transfundierten Personen durchschnittlich 74 Jahre alt waren und einen niedrigeren Ausgangs-Hb-Wert und eine geringere Körperoberfläche aufwiesen. Insgesamt betrachtet mussten sich mehr Männer einer Thrombektomie unterziehen, ein größerer Transfusionsbedarf bestand jedoch bei den weiblichen Patienten. Die Patienten litten vorwiegend an einer schweren Allgemeinerkrankung (ASA 3) mit einer steigenden Tendenz der lebensbedrohlich Erkrankten (ASA 4) bei der Gruppe der transfundierten Patienten. Nur bei der Hälfte der Operationen, die den Einsatz von Blutkonserven erforderten, handelte

es sich um elektive Eingriffe, während der Anteil an geplanten und notfallmäßigen Operationen mit 41% bzw. 9% relativ hoch war.

Tabelle 108: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Thrombektomie/ Revisionen	gesamt	162	91	56,2	71	43,8	70,741	11,034
	EK=0	140	82	58,6	58	41,4	70,236	10,888
	EK>=1	22	9	40,9	13	59,1	73,955	11,672

Tabelle 109: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			Thrombektomie/ Revisionen	gesamt	162	12,760
	EK=0	140	13,104	1,991	1,847	,278
	EK>=1	22	10,777	1,613	1,797	,261

Tabelle 110: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA					Dringlichkeit							
			1		2		3	4		5	1		2		3
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n
Thrombektomie/ Revisionen	gesamt	162	11	6,8	117	72,2	34	21,0	98	60,5	50	30,9	14	8,6	
	EK=0	140	11	7,9	104	74,3	25	17,9	87	62,1	41	29,3	12	8,6	
	EK>=1	22			13	59,1	9	40,9	11	50,0	9	40,9	2	9,1	

Poisson-Regression

Im vorliegenden Patientenkollektiv stellt die Variable Dringlichkeit einen Confounding-Parameter dar, welcher sowohl die abhängige Variable wie auch unabhängige Variablen beeinflusst. Um diese Schwierigkeit zu umgehen, wurde für jede Ausprägung der Variable Dringlichkeit eine eigene Regressionsanalyse durchgeführt. Bei geplanten Operationen übt der Ausgangs-Hb-Wert einen signifikanten Einfluss auf den Transfusionsbedarf aus. Ein um eine Einheit sinkender Hb-Wert geht mit einer Erhöhung der EK-Anzahl um den Faktor 0,584 einher.

Tabelle 111: Poisson-Regression für geplante Operationen

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	5,258	,8856	35,246	1	,000	192,039	33,850	1089,494
HbWertNarko	-,538	,0836	41,404	1	,000	,584	,496	,688

Der Algorithmus für geplante Eingriffe lautet demnach:

$$\lambda = \exp(5,258 - 0,538 * Hb)$$

Bei ungeplanten Operationen beeinflussen die ASA-Risikoklassifikation, das Geschlecht, die Interaktion aus Geschlecht und Körperoberfläche sowie der Hb-Wert die erwartete EK-Anzahl auf statistisch eindeutige Weise. Verglichen mit lebensbedrohlich Erkrankten benötigen Patienten der ASA-Gruppe 3 weniger EKs. Ebenso weisen Männer einen geringeren Transfusionsbedarf als Frauen auf. Der Ausgangs-Hb-Wert korreliert negativ mit der erwarteten EK-Anzahl.

Tabelle 112: Poisson-Regression für ungeplante Operationen

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	4,071	3,9452	1,065	1	,302	58,635	,026	133770,253
ASA 3	-1,866	,5057	13,611	1	,000	,155	,057	0,417
ASA 4	0					1		
Mann	-26,154	9,2366	8,018	1	,005	,000	,000	,000
Frau	0					1		
Mann und KÖFm ²	12,541	3,7345	11,278	1	,001	279643,372	185,280	422066879,600
Frau und KÖFm ²	,903	1,6505	,299	1	,584	2,467	,097	62,665
HbWertNarko	-,454	,1392	10,612	1	,001	,635	,484	,835

Aus den oben genannten Überlegungen leitet sich für ungeplante Operationen folgende Regressionsgleichung her:

$$\hat{\lambda} = \exp\left(4,071 - 0,454 * \text{Hb} - \begin{cases} 1,866 \text{ (ASA 3)} \\ 0 \text{ (ASA 4)} \end{cases} - \begin{cases} 26,154 \text{ (Mann)} \\ 0 \text{ (Frau)} \end{cases} + \begin{cases} 12,541 * \text{KÖF (Mann)} \\ 0,903 * \text{KÖF (Frau)} \end{cases}\right)$$

Demgegenüber lag mit 14 Patienten ein zu kleines Kollektiv mit Notfalleingriffen vor, als dass sich ein signifikanter Effekt auf den Transfusionsbedarf gezeigt hätte.

Anforderung und Verbrauch von EKs

Für die Durchführung von Thrombektomien wurden präoperativ etwa drei Mal mehr EKs veranschlagt, als letztendlich verbraucht wurden.

Tabelle 113: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation		N	min	max	MW	SD
Thrombektomie	Anforderung	162	0,0	6,0	,907	1,499
	Verbrauch	162	0,0	8,0	,321	1,038

Für geplante Operationen ist das algorithmisch ermittelte Konfidenzintervall relativ eng umgrenzt und nähert sich gerundet am ehesten der Null an. Sowohl der im Transfusionskatalog empfohlene Richtwert als auch die mittlere angeforderte EK-Anzahl liegen außerhalb des Konfidenzintervalls. Sie unterscheiden sich daher statistisch eindeutig vom

algorithmisch errechneten Transfusionsbedarf, so dass eine Anpassung der zukünftigen Bestellpraxis an die Ergebnisse der Regressionsanalyse angezeigt wäre.

Tabelle 114: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression für geplante Operationen

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				95% CI			
				MW	SE	untere	obere
Thrombektomie (geplant)	,907	,321	2	,161	,0743	,066	,398

Für ungeplante Eingriffe zeigt sich ein ähnliches Bild. Auch hier schließt das Konfidenzintervall am ehesten die Null ein und unterscheidet sich statistisch signifikant von der mittleren angeforderten EK-Anzahl und der auf Basis klinischer Expertise empfohlenen Menge. In Zukunft sollten sich die präoperativen Anforderungen an den algorithmisch ermittelten Werten orientieren.

Tabelle 115: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression für ungeplante Operationen

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				95% CI			
				MW	SE	untere	obere
Thrombektomie (ungeplant)	,907	,321	2	,042	,0393	,007	,264

3.2.6.5 Thorako-abdominales Aortenaneurysma (TAAA)

Deskriptive Statistik

Die offene Versorgung eines TAAA war in 72% der Fälle mit einer Bluttransfusion verbunden. Die durchschnittlich 63 Jahre alten Patienten waren in erster Linie männlichen Geschlechts und aufgrund ihrer Erkrankung einem hohen und insbesondere bei transfusionspflichtigen Eingriffen einem sehr hohen perioperativen Risiko ausgesetzt. Mit etwa 33% war der Anteil der ungeplanten Operationen mit Transfusionsbedarf relativ hoch.

Tabelle 116: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
TAAA offen	gesamt	46	31	67,4	15	32,6	62,587	14,221
	EK=0	13	11	84,6	2	15,4	61,846	13,910
	EK>=1	33	20	60,6	13	39,4	62,879	14,545

Tabelle 117: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
TAAA offen	gesamt	46	13,471	2,040	1,968	,218
	EK=0	13	14,400	1,544	2,015	,175
	EK>=1	33	13,100	2,117	1,949	,232

Tabelle 118: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA						Dringlichkeit									
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
TAAA offen	gesamt	46			12	26,1	29	63,0	5	10,9	28	60,9	13	28,3	5	10,9		
	EK=0	13			7	53,8	6	46,2			10	76,9	2	15,4	1	7,7		
	EK>=1	33			5	15,2	23	69,7	5	15,2	18	54,5	11	33,3	4	12,1		

Poisson-Regression

Ein statistisch relevanter Einfluss auf die EK-Anzahl konnte für das betrachtete Patientenkollektiv lediglich für die Variable ASA belegt werden. Die übrigen unabhängigen Variablen waren zwar Teil des Regressionsmodells, ohne jedoch signifikante Ergebnisse zu erzielen.

Tabelle 119: Tests der Modelleffekte

	Wald	df	Sig.
Konstante	8,190	1	,004
ASA	20,856	2	,000

Verglichen mit einem moribunden Patienten benötigte ein schwer Erkrankter weniger und ein lebensbedrohlich Erkrankter mehr EKs, wobei die Unterschiede in der Anzahl der EKs lediglich zwischen den ASA-Gruppen 3 und 4 sowie 4 und 5 signifikant waren.

Tabelle 120: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	95% Wald-CI für Exp(B)		
						Exp(B)	Unterer	Oberer
Konstante	,560	,3780	2,192	1	,139	1,750	,834	3,671
ASA 3	-,878	,5175	2,878	1	,090	,416	,151	1,146
ASA 4	,709	,3915	3,279	1	,070	2,032	,943	4,376
ASA 5	0					1		

Der hieraus abgeleitete Algorithmus lautet:

$$\lambda = \exp\left(0,560 + \begin{cases} -0,878 (ASA 3) \\ 0,709 (ASA 4) \\ 0 (ASA 5) \end{cases}\right)$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Die offene Ausschaltung eines TAAA's erforderte einen hohen Einsatz an EKs, der jedoch hinter der präoperativ bestellten Menge zurückblieb.

Tabelle 121: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
TAAA offen	Anforderung	46	0,0	12,0	6,435	2,880
	Verbrauch	46	0,0	20,0	2,696	3,457

Das anhand des Algorithmus berechnete Konfidenzintervall liegt für das vorliegende Patientenkollektiv jenseits dessen, was präoperativ an EKs angefordert und im Transfusionskatalog als Empfehlung ausgewiesen wurde. Dies lässt auf einen statistisch relevanten Unterschied schließen, der in der künftigen Bestellpraxis Berücksichtigung finden sollte.

Tabelle 122: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				MW	SE	95% CI	
						unterer	oberer
TAAA offen	6,435	2,696	10	1,654	,2908	1,172	2,335

3.2.6.6 Majoramputation

Deskriptive Statistik

Das Durchschnittsalter der 42 Patienten, die sich einer Majoramputation ohne Notwendigkeit einer Transfusion unterziehen mussten, lag bei 67 Jahren, die 21 transfundierten Patienten waren mit 63 Jahren im Mittel 4 Jahre jünger. Mit insgesamt 67% waren vorwiegend Männer von der Operation betroffen. Im Vergleich zu der Patientengruppe, die keine Blutkonserven benötigte, fiel bei den transfusionspflichtigen Personen neben dem erwartungsgemäß niedrigeren Ausgangs-Hb eine größere Körperoberfläche auf. Während die nicht-transfundierten Patienten vor allem durch schwere Vorerkrankungen (ASA 3) belastet waren, wies etwa die Hälfte der transfundierten Patienten aufgrund einer bestehenden lebensbedrohlichen Allgemeinerkrankung ein hohes Operationsrisiko (ASA 4) auf.

Tabelle 123: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Majoramputationen	gesamt	63	42	66,7	21	33,3	66,016	14,304
	EK=0	42	29	69,0	13	31,0	67,333	13,427
	EK>=1	21	13	61,9	8	38,1	63,381	15,929

Tabelle 124: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			Majoramputationen	gesamt	63	10,520
	EK=0	42	11,090	1,952	1,857	,227
	EK>=1	21	9,462	1,287	1,978	,255

Tabelle 125: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA					Dringlichkeit										
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Majoramputationen	gesamt	63	8	12,7	40	63,5	15	23,8	49	77,8	12	19,0	2	3,2				
	EK=0	42	7	16,7	30	71,4	5	11,9	35	83,3	7	16,7						
	EK>=1	21	1	4,8	10	47,6	10	47,6	14	66,7	5	23,8	2	9,5				

Poisson-Regression

Alle sechs unabhängigen Variablen fließen in die Regressionsanalyse ein. Für die ASA-Risikoklassifikation, das Alter, die Körperoberfläche und den Ausgangs-Hb-Wert konnte ein statistisch eindeutiger Zusammenhang mit der erwarteten EK-Anzahl aufgezeigt werden, so dass diese Größen letztendlich im Poisson-Modell verblieben.

Tabelle 126: Tests der Modelleffekte

	Wald	df	Sig.
Konstante	6,562	1	,010
ASA	15,934	2	,000
AlterJahre	13,861	1	,000
KÖFm ²	5,851	1	,016
HbWertNarko	33,385	1	,000

Das Alter und der Hb-Wert korrelierten invers mit dem Transfusionsbedarf in dem Sinne, dass jüngere Patienten und solche mit einem niedrigen Ausgangs-Hb-Wert mehr EKs benötigten. Die Bedeutsamkeit der Körperoberfläche offenbart sich in der Exponentialfunktion $\exp(B)$, die mit 5,873 einen relativ hohen Wert annimmt und den großen Einfluss dieser Variable auf die erwartete EK-Anzahl unterstreicht. Allgemein betrachtet beeinflusst die ASA-Risikoklassifikation mit einem p-Wert kleiner als 0,0001 den Transfusionsbedarf in hohem Maße. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass Patienten der ASA-Klasse

2 und 3 im Vergleich zu lebensbedrohlich Erkrankten (ASA 4) weniger EKs verabreicht wurden. Signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen bestehen jedoch nur zwischen ASA 3 und 4 (p=0,008), während sich diese zwischen ASA 2 und 4 zumindest vermuten lassen (p=0,052).

Tabelle 127: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	5,858	2,0716	7,998	1	,005	350,149	6,039	20303,435
ASA 2	-1,310	,9556	1,879	1	,170	,270	,041	1,756
ASA 3	-1,213	,3193	14,445	1	,000	,297	,159	,556
ASA 4	0					1		
AlterJahre	-,045	,0121	13,861	1	,000	,956	,933	,979
KÖFm ²	1,770	,7319	5,851	1	,016	5,873	1,399	24,651
HbWertNarko	-,611	,1058	33,385	1	,000	,543	,441	,668

Aus den aufgeführten Überlegungen ergibt sich folgender Algorithmus zur Abschätzung der erwarteten Anzahl an EKs:

$$\lambda = \exp \left(5,858 - 0,045 * \text{Alter} + 1,770 * \text{KÖF} - 0,611 * \text{Hb} - \begin{cases} 1,310 \text{ (ASA 2)} \\ 1,213 \text{ (ASA 3)} \\ 0 \text{ (ASA 4)} \end{cases} \right)$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Die Bestellung von EKs erfolgte bedarfsgerecht, was sich in den beinahe identischen Mittelwerten der angeforderten und schließlich verbrauchten Menge äußert.

Tabelle 128: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Major-	Anforderung	63	0,0	12,0	,794	1,842
amputationen	Verbrauch	63	0,0	12,0	,810	1,874

Das den Bereich von 0,182 bis 0,699 EKs und somit von 0 EK bis 1 EK umfassende Konfidenzintervall enthält die im Patientenkollektiv beobachtete angeforderte EK-Anzahl. Aufgrund des relativ eng umgrenzten Bereichs enthält das Konfidenzintervall mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% die wahre unbekannte Anzahl an EKs und lässt auf eine gute Eignung der durchschnittlichen Bestellmenge als Schätzwert schließen.

Die im Transfusionskatalog empfohlene Menge weicht vom Konfidenzintervall ab und unterscheidet sich daher statistisch relevant von dem auf Basis der Poisson-Regression ermittelten Schätzwert, was eine Anpassung des Richtwerts nach sich ziehen sollte. Ob

letztendlich 0 oder 1 EK für die Intervention veranschlagt werden, sollten individuelle Gegebenheiten entscheiden.

Tabelle 129: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				MW	SE	95% CI	
						unterer	oberer
Major- amputationen	,794	,810	2	,357	,1225	,182	,699

3.2.7 Unfallchirurgische Eingriffe

3.2.7.1 Frakturen der Extremitäten

Der Transfusionskatalog der Klinik für Allgemeine, Unfall-, Hand- und Plastische Chirurgie enthält gesondert aufgeführte Informationen zur Hüft-/Femur-, Unterschenkel-, Ellenbogen, Humerus- und Beckenfrakturen. Im Rahmen der OPS-Kodierung des DIMDI ist die Lokalisation der Fraktur aus der 6. Stelle zu ersehen. Der vorliegende Datensatz umfasst jedoch lediglich Kodierungen bis zur 4. Stelle, so dass die einzelnen Frakturformen zusammengefasst und folglich Informationsverluste toleriert werden mussten. Aufgrund des geringen Anteils an Operationen mit Transfusionsbedarf wurde von der Durchführung einer Regressionsanalyse zur Ermittlung der Einflussfaktoren auf die EK-Anzahl letztlich abgesehen.

3.2.7.2 Frakturen der Hals-, Brust- oder Lendenwirbelsäule

Eine Unterscheidung der Frakturen im Wirbelsäulenbereich nach BWS/LWS einerseits und HWS andererseits, wie im Transfusionskatalog vorgeschlagen, war anhand der im Datensatz zur Anwendung gekommenen Kodierungen nicht möglich. Nach Zusammenfassung dieser Frakturen lag der Anteil der Operationen, die mit dem Einsatz von Blutkonserven verbunden war, über 5%, so dass eine Regressionsanalyse durchgeführt werden konnte.

Deskriptive Statistik

Im betrachteten Zeitraum wurden 79 Frakturen an der Wirbelsäule operativ versorgt, wovon 7 Fälle den Einsatz von Blutkonserven erforderten. Die durchschnittlich 60 Jahre

derer die Einflussgrößen in Abhängigkeit der Höhe ihres p-Werts schrittweise aus dem Modell entfernt wurden. Letztendlich konnte für den bestehenden Datensatz keine Variable identifiziert werden, die einen statistisch relevanten Einfluss auf den Transfusionsbedarf hätte. Die p-Werte lagen allesamt weit über dem Signifikanzniveau von 0,05. Einen allgemeinen Rückschluss auf den Transfusionsbedarf bei Wirbelsäulenfrakturen erlauben diese Ergebnisse allerdings nicht, da entweder der Umfang der vorliegende Stichprobe zu gering oder aber die Anzahl der transfundierten Patienten zu klein war.

Anforderung und Verbrauch von EKs

Die Versorgung von Wirbelsäulenfrakturen erforderte einen geringeren Verbrauch von Blutprodukten als präoperativ angenommen.

Tabelle 133: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Fraktur	Anforderung	79	0,0	5,0	1,000	1,188
HWS/BWS/LWS	Verbrauch	79	0,0	7,0	,203	,925

Für das bestehende Kollektiv ließ sich statistisch keine Korrelation zwischen den betrachteten unabhängigen Variablen und dem erwarteten EK-Bedarf aufzeigen, so dass sich die präoperativen Anforderungen an EKs weiterhin an den im Transfusionskatalog hinterlegten Empfehlungen orientieren sollten.

3.2.8 Neurochirurgische Eingriffe

Der Transfusionskatalog der Neurochirurgischen Klinik beinhaltet kranielle Eingriffe wie zum Beispiel die Versorgung von Tumoren, Aneurysmen oder Hämatomen, ferner Wirbelsäuleneingriffe wie z.B. die Behandlung von Bandscheibenvorfällen, die Stabilisierung der Wirbelsäule oder die Behebung von Stenosen, schließlich sonstige Eingriffe wie die Vagusstimulation, die Anlage eines ventrikulo-peritonealen Shunts oder stereotaktische Eingriffe und verschiedene pädiatrische Eingriffe. Die nachfolgenden Kapitel behandeln transfusionspflichtige Eingriffe im neurochirurgischen Bereich.

3.2.8.1 Kraniotomie

Deskriptive Statistik

Die Mikrovaskuläre Dekompression (Operation nach Jannetta), bei welcher krankhafte Kontakte zwischen Arterien und Hirnnerven in der hinteren Schädelgrube beseitigt werden, wäre ein Beispiel für einen neurochirurgischen Eingriff, der eine Kraniotomie erfordert. Im Beobachtungszeitraum wurden Eingriffe dieser Art 642 Mal verschlüsselt und standen in 6% der Fälle mit einer Transfusion in Verbindung. Frauen waren von der Operation häufiger betroffen. Das Durchschnittsalter lag bei 54 Jahren. Der Ausgangs-Hb-Wert und die Körperoberfläche der transfundierten Patienten waren deutlich niedriger als bei der anderen Patientengruppe. Der Großteil der Patienten, die keine Transfusion erhielten, waren in die ASA-Klassen 2 und 3 eingestuft, während transfundierte Patienten überwiegend lebensbedrohlich erkrankt waren. Beim überwiegenden Teil von Operationen ohne Transfusionsbedarf handelte es sich um geplante Eingriffe, während sich das Verhältnis bei den transfundierten Patienten in Richtung ungeplante Eingriffe verschob.

Tabelle 134: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Kraniotomie	EK>=0	642	291	45,3	351	54,7	53,828	18,199
	EK=0	601	273	45,4	328	54,6	53,854	17,622
	EK>=1	41	18	43,9	23	56,1	53,442	25,794

Tabelle 135: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			Kraniotomie	EK>=0	642	13,337
	EK=0	601	13,532	1,688	1,842	,262
	EK>=1	41	10,548	2,094	1,689	,518

Tabelle 136: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA										Dringlichkeit					
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Kraniotomie	gesamt	642	25	3,9	234	36,4	282	43,9	95	14,8	6	0,9	465	72,4	113	17,6	64	10,0
	EK=0	601	24	4,0	233	38,8	272	45,3	68	11,3	4	0,7	454	75,5	95	15,8	52	8,65
	EK>=1	41	1	2,4	1	2,4	10	24,4	27	65,9	2	4,9	11	26,8	18	43,9	12	29,3

Poisson-Regression

In die Regressionsanalyse wurden sämtliche unabhängigen Variablen einbezogen. Ein Zusammenhang mit dem EK-Bedarf als abhängige Variable konnte für den bestehenden

Datensatz jedoch nur für die ASA-Klassifikation und den Hb-Wert gezeigt werden, die folglich im Endmodell verblieben.

Tabelle 137: Tests der Modelleffekte

	Wald	df	Sig.
Konstante	22,832	1	,000
ASA	12,939	4	,012
HbWertNarko	35,444	1	,000

Grundsätzlich ist die Eignung der ASA-Risikoklassifikation als Prädiktor gut ($p < 0,05$), paarweise Vergleiche lieferten jedoch nicht zwischen allen Gruppen signifikante Unterschiede in der erwarteten EK-Anzahl. Im Vergleich zu einem Patienten der ASA-Gruppe 5 werden in allen anderen Klassifikationen weniger EKs benötigt. Wie bereits die deskriptive Statistik vermuten lässt, korreliert der Ausgangs-Hb-Wert invers mit dem Transfusionsbedarf. Je kleiner der Hb-Wert ist, desto höher ist die erwartete EK-Anzahl.

Tabelle 138: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	5,627	,9641	34,061	1	,000	277,780	41,979	1838,121
ASA 1	-1,454	1,2137	1,435	1	,231	,234	,022	2,521
ASA 2	-2,472	1,1085	4,974	1	,026	,084	,010	,741
ASA 3	-2,412	,7630	9,993	1	,002	,090	,020	,400
ASA 4	-1,341	,6627	4,097	1	,043	,262	,071	,958
ASA 5	0					1		
HbWertNarko	-,486	,0816	35,444	1	,000	,615	,524	,722

Aus der Regressionsanalyse lässt sich folgender Algorithmus ableiten:

$$\lambda = \exp \left(5,627 - 0,486 * \text{HbWert} - \begin{cases} 1,454 \text{ (ASA 1)} \\ 2,472 \text{ (ASA 2)} \\ 2,412 \text{ (ASA 3)} \\ 1,341 \text{ (ASA 4)} \\ 0 \text{ (ASA 5)} \end{cases} \right)$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Die angeforderte EK-Anzahl überstieg den perioperativen Verbrauch deutlich.

Tabelle 139: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Kraniotomie	Anforderung	642	0,0	6,0	1,981	,533
	Verbrauch	642	0,0	7,0	,129	,627

Das Konfidenzintervall nähert sich mit 0,042 bis 0,201 der Null an und enthält bei dieser Sichtweise die im Transfusionskatalog vorgeschlagene EK-Anzahl, die sich aufgrund des

eng umgrenzten Bereichs des Konfidenzintervalls als guter Schätzwert für den erwarteten Transfusionsbedarf erwies.

Die durchschnittlich angeforderte Menge liegt dagegen weit außerhalb der berechneten Grenzen und unterscheidet sich daher statistisch deutlich von diesen. Eine Anpassung der präoperativen Bestellmenge sollte folglich diskutiert werden.

Tabelle 140: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				MW	SE	95% CI	
						unterer	oberer
Kraniotomie	1,981	,129	0	,092	,0367	,042	,201

3.2.8.2 Bandscheibenvorfall

Deskriptive Statistik

Im Beobachtungszeitraum wurden 35 Bandscheibenvorfälle operativ versorgt, die Transfusionsrate betrug 11%. Frauen waren etwas häufiger von dem Eingriff betroffen als Männer. Patienten, die keine Bluttransfusion benötigten, waren durchschnittlich 61 Jahre alt, während das Durchschnittsalter der transfundierten Patienten bei etwa 69 Jahren lag. Der Ausgangs-Hb-Wert und die Körperoberfläche der transfundierten Patienten waren deutlich geringer als bei der Patientengruppe ohne Transfusionsbedarf. Insgesamt betrachtet litt der Großteil des betrachteten Kollektivs an einer leicht einschränkenden Erkrankung (ASA 2). Es handelte sich in der überwiegenden Anzahl von Fällen um geplante Eingriffe.

Tabelle 141: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Bandscheiben- vorfall	gesamt	35	16	45,7	19	54,3	62,229	14,061
	EK=0	31	15	48,4	16	51,6	61,419	14,308
	EK>=1	4	1	25,0	3	75,0	68,500	11,590

Tabelle 142: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
Bandscheiben- vorfall	gesamt	35	13,309	1,933	1,839	,257
	EK=0	31	13,677	1,685	1,854	,249
	EK>=1	4	10,550	1,473	1,723	,325

Tabelle 143: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA						Dringlichkeit									
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Bandscheiben- vorfall	gesamt	35	2	5,7	21	60,0	11	31,4	1	2,9								
	EK=0	31	1	3,2	21	67,7	9	29,0					28	90,3	2	6,5	1	3,2
	EK>=1	4	1	25			2	50,0	1	25,0			2	50,0	2	50,0		

Poisson-Regression

Aufgrund des kleinen Patientenkollektivs (35 Patienten) und des hohen Anteils an Fällen, die keine Bluttransfusion erforderten (88,6%), war die Durchführung der Poisson-Regression bei Berücksichtigung mehrerer unabhängiger Variablen im Modell mit Schwierigkeiten verbunden. Letztendlich zeigten univariate Analysen, mittels derer sämtliche Variablen einzeln auf Signifikanz überprüft wurden, lediglich für den Ausgangs-Hb-Wert einen statistisch eindeutigen Effekt auf den Transfusionsbedarf auf. Sinkt der Hb-Wert um eine Einheit, erhöht sich die erwartete EK-Anzahl um den Faktor 0,491.

Tabelle 144: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	6,631	2,1237	9,751	1	,002	758,537	11,812	48712,758
HbWertNarko	-,711	,1894	14,086	1	,000	,491	,339	,712

Hieraus ergibt sich folgender Algorithmus:

$$\lambda = \exp(6,631 - 0,711 * \text{HbWert})$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Die operative Versorgung von Bandscheibenvorfällen erforderte weit weniger EK als präoperativ veranschlagt.

Tabelle 145: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Bandscheiben- vorfall	Anforderung	35	0,0	4,0	1,771	,942
	Verbrauch	35	0,0	2,0	,171	,514

Mit 0,018 bis 0,198 ist das ermittelte Konfidenzintervall sehr eng umgrenzt und schließt bei einer gerundeten Betrachtungsweise am ehesten einen Transfusionsbedarf von 0 EKs ein, wie auch im Transfusionskatalog des Klinikums ausgewiesen.

Die durchschnittlich angeforderte Menge liegt außerhalb des Konfidenzintervalls und unterscheidet sich daher statistisch deutlich von der berechneten EK-Anzahl. Eine entsprechende Ausrichtung der EK-Bestellungen an die regressionsanalytisch ermittelten Ergebnisse sollte in Zukunft erwogen werden.

Tabelle 146: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW	MW	MW	Poisson-Regression			
	Anforderung	Verbrauch	Katalog	MW	SE	95% CI	
						unterer	oberer
Bandscheibenvorfall	1,771	,171	0	,059	,0365	,018	,198

3.2.8.3 Stabilisierung der Wirbelsäule

Deskriptive Statistik

Insgesamt mussten sich 25 Patienten einem stabilisierenden Eingriff an der Wirbelsäule unterziehen, wovon etwas mehr Männer betroffen waren. Knapp ein Viertel der Patienten, die überwiegend weiblichen Geschlechts waren, erhielt eine Bluttransfusion. Das Durchschnittsalter der transfundierten Patienten lag mit 74 Jahren weit höher als der Gesamtdurchschnitt von 64 Jahren und der Ausgangs-Hb-Wert erwartungsgemäß niedriger. Sämtliche Operationen wurden elektiv vorgenommen und waren überwiegend mit einem mäßigen Risiko assoziiert (ASA 3).

Tabelle 147: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
WS Stabilisierung	EK \geq 0	25	14	56,0	11	44,0	64,080	19,685
	EK=0	19	12	63,2	7	36,8	61,053	21,544
	EK \geq 1	6	2	33,3	4	66,7	73,667	6,623

Tabelle 148: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			WS Stabilisierung	EK \geq 0	25	12,405
EK=0	19	12,924		2,397	1,923	,226
EK \geq 1	6	10,640		1,769	1,927	,178

Tabelle 149: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA									Dringlichkeit						
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
WS Stabilisierung	gesamt	25	1	4,0	6	24,0	16	64,0	2	8,0								
	EK=0	19	1	5,3	6	31,6	11	57,9	1	5,3								
	EK>=1	6					5	83,3	1	16,7								

Poisson-Regression

Da nur eine Ausprägung der Variable Dringlichkeit besetzt war, fand diese im Regressionsmodell keine Berücksichtigung. Schwierigkeiten bereitete außerdem die Variable ASA, da neben ASA 3 nur ein einziger Fall der Ausprägung ASA 4 mit einer Bluttransfusion verbunden war. Der Informationsgehalt des Datensatzes ist folglich zu gering, um einen Einfluss von ASA auf die EK-Anzahl zu untersuchen, so dass auch ASA nicht in die Regressionsanalyse einging. Die verbleibenden Variablen Geschlecht, Körperoberfläche, Alter und Hb-Wert wurden im Anschluss in Abhängigkeit der Höhe ihres p-Werts in absteigender Reihenfolge aus dem Modell ausgeschlossen. Letztendlich zeigte im vorliegenden Patientenkollektiv lediglich der Hb-Wert einen signifikanten Einfluss auf den Blutbedarf. Ein um eine Einheit sinkender Hb-Wert erhöht die Anzahl an EKs um den Faktor 0,726. Aufgrund der geringen Stichprobengröße von 25 Patienten ist bei der Interpretation der Ergebnisse Vorsicht geboten. Eine Überprüfung der Resultate in einem größeren Patientenkollektiv scheint angebracht.

Tabelle 150: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	3,225	1,6032	4,047	1	,044	25,163	1,087	582,676
HbWertNarko	-,320	,1465	4,763	1	,029	,726	,545	,968

Der aus der Poisson-Regression resultierende Algorithmus lautet:

$$\lambda = \exp(3,225 - 0,320 * \text{HbWert})$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Für stabilisierende Eingriffe an der Wirbelsäule wurden vorab beinahe doppelt so viele EKs eingeplant, wie letztendlich benötigt wurden.

Tabelle 151: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
WS Stabilisierung	Anforderung	25	0,0	4,0	1,120	1,166
	Verbrauch	25	0,0	3,0	,600	1,155

Rundet man die Grenzen des Konfidenzintervalls, umfasst dieses einen Bereich von 0 bis 1 EKs und schließt damit sowohl die im Transfusionskatalog geforderte als auch die in der Stichprobe beobachtete durchschnittlich angeforderte Menge ein. Das Konfidenzintervall ist eng begrenzt und weist somit auf eine gute Eignung der beiden genannten Richtwerte hin, verlangt aber auch eine auf den individuellen Erfordernissen beruhende Entscheidung, ob letzten Endes 0 oder 1 EKs veranschlagt werden.

Tabelle 152: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				MW	SE	95% CI	
						unterer	oberer
WS Stabilisierung	1,120	,600	0	,477	,2187	,194	1,171

3.2.9 Herzchirurgische Eingriffe

Operationen am Herzen erfordern in der Regel einen hohen Einsatz von Blutkonserven. Welche Faktoren den Transfusionsbedarf beeinflussen, ist Gegenstand der nachfolgenden Kapitel. Die statistische Analyse umfasst folgende Eingriffe: die Anlage eines Aorto-koronaren Bypasses (ACB), den Aorten- bzw. Mitralklappenersatz, den Aorta Ascendens-Ersatz, den Aorta-Ascendens-Bogenersatz und Herztransplantationen. Da Kombinations-eingriffe (z.B. ACB mit Klappe) nicht gesondert kodiert werden, fanden diese keine Berücksichtigung. Dies gilt auch für gewichtsadaptierte Herz-OPs und Eingriffe bei Endokarditiden. Die Transfusionswahrscheinlichkeit bei Aortendissektionen war zwar hoch, das Patientenaufkommen jedoch zu gering, als dass eine aussagekräftige Regressionsanalyse durchgeführt hätte werden können.

3.2.9.1 Aorto-koronarer Bypass (ACB)

Deskriptive Statistik

Von insgesamt 574 Bypassoperationen erforderte mit einem Anteil von 47% beinahe die Hälfte der Eingriffe den Einsatz von EKs. Insgesamt betrachtet waren zwar mehr Männer

von der Operation betroffen, das Geschlechterverhältnis verschob sich jedoch zu Ungunsten der transfundierten Patientinnen (w: 7% ohne EKs, 29% mit EKs). Die Patienten, die keine Transfusion benötigten, waren durchschnittlich 65 Jahre alt, das Durchschnittsalter der transfundierten Patienten lag 5 Jahre höher. Der Ausgangs-Hb-Wert und die Körperoberfläche waren im Falle einer Transfusion etwas niedriger. Beinahe sämtliche Patienten litten an einer schweren (ASA 3) oder lebensbedrohlichen (ASA 4) Allgemeinerkrankung, wobei sich das Risikoprofil der transfundierten Patienten in Richtung ASA 4 verschob. Es handelte sich vorwiegend um elektive Operationen, mit einem mittleren Anteil von 4% waren Notfalleingriffe jedoch relativ häufig zu beobachten.

Tabelle 153: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
ACB nicht voroperiert/Re-OP	EK>=0	574	475	82,8	99	17,2	67,510	9,597
	EK=0	306	284	92,8	22	7,2	65,317	9,313
	EK>=1	268	191	71,3	77	28,7	70,015	9,316

Tabelle 154: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			ACB nicht voroperiert/Re-OP	EK>=0	574	13,806
	EK=0	306	14,701	1,210	2,033	,194
	EK>=1	268	12,838	1,835	1,897	,212

Tabelle 155: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA										Dringlichkeit					
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
ACB nicht voroperiert/Re-OP	gesamt	574	2	0,3	217	37,8	351	61,1	3	0,5	501	87,3	49	8,5	24	4,2		
	EK=0	306			131	42,8	174	56,9	1	0,3	270	88,2	26	8,5	10	3,3		
	EK>=1	268	2	0,7	86	32,1	177	66,0	2	0,7	231	86,2	23	8,6	14	5,2		

Poisson-Regression

Nach Integration sämtlicher unabhängiger Variablen in die Regressionsanalyse konnte ein signifikanter Einfluss auf den Transfusionsbedarf für das Geschlecht, den Hb-Wert und die ASA-Klassifikation belegt werden, so dass diese schließlich Eingang in das beste Modell fanden.

Tabelle 156: Tests der Modelleffekte

	Wald	df	Sig.
Konstante	286,596	1	,000
Geschlecht	6,609	1	,010
ASA	33,977	3	,000
HbWertNarko	256,604	1	,000

Wie bereits die deskriptive Statistik vermuten ließ, benötigen Männer weniger EKs als Frauen. Grundsätzlich ist der Einfluss der Zuordnung zu einer ASA-Klasse statistisch abgesichert ($p > 0,0001$), der paarweise Vergleich mit adjustierten p-Werten zeigt jedoch nicht für sämtliche ASA-Kombinationen signifikante Unterschiede. Im Vergleich zu moribunden Patienten haben leicht, schwer und lebensbedrohlich erkrankte Patienten einen signifikant geringeren EK-Bedarf. Mit p-Werten weit über dem Signifikanzniveau von 0,05 konnten zwischen den ASA-Gruppen 2, 3 und 4 hingegen keine Unterschiede in der EK-Anzahl entdeckt werden. Unter der Annahme konstanter Werte aller anderen Variablen stieg mit jeder sinkenden Hb-Einheit die erwartete Anzahl an EKs um den Faktor 0,703.

Tabelle 157: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	6,518	,3832	289,222	1	,000	677,003	319,427	1434,861
Mann	-,273	,1063	6,609	1	,010	,761	,618	,937
Frau	0					1		
ASA 2	-1,273	,6416	3,936	1	,047	,280	,080	,985
ASA 3	-1,521	,2847	28,540	1	,000	,218	,125	,382
ASA 4	-1,610	,2774	33,696	1	,000	,200	,116	,344
ASA 5	0					1		
HbWertNarko	-,352	,0220	256,604	1	,000	,703	,674	,734

Aus den Ergebnissen der Regressionsanalyse lässt sich folgender Algorithmus ableiten:

$$\lambda = \exp \left(6,518 - 0,352 * \text{HbWert} - \begin{cases} 0,273 \text{ (Mann)} \\ 0 \text{ (Frau)} \end{cases} - \begin{cases} 1,273 \text{ (ASA 2)} \\ 1,521 \text{ (ASA 3)} \\ 1,610 \text{ (ASA 4)} \\ 0 \text{ (ASA 5)} \end{cases} \right)$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Die präoperativ angeforderte EK-Menge überstieg den durchschnittlichen Verbrauch um ca. das Dreifache

Tabelle 158: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
ACB nicht voroperiert/	Anforderung	574	0,0	12,0	3,118	2,250
Re-OP	Verbrauch	574	0,0	16,0	1,052	1,580

Das auf Basis der Regressionsanalyse ermittelte Konfidenzintervall weist einen zwischen 1 und 2 EK liegenden Transfusionsbedarf aus und enthält damit weder die im Transfusionskatalog angegebene noch die im Datensatz durchschnittlich angeforderte Menge. Eine Angleichung der Richtwerte an die Ergebnisse des Algorithmus scheint daher angezeigt.

Tabelle 159: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				MW	SE	95% CI	
						unterer	oberer
ACB nicht voroperiert/ Re-OP	3,118	1,052	3	1,521	,2535	1,097	2,109

3.2.9.2 Aortenklappenersatz (AKE)/Mitralklappenersatz (MKE) (nicht voroperiert)

Deskriptive Statistik

Der Ersatz der Aorten- oder Mitralklappe am nicht voroperierten Herzen ist ein häufiger Eingriff, der im betrachteten Jahr 573 Mal durchgeführt wurde und in 55% der Fälle mit der Notwendigkeit einer Transfusion verbunden war. Obgleich sich insgesamt etwas mehr Männer einem Klappenersatz unterziehen mussten, war das Geschlechterverhältnis bei den transfusionspflichtigen Eingriffen relativ ausgewogen. Sowohl der Ausgangs-Hb als auch die Körperoberfläche der transfundierten Patienten wiesen niedrigere Werte auf als bei der Patientengruppe, die keine Blutprodukte benötigten. Mehr als die Hälfte der Patienten wies ein hohes perioperatives Risiko auf (ASA4). Die sechs leicht erkrankten Patienten (ASA 2) erhielten im Rahmen der Operation keine EKs. Mehr als 90% der Eingriffe wurden planmäßig vorgenommen.

Tabelle 160: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
AKE/MKE (nicht voroperiert)	EK>=0	573	347	60,6	226	39,4	66,453	14,708
	EK=0	260	186	71,5	74	28,5	64,027	15,421
	EK>=1	313	161	51,4	152	48,6	68,468	13,791

Tabelle 161: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			AKE/MKE (nicht voroperiert)	EK>=0	573	13,086
	EK=0	260	14,236	1,530	1,929	,220
	EK>=1	313	12,117	1,920	1,825	,257

Tabelle 162: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA						Dringlichkeit									
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
AKE/MKE (nicht voroperiert)	gesamt	573	6	1,0	228	39,8	334	58,3	5	0,9	539	94,1	25	4,4	9	1,6		
	EK=0	260	6	2,3	119	45,8	135	51,9			255	98,1	3	1,2	2	0,8		
	EK>=1	313			109	34,8	199	63,6	5	1,6	284	90,7	22	7,0	7	2,2		

Poisson-Regression

Durch eine Rückwärts-Selektion (Backward Selection), im Rahmen derer die Einflussgrößen in Abhängigkeit der Höhe ihres p-Werts schrittweise aus dem Modell entfernt wurden, konnte gezeigt werden, dass lediglich die Variable Ausgangs-Hb einen signifikanten Effekt auf die erwartete EK-Anzahl hat. Das negative Vorzeichen des Schätzwerts des Parameters B der Variable Hb impliziert eine inverse Korrelation mit dem Transfusionsbedarf, der bei Patienten mit einem niedrigeren Ausgangs-Hb-Wert steigt.

Tabelle 163: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	4,237	,6739	39,535	1	,000	69,218	18,476	259,323
HbWertNarko	-,307	,0635	23,309	1	,000	,736	,650	,834

Die erwartete EK-Anzahl kann unter Anwendung folgender Regressionsgleichung geschätzt werden:

$$\lambda = \exp(4,237 - 0,307 * \text{HbWert})$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Der tatsächliche Blutbedarf zeigte sich perioperativ annähernd halb so groß wie erwartet. Die große Spannweite ist drei Ausreißern geschuldet, die 26, 30 und 53 EKs benötigten.

Tabelle 164: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
AKE/MKE (nicht voroperiert)	Anforderung	573	0,0	60,0	3,462	3,792
	Verbrauch	573	0,0	53,0	1,602	3,340

Das Transfusionsrisiko stellte sich als relativ gut kalkulierbar heraus, was sich in den relativ engen Grenzen des gerundet zwischen 1 und 2 EKs liegenden Konfidenzintervalls widerspiegelt. Die durchschnittlich angeforderte EK-Anzahl liegt ebenso wie die aufgrund klinischer Erfahrung empfohlene Menge außerhalb des Intervalls, so dass sich beide Schätzwerte statistisch eindeutig von den algorithmisch hergeleiteten Werten unterscheiden und entsprechend angepasst werden sollten

Tabelle 165: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				MW	SE	95% CI	
						unterer	oberer
AKE/MKE (nicht voroperiert)	3,462	1,602	3	1,254	,2149	,896	1,754

3.2.9.3 Aortenklappenersatz (AKE)/Mitralklappenersatz (MKE) (Re-OP)

Deskriptive Statistik

Bei 22 Personen mussten bereits ersetzte Herzklappen revidiert werden, was in 86% der Fälle mit der Verabreichung von Blutkonserven einherging. Hauptsächlich waren Männer von der Re-Operation betroffen, die auch den Großteil der transfundierten Patienten stellten. Etwa zwei Drittel der Patienten wurden aufgrund ihrer lebensbedrohlichen Allgemeinerkrankung in die Risikogruppe 4 eingestuft. Mit Ausnahme von einem ungeplanten Eingriff wurden sämtliche Operationen elektiv durchgeführt.

Tabelle 166: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
AKE/MKE (Re-OP)	EK \geq 0	22	18	81,8	4	18,2	70,045	10,050
	EK=0	3	3	100,0			56,000	12,166
	EK \geq 1	19	15	78,9	4	21,1	72,263	7,957

Tabelle 167: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			AKE/MKE (Re-OP)	EK>=0	22	12,244
	EK=0	3	13,350	0,071	1,984	,128
	EK>=1	19	12,106	2,303	1,863	,163

Tabelle 168: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA						Dringlichkeit									
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
AKE/MKE (Re-OP)	gesamt	22			8	36,4	14	63,6			21	95,5	1	4,5				
	EK=0	3			2	66,7	1	33,3			3	100,0						
	EK>=1	19			6	31,6	13	68,4			18	94,7	1	5,3				

Poisson-Regression

In der vorliegenden Stichprobe hielt nur der Ausgangs-Hb-Wert als einzige unabhängige Variable, die einen statistisch relevanten Einfluss auf den Transfusionsbedarf hat, der Regressionsanalyse stand. Ein um eine Einheit sinkender Hb-Wert erhöht die erwartete EK-Anzahl um den Faktor 0,809.

Tabelle 169: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	3,808	,7357	26,788	1	,000	45,047	10,652	190,498
HbWertNarko	-,212	,0638	10,979	1	,001	,809	,714	,917

Der hieraus abgeleitete Algorithmus lautet demnach:

$$\hat{\lambda} = \exp(3,808 - 0,212 * \text{HbWert})$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Die durchschnittlich angeforderte EK-Anzahl bei Folgeoperationen an den Herzklappen überstieg dabei die letztendlich benötigte.

Tabelle 170: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
AKE/MKE	Anforderung	22	0,0	8,0	5,364	2,381
(Re-OP)	Verbrauch	22	0,0	11,0	3,545	3,188

Die im Transfusionskatalog angegebene Konservenanzahl ist Teil des Intervalls und kann aufgrund des relativ umgrenzten Bereichs desselben als guter Schätzer für den Transfusionsbedarf angesehen werden.

Die im vorliegenden Patientenkollektiv beobachtete mittlere Bestellmenge unterscheidet sich hingegen statistisch eindeutig von dem auf Basis der Regressionsanalyse ermittelten Richtwert und sollte entsprechend überdacht werden.

Tabelle 171: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				MW	SE	95% CI	
						unterer	oberer
AKE/MKE (Re-OP)	5,364	3,545	3	3,380	,4544	2,597	4,399

3.2.9.4 Aorta Ascendens-Ersatz

Deskriptive Statistik

Der Ersatz der Aorta Ascendens wurde 47 Mal durchgeführt und erforderte bei 60% der Eingriffe den Einsatz von EKs. Grundsätzlich waren mehr Männer von der Operation betroffen, wobei der Anteil der Frauen an allen transfundierten Personen mit 43% relativ hoch war. Patienten, die eine Bluttransfusion erhielten waren im Schnitt 60 Jahre alt und damit etwas jünger als die Patientengruppe, der keine EKs verabreicht wurden. Lebensbedrohlich Erkrankte (ASA 4) machten mit 60% den Großteil des Patientenkollektivs aus. 10% der Eingriffe galten als Notfälle, alle übrigen Eingriffe waren geplant.

Tabelle 172: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Aorta Ascendens- Ersatz	EK>=0	47	32	68,1	15	31,9	61,238	15,277
	EK=0	19	16	84,2	3	15,8	62,632	12,659
	EK>=1	28	16	57,1	12	42,9	60,292	16,985

Tabelle 173: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			Aorta Ascendens- Ersatz	EK>=0	47	13,621
EK=0	19	14,571		1,377	2,107	,206
EK>=1	28	13,000		1,529	1,886	,263

Tabelle 174: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA									Dringlichkeit						
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Aorta Ascendens- Ersatz	gesamt	47			15	31,9	28	59,6	4	8,5	42	89,4			5	10,6		
	EK=0	19			7	36,8	12	63,2			18	94,7			1	5,3		
	EK>=1	28			8	28,6	16	57,1	4	14,3	24	85,7			4	14,3		

Poisson-Regression

Auf der Suche nach dem besten Modell zeigten sich mehrere Abhängigkeiten zwischen den Prädiktoren. So hing die Höhe des Ausgangs-Hb-Werts von der ASA-Risikoklassifikation ab, während die Körperoberfläche mit dem Alter korrelierte. Daher wurden univariate Analysen vorgenommen, um für jede einzelne Variable einen potentiellen Zusammenhang mit dem Transfusionsbedarf zu identifizieren. Bei diesem Vorgehen zeigte sich lediglich für den Hb-Wert ein signifikanter Effekt. Ein fallender Hb-Wert führt dabei zu einer Steigerung der erwarteten EK-Anzahl um den Faktor 0,775.

Tabelle 175: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	3,708	,7469	24,638	1	,000	40,753	9,427	176,178
HbWertNarko	-,256	,0574	19,814	1	,000	,775	,692	,867

Hieraus ergibt sich folgender Algorithmus:

$$\lambda = \exp(3,708 - 0,256 * \text{HbWert})$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Der mittlere EK-Verbrauch stellte sich weitaus geringer dar als präoperativ angenommen.

Tabelle 176: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Aorta ascendens- Ersatz	Anforderung	47	0,0	10,0	3,957	3,210
	Verbrauch	47	0,0	10,0	1,511	1,988

Das gerundet zwischen 1 und 2 EK liegende Konfidenzintervall enthält weder die im Transfusionskatalog geforderte Menge noch die durchschnittlich angeforderte EK-Anzahl. Es ist daher von einem statistisch eindeutigen Unterschied auszugehen, so dass die präoperative Bestellmenge auf eine innerhalb des Konfidenzintervalls liegende Anzahl ausgerichtet werden sollte.

Tabelle 177: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW	MW	MW	Poisson-Regression			
	Anforderung	Verbrauch	Katalog	MW	SE	95% CI	
						unterer	oberer
Aorta ascendens-Ersatz	3,957	1,511	3	1,255	,2064	,909	1,732

3.2.9.5 Aorta Ascendens-Bogenersatz

Deskriptive Statistik

Der Aorta-Ascendens-Bogenersatz ist ein Eingriff, der 44 Mal durchgeführt wurde. Die Transfusionswahrscheinlichkeit war mit 70% beachtlich. Insgesamt betraf die Operation hauptsächlich Männer, der Anteil der Frauen an den transfundierten Patienten stieg jedoch von 15% auf 26%. Das Durchschnittsalter lag unabhängig vom Transfusionsbedarf zwischen 65 und 66 Jahren. Aufgrund einer lebensbedrohlichen Erkrankung wies 73% des Patientenkollektivs ein hohes perioperatives Risiko auf (ASA 4). Neben den geplanten Eingriffen war der Anteil an ungeplanten und notfallmäßigen Eingriffe mit jeweils 9% relativ hoch.

Tabelle 178: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Aorta Ascendens-Bogen-Ersatz	EK>=0	44	34	77,3	10	22,7	65,50	10,556
	EK=0	13	11	84,6	2	15,4	65,77	10,561
	EK>=1	31	23	74,2	8	25,8	65,39	10,726

Tabelle 179: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			Aorta Ascendens-Bogen-Ersatz	EK>=0	44	13,738
	EK=0	13	14,764	1,438	1,994	,181
	EK>=1	31	13,304	1,495	1,965	,204

Tabelle 180: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA									Dringlichkeit						
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Aorta Ascendens-Bogen-Ersatz	gesamt	44	11	25,0	32	72,7	1	2,3	36	81,8	4	9,1	4	9,1	1	2,3	3	6,8
	EK=0	13	5	38,5	8	61,5			11	84,6	1	7,7	1	7,7				
	EK>=1	31	6	19,4	24	77,4	1	3,2	25	80,6	3	9,7	3	9,7				

Poisson-Regression

Nachdem sämtliche sechs unabhängigen Variablen in die Regressionsanalyse integriert wurden, zeigten letztendlich die ASA-Risikoklassifikation und der Ausgangs-Hb-Wert einen statistisch relevanten Einfluss auf den Transfusionsbedarf

Tabelle 181: Tests der Modelleffekte

	Wald	df	Sig.
Konstante	22,114	1	,000
ASA	31,626	2	,000
HbWertNarko	12,849	1	,000

Aufgrund des negativen Vorzeichens des Schätzwerts des Parameters B steigt die Anzahl der benötigten EK mit sinkendem Hb-Wert. Jede Hb-Einheit lässt den Transfusionsbedarf um den Faktor 0,734 steigen. Der Einfluss von ASA ist ebenfalls statistisch eindeutig belegt ($p < 0,0001$), paarweise Vergleich mit adjustierten p-Werten lieferten jedoch nicht für jede ASA-Kombination signifikante Unterschiede. Die Parameterschätzungen der Poisson-Regression lassen grundsätzlich darauf schließen, dass Patienten mit einer schweren (ASA 3) oder lebensbedrohlichen (ASA 4) Grunderkrankung weniger EK benötigen als Personen der ASA-Gruppe 5.

Tabelle 182: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	5,934	1,1556	26,368	1	,000	377,709	39,219	3637,659
ASA 3	-,763	,2496	9,345	1	,002	,466	,286	,760
ASA 4	-,855	,1760	23,617	1	,000	,425	,301	,600
ASA 5	0					1		
HbWertNarko	-,309	,0862	12,849	1	,000	,734	,620	,869

Der erwartete Transfusionsbedarf kann auf dieser Basis folgendermaßen geschätzt werden

$$\lambda = \exp \left(5,934 - 0,309 * \text{HbWert} - \begin{cases} 0,763 \text{ (ASA 3)} \\ 0,855 \text{ (ASA 4)} \\ 0 \text{ (ASA 5)} \end{cases} \right)$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Trotz des beträchtlichen Transfusionsbedarfs blieb der durchschnittlich EK-Verbrauch im Rahmen des Aorta Ascendens-Bogenersatzes hinter den Erwartungen zurück.

Tabelle 183: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Aorta ascendens-	Anforderung	44	0,0	10,0	4,909	2,979
Bogenersatz	Verbrauch	44	0,0	12,0	2,795	2,890

Die im Transfusionskatalog angegebene Konservenanzahl ist Teil des Konfidenzintervalls und dient somit als guter Schätzer für den Transfusionsbedarf.

Dagegen unterscheidet sich die im vorliegenden Patientenkollektiv beobachtete mittlere Bestellmenge statistisch eindeutig von dem auf Basis der Regressionsanalyse ermittelten Richtwert und sollte entsprechend überdacht werden.

Tabelle 184: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				95% CI			
				MW	SE	unterer	oberer
Aorta ascendens- Bogenersatz	4,909	2,795	3	3,151	,3515	2,532	3,921

3.2.9.6 Herztransplantation

Deskriptive Statistik

Die im Beobachtungszeitraum durchgeführten 51 Herztransplantationen waren in 71% der Fälle mit dem Einsatz von Blutkonserven verbunden. Die transfundierten Patienten waren mit durchschnittlich 48 Jahren deutlich jünger als Patienten ohne Transfusionsbedarf und wiesen sowohl eine geringere Körperoberfläche als auch einen niedrigeren Ausgangs-Hb-Wert auf. Das Patientenkollektiv war überwiegend männlich und wies ein hohes Operationsrisiko auf (ASA 4). Alle Dringlichkeitsstufen waren vertreten, wobei das Verhältnis von geplanten und ungeplanten Eingriffen relativ ausgewogen war und neun Mal die Indikation zur Notfalloperation bestand.

Tabelle 185: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Herz-Tx	EK \geq 0	51	36	70,6	15	29,4	49,984	19,692
	EK=0	15	12	80,0	3	20,0	55,667	15,347
	EK \geq 1	36	24	66,7	12	33,3	47,616	20,979

Tabelle 186: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			Herz-Tx	EK>=0	51	11,185
	EK=0	15	11,857	2,542	1,945	,228
	EK>=1	36	10,891	2,091	1,750	,534

Tabelle 187: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA						Dringlichkeit									
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Herz-Tx	gesamt	51	1	2,0	3	5,9	44	86,3	3	5,9	19	37,3	23	45,1	9	17,6		
	EK=0	15	1	6,7	2	13,3	12	80,0			6	40,0	6	40,0	3	20		
	EK>=1	36			1	2,8	32	88,9	3	8,3	13	36,1	17	47,2	6	16,7		

Poisson-Regression

Eine statistisch eindeutige Korrelation mit dem Transfusionsbedarf besteht im vorliegenden Datensatz lediglich für die Variable Ausgangs-Hb-Wert, der invers mit der erwarteten EK-Anzahl korreliert. Dieser Zusammenhang konnte mittels Rückwärts-Selektion festgestellt werden.

Tabelle 188: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	3,274	,5853	31,293	1	,000	26,416	8,389	83,185
HbWertNarko	-,202	,0585	11,855	1	,001	,817	,729	,917

Der Algorithmus zur Einschätzung des erwarteten Transfusionsbedarfs lautet entsprechend:

$$\lambda = \exp(3,274 - 0,202 * \text{HbWert})$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Der Bedarf an Blutkonserven bei Herztransplantationen ist zwar erheblich, lässt sich aber relativ gut eingrenzen. So unterschieden sich in der vorliegenden Stichprobe Anforderung und Verbrauch von EKs nur geringfügig voneinander.

Tabelle 189: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Herz-Tx	Anforderung	51	0,0	12,0	3,765	3,439
	Verbrauch	51	0,0	20,0	3,059	4,207

Das algorithmisch ermittelte Konfidenzintervall lässt sich gerundet auf 2 bis 4 EKs beziffern. Der im Transfusionskatalog empfohlene Richtwert ist ebenso wie die mittlere angeforderte EK-Anzahl im Konfidenzintervall enthalten und als Schätzwert für den erwarteten EK-Einsatz somit gut geeignet.

Tabelle 190: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW	MW	MW	Poisson-Regression			
	Anforderung	Verbrauch	Katalog	MW	SE	95% CI	
				unterer	oberer		
Herz-Tx	3,765	3,059	3	2,771	,6089	1,802	4,263

3.2.10 Kardiologische Eingriffe

Während der Transfusionskatalog der ATMZH kinder-kardiologische Eingriffe gesondert auflistet, unterscheidet das DIMDI bei der Prozedurenverschlüsselung nicht zwischen Operationen am Kind und am Erwachsenen. Die nachfolgenden statistischen Untersuchungen schließen somit das gesamte Patientenkollektiv ein. Interventionelle Herzkatheteruntersuchungen erforderten in mehr als 5 % der Fälle den Einsatz von Blutreserven und sind daher Gegenstand der nachfolgenden Ausführungen. Diagnostische Herzkatheteruntersuchungen waren nur selten mit einer Transfusion verbunden und wurden daher nicht in die Regressionsanalyse einbezogen.

3.2.10.1 Herzkatheter interventionell (ASD-/PDA-Verschluss)

Deskriptive Statistik

Der Verschluss von Vorhofseptumdefekten (ASD) und Persistierenden Ductus arteriosi (PDA) erfolgte im betrachteten Jahr 29 Mal. Da 55% der Eingriffe an Kindern und Jugendlichen bis 18 Jahre vorgenommen wurden, lag das Durchschnittsalter relativ niedrig bei insgesamt 25 Jahren, wobei vor allem Kinder Blutprodukte benötigten. Das Durchschnittsalter der transfundierten Patienten und die mittlere Körperoberfläche sind daher relativ gering. Die Patienten wurden aufgrund ihrer schweren oder lebensbedrohlichen Erkrankung vorwiegend in die ASA-Klassen 3 und 4 eingestuft. Mit einer Ausnahme handelte es sich durchweg um geplante Operationen.

Tabelle 191: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Herzkatheter	EK \geq 0	29	12	41,4	17	58,6	25,234	24,865
interventionell	EK=0	20	8	40,0	12	60,0	33,292	23,448
(ASD/PDA-Verschluss)	EK \geq 1	9	4	44,4	5	55,6	7,327	18,303

Tabelle 192: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			Herzkatheter	EK \geq 0	29	13,156
interventionell	EK=0	20	13,950	1,420	1,597	,499
(ASD/PDA-Verschluss)	EK \geq 1	9	11,744	1,229	0,579	,560

Tabelle 193: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA					Dringlichkeit										
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Herzkatheter	gesamt	29	6	20,7	13	44,8	10	34,5	28	96,6	1	3,4						
interventionell	EK=0	20	6	30,0	10	50,0	4	20,0	20	100,0								
(ASD/PDA-Verschluss)	EK \geq 1	9			3	33,3	6	66,7	8	88,9	1	11,1						

Poisson-Regression

Auf der Suche nach dem optimalen Regressionsmodell mussten aufgrund der Gegebenheiten im vorliegenden Datensatz zwei Anpassungen vorgenommen werden. Zum einen floss die Variable Dringlichkeit nicht in die Analyse ein, da abgesehen von einem Eingriff alle Operationen geplant waren und somit keine Variationsbreite vorhanden war. Zum anderen erhielten Patienten der ASA-Klasse 2 keine EKs, so dass diese Kategorie keine Berücksichtigung fand. Im weiteren Verlauf zeigten die anderen Ausprägungen der Variable ASA jedoch keine signifikanten Werte. Auch die p-Werte für die übrigen Variablen lagen weit über dem Signifikanzniveau von 0,05. Diese Beobachtungen gelten lediglich für das vorliegende Patientenkollektiv. Eine allgemeine Aussage zu den Einflussfaktoren auf den Transfusionsbedarf bei interventionellen Herzkatheteruntersuchungen zum ASD- bzw. PDA-Verschluss lässt sich hieraus nicht schlussfolgern.

Tabelle 194: Tests der Modelleffekte

	Wald	df	Sig.
Konstante	,014	1	,905
Geschlecht	,534	1	,465
ASA	,682	1	,409
AlterJahre	,094	1	,759
KÖFm²	1,768	1	,184
HbWertNarko	,120	1	,729

Anforderung und Verbrauch von EKs

Die präoperative Bestellmenge überstieg den durchschnittlichen EK-Verbrauch etwa um das Fünffache.

Tabelle 195: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Herzkatheter interventionell	Anforderung	29	0,0	6,0	2,621	1,935
(ASD/PDA-Verschluss)	Verbrauch	29	0,0	4,0	,448	,870

Da im vorliegenden Fall kein statistisch eindeutiger Zusammenhang der ins Modell einfließenden Variablen mit dem erwarteten EK-Bedarf nachgewiesen werden konnte, sollte wie bisher der Transfusionskatalog als Entscheidungsgrundlage für die Bestellpraxis dienen.

3.2.10.2 Herzkatheter interventionell (alle übrigen)

Deskriptive Statistik

Zu den übrigen interventionellen Eingriffen mittels Herzkatheter gehören beispielsweise die Versorgung anderer Septumdefekte oder perkutan-transluminale Eingriffe bei ischämischer Herzkrankheit. Der Datensatz enthält Informationen zu 64 Interventionen, die in 18% der Fälle eine Transfusion erforderten. Insgesamt waren 39% der Patienten Kinder und Jugendliche unter 18 Jahre. Mit 66% waren Kinder unter 10 Jahren die Hauptempfänger von Blutprodukten, was auch das niedrige Durchschnittsalter und die geringe Körperoberfläche der transfundierten Patienten erklärt. Der Großteil der Patienten litt an einer schweren oder lebensbedrohlichen Erkrankung, wobei sich das Risikoprofil der transfundierten Personen deutlich in Richtung ASA 4 verschob. Mit einem Anteil von beinahe 10% waren Notfalleingriffe relativ häufig vertreten.

Tabelle 196: Soziodemographie

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MV	SD
			n	%	n	%		
Herzkatheter	EK>=0	64	37	57,8	27	42,2	41,652	31,600
interventionell	EK=0	52	32	61,5	20	38,5	45,902	30,090
(alle übrigen)	EK>=1	12	5	41,7	7	58,3	23,236	32,651

Tabelle 197: Hb und KÖF

Operation	EK	n	Hb (g/dl)		KÖF (m ²)	
			MV	SD	MV	SD
			Herzkatheter	EK>=0	64	12,198
interventionell	EK=0	52	12,345	2,108	1,626	,488
(alle übrigen)	EK>=1	12	11,550	2,304	0,892	,751

Tabelle 198: ASA und Dringlichkeit

Operation	EK	n	ASA										Dringlichkeit					
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Herzkatheter	EK>=0	64	1	1,6	11	17,2	21	32,8	27	42,2	3	4,7	46	71,9	12	18,8	6	9,4
interventionell	EK=0	52	1	1,9	11	21,2	19	36,5	17	32,7	3	5,77	38	73,1	10	19,2	4	7,69
(alle übrigen)	EK>=1	12				2	16,7	10	83,3			8	66,7	2	16,7	2	16,7	

Poisson-Regression

Im Rahmen der Poisson-Regression konnte ein statistisch abgesicherter Zusammenhang der EK-Anzahl mit der Körperoberfläche und der ASA-Risikoklassifikation festgestellt werden, wobei lediglich die ASA-Gruppen 3 und 4 in die Statistik einfließen. Gesunde Patienten und leicht Erkrankte wurden nicht transfundiert und daher aus der Analyse ausgeschlossen. Die Körperoberfläche korreliert invers mit dem Transfusionsbedarf insofern, als eine um eine Einheit niedrigere Körperoberfläche den erwarteten EK-Bedarf um den Faktor 0,401 erhöht. Der Einfluss der ASA-Klassifizierung ist statistisch eindeutig. Patienten mit einer stark einschränkenden Erkrankung benötigen weniger Blutkonserven als lebensbedrohlich Erkrankte, wobei der paarweise Vergleich signifikante Unterschiede zwischen beiden Gruppen aufzeigt.

Tabelle 199: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% Wald-CI für Exp(B)	
							Unterer	Oberer
Konstante	,510	,4432	1,326	1	,250	1,666	,699	3,971
ASA 3	-1,519	,7639	3,953	1	,047	,219	,049	,979
ASA 4	0					1		
KÖFm ²	-,915	,3418	7,163	1	,007	,401	,205	,783

Unter Berücksichtigung der genannten Kriterien berechnet sich die erwartete EK-Anzahl wie folgt:

$$\lambda = \exp\left(0,510 - 0,915 * \text{KÖF} - \begin{cases} 1,519 \text{ (ASA3)} \\ 0 \text{ (ASA4)} \end{cases}\right)$$

Anforderung und Verbrauch von EKs

Das Ausmaß des Transfusionsbedarfs für alle übrigen interventionellen Herzkatheteruntersuchungen war im beobachteten Zeitraum gering und bewegte sich unter 1 EK.

Tabelle 200: Anforderung und Verbrauch von EKs

Operation	EK	N	min	max	MW	SD
Herzkatheter interventionell (übrige)	Anforderung	64	0,0	10,0	,781	1,847
	Verbrauch	64	0,0	2,0	,250	,563

Das zwischen 0,089 und 0,452 EKs liegende Konfidenzintervall lässt am ehestem auf einen Konservenbedarf von 0 EKs schließen. Dies entspricht auch der im Transfusionskatalog empfohlenen EK-Anzahl, die aufgrund der engen Grenzen des Konfidenzintervalls als guter Richtwert fungiert.

Die durchschnittlich angeforderte Menge bewegt sich, wenn auch nur knapp, außerhalb des algorithmisch berechneten Bereichs, so dass ein statistisch geringfügiger Unterschied besteht, der in der Bestellpraxis Berücksichtigung finden sollte.

Tabelle 201: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression

Operation	MW	MW	MW	Poisson-Regression			
	Anforderung	Verbrauch	Katalog	MW	SE	95% CI	
						unterer	oberer
Herzkatheter interventionell (übrige)	,781	,250	0	,200	,0832	,089	,452

3.2.11 Gynäkologische Eingriffe

Der Transfusionskatalog der Klinik und Poliklinik für Frauenheilkunde und Geburtshilfe beinhaltet Empfehlungen zu operativen Eingriffen wie der Explorativen Laparatomie zur Versorgung von Erkrankungen des Ovar sowie des Uterus und der Cervix, der Konisation, Hysteroskopie, der fraktionellen Abrasio, axillären Sentinel-Operation und Follikelpunktionen. Daneben informiert der Katalog über die empfohlene EK-Anzahl bei Geburten sowie der Sectio bei Vorliegen einer Placenta praevia.

Die im Betrachtungszeitraum ausgewiesenen 563 explorativen Laparatomien gingen zwar in etwa 20% der Fälle mit einer Transfusion einher. Die Eingriffe wurden jedoch nicht getrennt nach gynäkologischen, viszeralchirurgischen oder sonstigen Prozeduren kodiert, so dass aufgrund des zu gewärtigenden Informationsverlustes keine weitere statistische Analyse angestellt wurde. Allen anderen genannten gynäkologischen Operationen wiesen im beobachteten Zeitraum einen Transfusionsbedarf von unter 5% auf.

3.2.12 Mund-, kiefer- und gesichtschirurgische Eingriffe

Tumorresektionen mit Neck dissection und panfasziale Traumen standen in weniger als 5% der Fälle mit einer Transfusion in Verbindung und wurden daher ebenso wenig wie die im Transfusionskatalog aufgeführte Bimaxilläre Osteotomie, die nicht kodiert werden konnte, in der Analyse berücksichtigt.

3.2.13 Eingriffe im Hals-, Nasen- und Ohrenbereich

Der Transfusionsbedarf bei größeren Tumoroperationen (z.B. mikrovaskulärer anastomosierter Lappen, gestielter Lappen), Laryngektomien und Paraganglien erreichte nicht die postulierten 5%. Die genannten Eingriffe fanden daher keinen Eingang in die Regressionsanalyse.

4. Diskussion

4.1 Die wichtigsten Ergebnisse der Arbeit im Überblick

Im Fokus der vorliegenden Arbeit standen die Analyse der intraoperativen Transfusionsprozesse am Klinikum der Universität München und die Entwicklung von Rechenmodellen für verschiedene operative Eingriffe, mittels derer sich der erwartete Transfusionsbedarf anhand patientenbezogener Parameter einschätzen lässt. Zielsetzung war dabei, die präoperative Bestellpraxis von Erythrozytenkonzentraten durch bedarfsgerechte Ausrichtung zu optimieren.

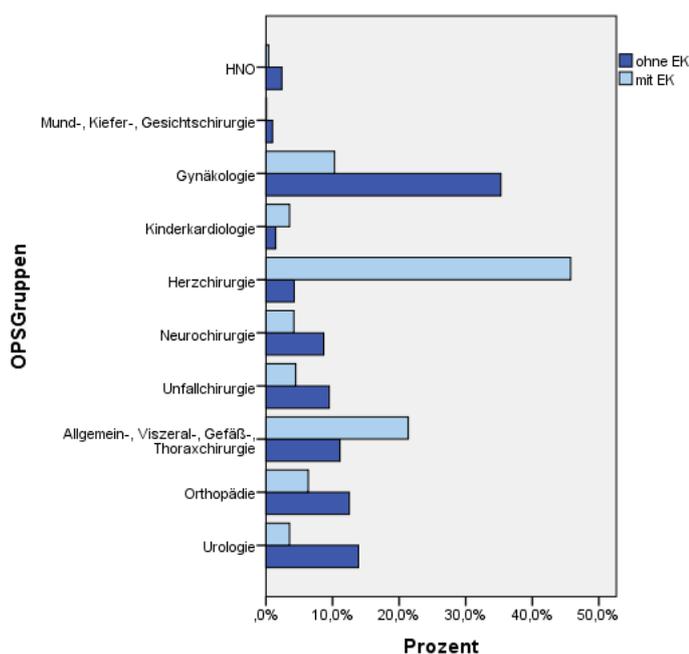
Für diesen Zweck wurden Daten aus den Anästhesieprotokollen und dem Krankenhausinformationssystem des Klinikums der Universität München extrahiert und analysiert. Es handelt sich um eine retrospektive Betrachtung des Zeitraums vom 20.08.2013 bis zum

20.08.2014, in welchem an den Standorten Innenstadt und Großhadern des Klinikums der Universität München insgesamt 37.188 Operationen durchgeführt wurden. Das mittlere Alter im Gesamtkollektiv lag bei 48 (Spannweite 0 bis 102) Jahren. 52,1% waren Frauen (Durchschnittsalter 46 Jahre), 47,9% Männer (Durchschnittsalter 50 Jahre). Die Transfusionsrate lag insgesamt bei 6,3%.

Jeder Operation wurde eine von 86 verschiedenen Eingriffskategorien aus 10 verschiedenen klinischen Bereichen zugeordnet, die durch einen mindestens vierstelligen OPS-Code eindeutig klassifiziert und zudem im Transfusionskatalog der operativen Fächer des Klinikums der LMU aufgeführt sein mussten. Bei 20.927 Fällen war keine eindeutige Zuordnung anhand der vorgenannten Kriterien möglich, so dass diese nicht in die Analyse integriert wurden. Es verblieben 16.261 Fälle. Davon standen 1.525 Fälle mit einer Bluttransfusion in Verbindung, die Transfusionsrate betrug 9,4%. Insgesamt wurden 4.415 EK-Einheiten verabreicht. Der Median lag bei 2 EK-Einheiten (Spannweite 1 bis 53).

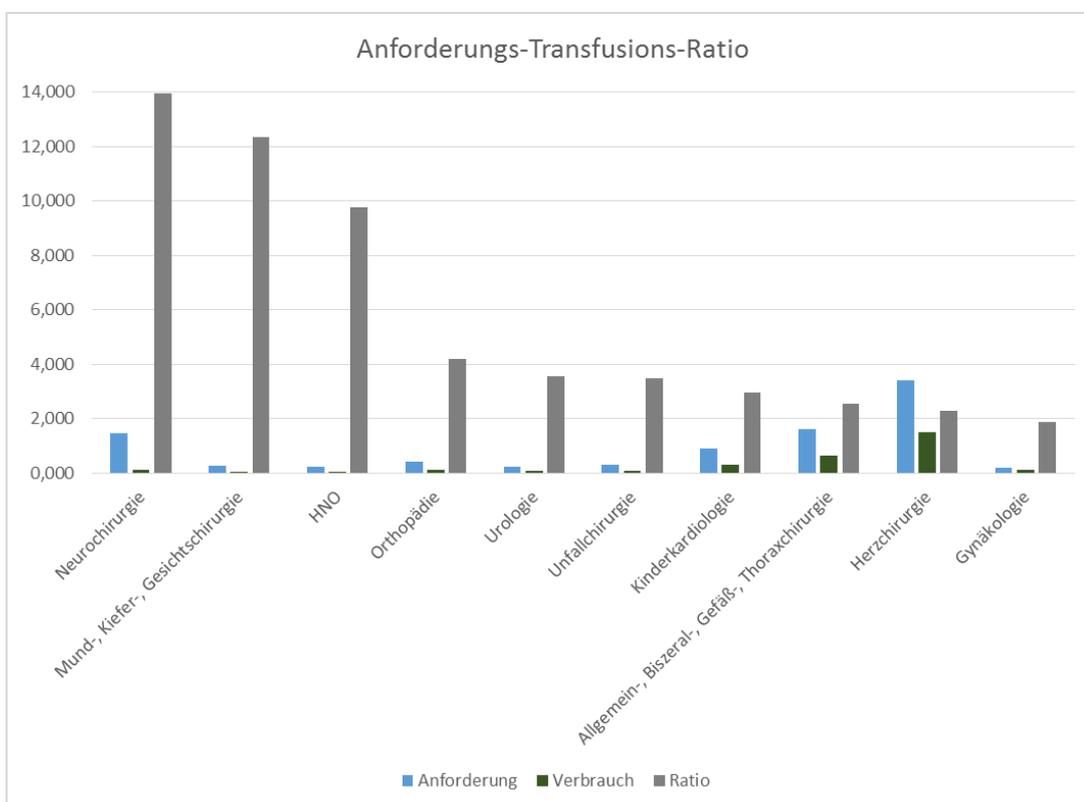
Abbildung 11 gibt einen Überblick über den gesamten EK-Verbrauch, getrennt nach den einzelnen Disziplinen. Dargestellt wird das Verhältnis der „transfundierten“ bzw. „nicht-transfundierten“ Fälle eines klinischen Bereichs zur Gesamtzahl der „transfundierten“ bzw. „nicht-transfundierten“ Fälle des Klinikums. Die Daten lassen erkennen, dass der Transfusionsbedarf in der Herzchirurgie sowie der Allgemein-, Viszeral-, Gefäß- und Thoraxchirurgie besonders stark ausgeprägt war, ein Ergebnis, welches auch COBAIN et al. (2007) und GEISLER et al. (2012) in ihren Studien bestätigen konnten.

Abbildung 11: Blutbedarf nach Disziplinen



Ein Hauptaugenmerk der vorliegenden Arbeit lag auf der Analyse der Anzahl von EKs, die präoperativ bestellt wurden, und der Anzahl von EKs, die perioperativ verbraucht wurden. Der Vergleich des Anforderungs-Transfusions-Verhältnisses zwischen den 10 chirurgischen Disziplinen deutet darauf hin, dass die Fächergruppen mit der höchsten Ratio diejenigen mit der größten Bestellmenge an letztendlich unbenötigten EKs waren. Dieser Zusammenhang ließ sich insbesondere für die Neurochirurgie, die Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie sowie für die Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde feststellen. Diese zeigten eine Anforderungs-Transfusions-Ratio von 8:1 oder höher, ein Ergebnis, welches auch FRANK et al. (2013) in ihrer Studie bestätigen konnten.

Abbildung 12: Anforderungs-Transfusions-Verhältnis



Gestützt auf die Informationen aus den Anästhesieprotokollen wurden unter Anwendung einer Poisson-Regression Algorithmen auf Basis verschiedener patientenspezifischer Parameter entwickelt, deren Einfluss auf den Transfusionsbedarf in früheren Publikationen bereits bestätigt wurde. Auf Basis der vorliegenden Patientendaten und der Ergebnisse der Regressionsanalyse wurden sodann für jeden operativen Eingriff, der den zuvor festgelegten Einschlusskriterien entsprach, die mittlere erwartete EK-Anzahl und das dazu-

gehörige Konfidenzintervall ermittelt. Letzteres diente dazu, potentielle statistische Unterschiede zwischen der bisherigen Transfusionspraxis und den errechneten Erwartungswerten aufzudecken.

Mittels der Ergebnisse aus der Regressionsanalyse konnten einige chirurgische Prozeduren mit derart geringen Transfusionsraten identifiziert werden, dass präoperative EK-Anforderungen als unnötig angesehen werden können.

Tabelle 202: Eingriffe ohne Transfusionsbedarf gemäß Poisson-Regression

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				MW	SE	95% CI unterer oberer	
Tumornephrektomie/ Nephroureterektomie	1,007	,311	0	,136	,0263	,093	,198
Hemikolektomie/Hartmann-Wiederanschluß	,737	,197	0	,078	,0278	,038	,157
Thorakoskopie	,652	,275	2	,044	,0341	,010	,201
Thrombektomie (geplante Eingriffe)	,907	,321	2	,161	,0743	,066	,398
Thrombektomie (ungeplante Eingriffe)	,907	,321	2	,042	,0393	,007	,264
Bandscheibenvorfall	1,771	,171	0	,059	,0365	,018	,198
Fem-pop/Fem-crur/Fem-fem Cross Over Bypass	1,520	,280	2	,075	,0501	,020	,277
Kraniotomie	1,981	,129	0	,092	,0367	,042	,201
Herzkatheter interventionell (übrige)	,781	,250	0	,200	,0832	,089	,452

Weitere Eingriffe, die im Betrachtungszeitraum keinen EK-Einsatz erforderten, konnten durch eine rein deskriptive Analyse der Datenlage ausfindig gemacht werden und finden sich in der Tabelle 203 aufgelistet. Ein Verzicht auf die präoperative EK-Bestellung in diesen Fällen ermöglicht eine Kostenreduktion beträchtlichen Ausmaßes. Eine Auseinandersetzung mit den finanziellen Aspekten erfolgt in Kapitel 4.8.

Tabelle 203: Eingriffe ohne Transfusionsbedarf gemäß deskriptiver Statistik

Eingriff	Anforderung	Verbrauch
Radikale Prostatektomie (offen/Da Vinci)	,477	,000
Nierenbeckenplastik Da Vinci	,059	,000
TUR-P	,008	,000
URS	,000	,000
Sachse Inkontinenz-OP's (Advance, Botox etc.)	,000	,000
Harnröhrenrekonstruktion	,000	,000
Phimose, Nesbit-OP's etc.	,000	,000
Schulter-ASK	,049	,000
Periphere Handeingriffe	,000	,000
WS-Nucleotomie	1,515	,000
Lap/offene Leistenhernie	,000	,000
Lap Sleeve Gastrektomie	1,214	,000
Lap Adrenalektomie	,667	,000
Shuntanlagen	,118	,000
Femoralis TEA/Profundoplastik	,800	,000
VP-Shunt	1,293	,000
Stereotaktische Eingriffe	,195	,000
Panfaziales Trauma	,000	,000
Larynektomie	,126	,000

Bei weiteren Operationen lag der Mittelwert der im Betrachtungszeitraum angeforderten EK-Anzahl außerhalb des im Rahmen der Poisson-Regression berechneten Konfidenzintervalls, so dass von einem statistisch eindeutigen Unterschied zwischen der im vorliegenden Datensatz beobachteten und der algorithmisch berechneten Anzahl an benötigten EKs ausgegangen werden muss. In diesen Fällen sollte eine Anpassung der Richtwerte für die präoperative EK-Bestellung an die Ergebnisse der Poisson-Regression erfolgen.

Tabelle 204: Eingriffe mit signifikant unterschiedlichem Transfusionsbedarf

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				MW	SE	95% CI	
						unterer	oberer
Radikale Zystektomie	1,224	,612	0	,483	,0892	,336	,694
Hüft-TEP Wechsel	1,379	,908	0	,345	,1051	,190	,627
Leberresektion	1,752	,724	2	,640	,1654	,386	1,062
Lobektomie/ Bilobektomie/Pneumonektomie	1,486	,297	3	,377	,1717	,154	,920
Lungen-Tx	10,000	4,482	10	3,655	,4347	2,895	4,614
Offene Eingriffe abdominelle Aorta	3,647	2,250	6	1,652	,2358	1,249	2,186
BAA-Y-Stentgraft/ TAA-Stentgraft	2,623	,766	2	,617	,1747	,354	1,074
TAAA offen	6,435	2,696	10	1,654	,2908	1,172	2,335
ACB nicht voroperiert/Re-OP	3,118	1,052	3	1,521	,2535	1,097	2,109
AKE/MKE (nicht voroperiert)	3,462	1,602	3	1,254	,2149	,896	1,754
AKE/MKE (Re-OP)	5,364	3,545	3	3,380	,4544	2,597	4,399
Aorta ascendens-Ersatz	3,957	1,511	3	1,255	,2064	,909	1,732
Aorta ascendens Bogen-Ersatz	4,909	2,795	3	3,702	,6785	2,585	5,302

Bei der dritten Kategorie handelte es sich um Eingriffe, deren mittlere angeforderte EK-Anzahl innerhalb des Konfidenzintervalls lag. Bei einem relativ eng umgrenzten Konfidenzintervall enthält dieses mit 95 %-iger Wahrscheinlichkeit die wahre unbekannte Anzahl an EKs, so dass der im Datensatz beobachtete Mittelwert ein guter Schätzer ist. Eine Transfusionsentscheidung sollte sich in diesen Fällen an der bisherigen Praxis orientieren.

Tabelle 205: Eingriffe ohne signifikant unterschiedlichem Transfusionsbedarf

Operation	MW Anforderung	MW Verbrauch	MW Katalog	Poisson-Regression			
				MW	SE	95% CI	
						unterer	oberer
Hüft-TEP	,969	,284	0	,379	,0908	,237	,606
Knie-TEP Wechsel	,877	,274	0	,251	,0948	,120	,526
Leber-Tx	10,727	5,273	6	8,630	1,0900	6,738	11,054
Tiefe anteriore Rektumresektion	1,263	,342	0	,874	,3457	,402	1,898
Majoramputationen	,794	,810	2	,357	,1225	,182	,699
WS Stabilisierung	1,120	,600	0	,477	,2187	,194	1,171
Herz-Tx	3,765	3,059	3	2,771	,6089	1,802	4,263

4.2 Abschätzung des Transfusionsbedarfs – die Studienlage

Weltweit werden jährlich Millionen von Operationen durchgeführt. Eine nicht unerhebliche Anzahl von Eingriffen geht mit der Notwendigkeit einer Transfusion von Erythrozytenkonzentraten einher. Gemäß den aktuell geltenden „Richtlinien zur Gewinnung von Blut und Blutbestandteilen und zur Anwendung von Blutprodukten“ (2010) müssen vor allen invasiven und operativen Eingriffen, bei denen intra- und perioperativ eine Transfusion ernsthaft in Betracht kommt, ein gültiger Befund der Blutgruppenbestimmung und ein Ergebnis des Antikörpersuchtests des zuständigen Laboratoriums vorliegen. Die im Zusammenhang mit Lagerung, Transport und Anwendung von Blutprodukten und deren Übertragung stehenden Ressourcen sind enorm und umfassen die zur Verfügung zu stellenden Räumlichkeiten, Gerätschaften und Reagenzien sowie die mit der technischen und administrativen Abwicklung betrauten Mitarbeiter.

Die vorliegende Arbeit zeigte, dass in der Regel präoperativ deutlich mehr Blutprodukte angefordert als perioperativ letztendlich gebraucht wurden. Auch FRANK et al. (2013) kamen zu dem Ergebnis, dass sich eine beträchtliche Anzahl an präoperativen Blutbestellungen als unnötig herausstellte. Den Grund sahen die Autoren darin, dass manche Zuständige nicht mit dem Blutbedarf einer bestimmten Prozedur vertraut sind oder eine „better-safe-than-sorry“-Strategie verfolgen und aus einem Bedürfnis nach Sicherheit heraus übergebürlich viele Blutprodukte bestellen. Die damit verbundene finanzielle Belastung ist ebenso wie die damit im Zusammenhang stehende betriebs- und volkswirtschaftliche Dimension Gegenstand von Kapitel 4.7.

In der vorliegenden Arbeit wurde für verschiedene operative Prozeduren der Einfluss der unabhängigen Variablen Alter, Geschlecht, Körperoberfläche, Ausgangs-Hb, ASA-Klassifikation und Dringlichkeit einer Operation auf den Transfusionsbedarf untersucht. In der Literatur finden sich diverse Publikationen, die sich auf die Identifikation von präoperativen, meist patientenbezogenen Risikofaktoren konzentrieren, welche die Transfusionswahrscheinlichkeit einer bestimmten Operation signifikant beeinflussen. Die Bedeutung einer niedrigen präoperativen Hämoglobinkonzentration als maßgebliche Einflussgröße auf den Transfusionsbedarf wird von einer Vielzahl von Autoren unterstrichen. So untersuchten etwa AHMED et al. (2012) diesen Zusammenhang für Totale Kniegelenkplastiken, DILLON et al. (2005) und DESAI et al. (2014) für Hüftfrakturen sowie ABU-GHANEM et al. (2015) für Partielle Nephrektomien. Mehrere Studien beschäftigen sich

mit der Identifikation von prädiktiven Faktoren bei herzchirurgischen Eingriffen. Als Beispiele seien in diesem Zusammenhang die Untersuchungen von KARKOUTI et al. (2001), BILFINGER et al. (1989), COSGROVE et al. (1985) und MAGOVERN et al. (1996) genannt, die herausfanden, dass der Transfusionsbedarf u.a. maßgeblich vom Alter und Geschlecht abzuhängen scheint. Die ASA-Klassifikation wurde von THOMPSON et al. (2014) für die operative Versorgung von muskuloskelettalen Tumoren und von DESAI et al. (2014) für Hüftfrakturen als relevant angesehen. Den Einfluss der Körperoberfläche thematisierten BILFINGER et al. (1989), die diese Variable ursprünglich als prädiktiven Faktor berücksichtigt hatten, diese letztendlich jedoch aus dem Modell eliminierten. Dies begründeten die Autoren damit, dass sich die Körperoberfläche aus dem Gewicht und dem Geschlecht ableite, welche jeweils als signifikante Variablen in ihrem Modell bereits Berücksichtigung fanden. Auf die Bedeutung der Variable Dringlichkeit auf die Transfusionswahrscheinlichkeit weisen KARKOUTI et al. (2001) hin.

Um die Transfusionswahrscheinlichkeit auf Basis von verschiedenen präoperativen patientenbezogenen Faktoren zu ermitteln, bedienten sich die genannten Autoren einer logistischen Regressionsanalyse. Bei dieser Methode werden zunächst alle interessierenden unabhängigen Variablen einer univariaten Analyse unterzogen, um eine mögliche Assoziation mit dem Transfusionsrisiko zu eruieren. Signifikant mit der Zielvariablen korrelierende Faktoren werden hierauf in eine multivariate Analyse integriert. Mit Hilfe der Regressionsgleichung sollen dann die relativen Wahrscheinlichkeiten bestimmt werden, mit denen ein bestimmtes Ereignis in Abhängigkeit von einer oder mehreren unabhängigen Variablen eintritt. Das Outcome der genannten Studien ist also ein prognostisches Modell, welches die individuelle Transfusionswahrscheinlichkeit für jeden Patienten anhand verschiedener Parameter einzuschätzen vermag. Die logistische Regression dient beispielsweise bei DILLON et al. (2012) dazu, high-risk-Kandidaten zu identifizieren, deren perioperativer Blutbedarf durch geeignete präoperative Maßnahmen wie z.B. Eisen- oder EPO-Gaben reduziert werden soll. Eine ähnliche Intention verfolgen KARKOUTI et al. (2001): Bei Hochrisikopatienten können entsprechende Blutkonservierungsstrategien in die Wege geleitet werden (z.B. Preoperative Autologous Blood Donation (PABD)), während bei Personen mit einer geringen Transfusionswahrscheinlichkeit ein Verzicht auf kostenintensive präoperative Kreuzproben erwogen werden kann.

Eine andere Studie, welche lediglich die Transfusionswahrscheinlichkeit beurteilt, jedoch nicht auf einer Regressionsanalyse beruht, ist die von MCDONALD et al. (2005). Die

Autoren stellten die Hypothese auf, dass die Haupteinflussvariable für den Blutbedarf bei herzchirurgischen Operationen das Erythrozytenvolumen des Patienten sei. Sie definierten eine Gleichung, die sich aus dem Produkt aus Körperoberfläche und präoperativem Hb-Wert zusammensetzt, und bezeichneten dieses als „Transfusionsprädiktorprodukt“ (TTP, gHb/l/m^2). Das TTP schätzt das zirkulierende Erythrozytenvolumen ein und stellt einen Prädiktor für den Transfusionsbedarf dar. Patienten mit einem TTP, welches weniger als eine Standardabweichung unter dem Mittelwert lag, benötigten eine intraoperative Bluttransfusion, während nur ein geringer Teil der Patienten mit einem oberhalb diesen Wertes liegenden TTPs transfundiert wurde. Auch bei dieser Studie steht die Transfusionswahrscheinlichkeit im Fokus, nicht aber die Transfusionsmenge. Zudem konzentrierte sich die Untersuchung nur auf einen einzigen ausgewählten chirurgischen Bereich.

Sowohl PALMER et al. (2003) wie auch FRANK et al. (2013) lehnten sich an den von FRIEDMAN (1976) aufgestellten Transfusionskatalog (Maximal Surgical Blood Order Schedule, MSBOS) an. Dieser enthielt Empfehlungen über die Anzahl von Blutkonserven, die für bestimmte Prozeduren präoperativ gekreuzt werden sollten. PALMER et al. (2003) erweiterten den eingriffsbezogenen MSBOS um patientenbezogene Parameter und entwickelten einen Algorithmus, der die individuelle Transfusionswahrscheinlichkeit auf Basis des Blutvolumens, des im Rahmen eines spezifischen Eingriffs zu erwartenden Blutverlusts und des minimal tolerablen Hämatokrits berechnet. FRANK et al. (2013) entwickelten den MSBOS weiter und stellten einen auf operations- und einrichtungsspezifischen Gegebenheiten begründeten Algorithmus vor. Die Autoren nutzten hierfür die Daten aus den Anästhesieprotokollen und schätzten auf Basis vorher definierter Kriterien (mehr als 5% transfundierte Patienten, mittlerer erwarteter Blutverlust größer als 50ml, Transfusions-Index 0,3 oder mehr, Risiko für Massenblutung ja/nein) den erwarteten Blutbedarf für jede Operation ein.

Der im Rahmen der vorliegenden Arbeit präsentierte Algorithmus vereint und erweitert die in diesem Kapitel vorgestellten Methoden. Es wurde ein spezielles Regressionsmodell, die Poisson-Regression, angewandt, welches den Limitationen der logistischen Regression Rechnung trägt. Logistische Regressionen dienen dazu, die Transfusionswahrscheinlichkeit zu schätzen, nicht jedoch die Transfusionsmenge. Zudem ist aufgrund der niedrigen Prävalenz von Transfusionen die Fähigkeit des logistischen Regressionsmodells, die Transfusionswahrscheinlichkeit akkurat zu beziffern, begrenzt. Bei der Poisson-Regression handelt es sich hingegen um eine Methode, die vornehmlich auf die Analyse

seltener Ereignisse ausgerichtet ist und sich daher für Betrachtung von Transfusionen besonders gut eignet. Zudem definiert die abhängige Outcome-Variable eine Menge, nicht eine Wahrscheinlichkeit. Die Auswahl der operativen Eingriffe orientierte sich an den für das Klinikum der LMU München vorliegenden Transfusionskatalogen und folgte damit dem von FRANK et al. (2013) vorgebrachten Postulat, dass ein MSBOS idealerweise auf einrichtungsspezifische Daten ausgerichtet sein sollte. Anhand der Ergebnisse der Poisson-Regression wurden operationsbezogene Algorithmen formuliert, welche auf Basis von patientenspezifischen prädiktiven Faktoren die zu erwartende EK-Anzahl für das vorliegende Patientengut individuell und genau vorhersagen. Mittelfristiges Ziel ist die Integration der Algorithmen in ein Prämedikationsprogramm am Klinikum der LMU München, um so den Transfusionsbedarf unseres Patientenguts in Zukunft optimal abschätzen zu können.

4.3 Individualität des Algorithmus

Das in der vorliegenden Arbeit vorgestellte Konzept vereint sowohl eine patienten- als auch arztorientierte Sichtweise. Die Hintergründe werden nachfolgend dargestellt.

Der patientenorientierte Aspekt steht im Zusammenhang mit der zunehmend relevanter werdenden individualisierten Medizin. Deren Kern ist die Erfassung messbarer biologischer Kriterien mit dem Ziel, die Erkrankungswahrscheinlichkeit, den Verlauf und die Wirksamkeit von Therapien zu bestimmen, um für den Einzelnen maßgeschneiderte präventive, diagnostische und therapeutische Lösungen auf individueller Basis zu finden. Die aktuelle Relevanz der individualisierten Medizin spiegelt sich darin wieder, dass die Bundesregierung diese im Jahr 2010 zum einem von sechs prioritären Aktionsfeldern erklärt hat. Mit dem Aktionsplan „Individualisierte Medizin: Ein neuer Weg in Forschung und Gesundheitsversorgung“ fördert das BMBF entsprechende Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet und stellt im Zeitraum 2013 bis 2016 Gelder in einer Höhe von mehreren hundert Millionen Euro für diesen Zweck zur Verfügung in der Absicht, das Verständnis von individueller Krankheitsentwicklung und Therapie zu verbessern und geeignete Biomarker für den Einsatz in der klinischen Praxis bereitzustellen (BMBF, 2013). Blutprodukte gelten nach § 4 Abs. 2 des Arzneimittelgesetzes (AMG, https://www.gesetze-im-internet.de/amg_1976/BJNR024480976.html) als Arzneimittel. Der therapeutische patientenspezifische Einsatz von Blutprodukten kann somit als Teilaspekt der individualisier-

ten Medizin angesehen werden. Ein Beispiel für das Konzept der individualisierten Medizin aus dem Bereich der Transfusionsmedizin ist das Patient Blood Management (PBM), welches in der Literatur intensiv und umfangreich erörtert wird (BRUCE et al., 2013, GOMBOTZ, 2012; OLIVER et al., 2014, SHANDER, 2012;). Hierbei handelt es sich um einen patientenindividuellen Ansatz, welcher das Ziel verfolgt, das Outcome des einzelnen Patienten durch Anämiekorrektur, Minimierung des perioperativen Blutverlusts und Erhöhung der physiologischen Anämietoleranz zu verbessern. Der Grundgedanke ist dabei die Reduktion der Transfusionsrate, da Studien gezeigt haben, dass Bluttransfusionen mit einer erhöhten Morbidität und Mortalität assoziiert sind (MURPHY et al., 2007) und eine restriktive Transfusionsstrategie mindestens so effektiv ist wie eine liberale Vergabepaxis (HÉBERT et al., 1999). Im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit steht die individuelle Abschätzung des Transfusionsbedarfs eines einzelnen Patienten auf Basis verschiedener Biomarker wie zum Beispiel Alter, Geschlecht, Ausgangs-Hämoglobin und Körperoberfläche. Die für die einzelnen Operationen ermittelten Algorithmen erlauben eine individualisierte Therapie mit Erythrozytenkonzentraten, deren erwartete Menge auf die individuellen Eigenschaften des Patienten ausgerichtet ist. Das vorgestellte Konzept kann daher als Teilbereich der individualisierten Medizin angesehen werden. Im Gegensatz zum PBM stehen im Mittelpunkt jedoch nicht die präoperative Optimierung der Anämieparameter und die perioperative Verminderung des Blutungsrisikos mit dem Ziel der Vermeidung einer Transfusion als solche. Intendiert wird hingegen unter anderem eine Optimierung der Versorgungskette durch Anpassung des Bestellwesens an den individuellen Bedarf, die Reduktion des Infektionsrisikos durch Aufrechterhaltung der Kühlkette (Kapitel 4.6), die optimale Aufklärung des Patienten über das individuelle Transfusionsrisiko (Kapitel 4.5) und letztendlich die an individuellen Bedürfnisse des Patienten ausgerichtete Therapie mit EKs.

Eine arztorientierte Sichtweise des Transfusionswesens ist Gegenstand nur weniger Publikationen. So nutzten beispielsweise FRANK et al. (2012) Daten aus den Anästhesieprotokollen, um den intraoperativen Gebrauch von Blutkomponenten zu analysieren. Dabei betrachteten sie für jeden transfundierenden Operateur die zu einer Transfusion führende Hämoglobinkonzentration („trigger“) und die Hämoglobinkonzentration nach erfolgter Transfusion („target“). Die Datenanalyse zeigte, dass der Blutbedarf nicht nur zwischen den einzelnen operativen Prozeduren, sondern vor allem auch zwischen den einzelnen Chirurgen in signifikanter Weise variierte. CHEN et al. (2016) beschäftigten sich in ihrer

Studie mit der Frage, ob sich die Transfusionsrate in Abhängigkeit der Erfahrung eines Operateurs verändert. Sie evaluierten den Revaskularisationsindex und die Konversionsrate bei Anlage von off-pump-Koronarbypässen, die von einem einzelnen Operateur über einen Zeitraum von 12 Jahren durchgeführt wurden, und beobachteten, dass sich die Transfusionsrate mit zunehmender Praxiserfahrung drastisch reduzierte. In der vorliegenden Arbeit wird der ärztlichen Perspektive insofern Rechnung getragen, dass die im Rahmen der Poisson-Regression hergeleiteten Algorithmen intelligente Systeme darstellen, welche auf eine Dynamik der Rahmenbedingungen zu reagieren imstande sind. So wurde für jeden Eingriff nicht nur die mittlere erwartete EK-Anzahl berechnet, sondern auch das dazugehörige Konfidenzintervall, das vor allem bei schwer vorhersagbarem Transfusionsbedarf in seiner Bandbreite deutlich variierte. Das Konfidenzintervall kann als Sicherheitsbereich betrachtet werden, in welchen sich die erwartete Anzahl an Blutprodukten mit einer 95-prozentigen Wahrscheinlichkeit bewegt. Entsprechend könnte die Bestellung von EKs auch in Abhängigkeit der klinischen Expertise eines Operateurs erfolgen, wobei die untere Grenze des Konfidenzintervalls als Orientierungshilfe für routiniertere und die obere Grenze für weniger erfahrene Chirurgen dienen würde. Die Einbeziehung des Konfidenzintervalls lässt nämlich auch Raum für Anpassungen, je nach klinischem Kenntnisstand und patientenspezifischen Bedürfnissen, was die tatsächliche Individualität des vorliegenden Konzepts unterstreicht.

4.4 Modellcharakter des Algorithmus

Das Transfusionsgesetz (TFG) regelt die rechtlichen Rahmenbedingungen des Transfusionswesens. Gemäß §§ 12a und 18 TFG stellt die Bundesärztekammer den allgemein anerkannten Stand der Erkenntnisse der medizinischen Wissenschaft und Technik in Richtlinien fest. In diesen sind die einzelnen Handlungsschritte von der Auswahl des Spenders bis hin zur Überwachung des Empfängers festgelegt. Die Querschnitts-Leitlinien enthalten Empfehlungen zur Auswahl der Blutkomponenten und Plasmaderivaten, zu deren Indikationsstellung und therapeutischen Anwendung. Als Richtlinie gilt eine Handlungsvorschrift einer Institution, die jedoch kein förmliches Gesetz darstellt. Eine Leitlinie ist formal schwächer und beinhaltet Handlungsempfehlungen ohne bindenden Charakter. In der Literatur finden sich verschiedene Publikationen, die eine leitliniengerechte Transfusionspraxis thematisieren. Hierbei handelt es sich meist um Arbeiten, welche – ähnlich

der Querschnittsleitlinie der Bundesärztekammer – vor allem Hämoglobin-Schwellenwerte evaluieren. So stellen CARSON et al. (2012) die Empfehlungen der American Association of Blood Banks zu Hämoglobinschwellenwerten vor, die in der Regel eine Transfusion nach sich ziehen. Die Autoren weisen allerdings darauf hin, dass eine Transfusionsentscheidung nicht nur in Abhängigkeit des Hämoglobinwerts gefällt werden sollte, sondern weitere individuelle Faktoren zu berücksichtigen sind. Schwellenwerte müssen letztendlich im klinischen Kontext gesehen werden und können gemäß dem Ermessen des transfundierenden Arztes entsprechend revidiert werden. Auch GOODNOUGH et al. (2013) unterstreichen, dass die Aussagekraft eines einzelnen Laborwerts begrenzt ist.

Auf Basis der in der vorliegenden Arbeit vorgestellten Algorithmen soll am Klinikum der Universität München ein elektronisches Prämedikationsmodell implementiert werden, welches unter Heranziehung verschiedener patientenspezifischer, schwellenwertunabhängiger Parameter und unter Auswahl der chirurgischen Prozedur gemäß dem zugeordneten OPS-Code die erwartete Anzahl der benötigten EKs individuell berechnet. Die stetige Weiterentwicklung der Operationstechniken, die Ausweitung der klinischen Erfahrung der Operateure und der medizinische Erkenntnisgewinn erfordern eine kontinuierliche Adjustierung und Re-validierung des Modells. Der Modellcharakter des neuartigen Konzeptes wird dadurch unterstrichen, dass die Methodik zwar auf das Patientengut und die klinischen Rahmenbedingungen des Klinikums der Universität München ausgerichtet ist, sich jedoch nach Anpassung an die individuellen Gegebenheiten auf andere Kliniken übertragen lässt. Das Outcome der Algorithmen, nämlich die Schätzung des Transfusionsbedarfs unter Angabe eines Sicherheitsbereichs, dient als Vorschlag, der unter anderem dazu beiträgt, das Bestellwesen bedarfsgerecht auszurichten und die Versorgungskette mit Blutkonserven effizienter zu gestalten. Letztendlich obliegt die Entscheidung, wie viele Blutprodukte intraoperativ zu verabreichen sind, dem Anästhesisten auf Basis der bekannten Transfusionstrigger, die im vorliegenden Konzept unangetastet bleiben. In diesem Zusammenhang ist als numerischer Transfusionstrigger die Hämoglobinkonzentration zu nennen, die bei einem Abfall unter 6 g/dl eine Bluttransfusion indiziert. Bei Werten zwischen 6 und 10 g/dl sollte die Transfusionsentscheidung bei Hinweis auf einen potentiellen Blutverlust, bei Anzeichen einer Organischämie oder in Abhängigkeit des intravaskulären Volumenstatus getroffen werden (MADJDPOUR et al., 2005; AMERICAN SOCIETY OF ANESTHESIOLOGISTS TASK FORCE ON PERIOPERATIVE

BLOOD MANAGEMENT, 2015). Physiologische Transfusionstrigger berücksichtigen hingegen klinische Symptome einer Hypoxämie bei erhaltener Normovolämie und laborchemisch nachgewiesener Anämie. Hierunter zählen beispielsweise der Anstieg der globalen O₂-Extraktion > 50%, der Abfall des gemischtvenösen PO₂ < 32 mmHg oder das Auftreten einer Laktazidose (Laktat > 2 mmol/l + Azidose) sowie klinische Symptome wie Tachykardie, Hypotension oder Dyspnoe (MADJDPOUR et al., 2005; SEHGAL et al., 2001; Querschnitts-Leitlinien (BÄK) zur Therapie mit Blutkomponenten und Plasmaprodukten, 2014).

4.5 Bluttransfusion und Glaube – Zeugen Jehovas

Die Geschichte der Zeugen Jehovas geht auf das Ende des 19. Jahrhunderts zurück, als sich im Jahr 1869 in Pittsburgh, USA, eine Gruppe von Bibelforschern um Charles Taze Russell bildete und das Ziel verfolgte, die traditionellen Glaubensansichten der christlichen Kirche durch intensives Bibelstudium und wortgenaue Auslegung von Bibelpassagen zu hinterfragen. Seit 1931 ist die Glaubensgemeinschaft unter dem Namen „Zeugen Jehovas“ bekannt und umfasst im Jahr 2016 weltweit etwa 8,2 Mio. Mitglieder (<https://www.jw.org.de>). Die Zeugen Jehovas lehnen aus religiöser Überzeugung jeglichen Gebrauch von Blut als Nahrungsmittel sowie seit 1944 als Bluttransfusion ab und stützen sich dabei auf die Interpretation verschiedener Bibelstellen, die gebieten, sich von Blut zu enthalten. Als Beispiele in diesem Zusammenhang seien 1 Mose 9:4 („Allein esset das Fleisch nicht, das noch lebt in seinem Blut“), 3 Mose 17:14 („Denn des Leibes Leben ist in seinem Blut, solange es lebt; und ich habe den Kindern Israels gesagt: Ihr sollt keines Leibes Blut essen; denn des Leibes Leben ist in seinem Blut; wer es isst, der soll ausgerottet werden.“) und Apostelgeschichte 15:20, 29 („...dass sie sich enthalten... vom Blut.“) genannt (Bibel, LUTHER 1912). Ein Zeuge Jehovas, der diesen Geboten zuwiderhandelt, verletzt nach Ansicht der Religionsgemeinschaft das göttliche Gesetz und büßt nach seinem Glauben jegliche Hoffnung auf Erreichen der Ewigkeit ein. Damit ist in diesem Fall das – eigentlich ja oft lebensrettende Blut – tatsächlich ein „Böses Blut“, da es dem Menschen das Himmelreich verwehrt: Die rigoros ablehnende Haltung von Zeugen Jehovas gegenüber Bluttransfusionen ist vor dem Hintergrund ihres Glaubens natürlich nachvollziehbar. Würde es tatsächlich stimmen, dass eine Bluttransfusion die „Ewige Glückseligkeit“ nach dem Tode verhindert, oder ausschließt, dann müsste man

de facto jedwede Bluttransfusion strengstens verbieten, folglich dürften für diese Patientengruppe auch nie EKs für Operationen bestellt werden. Leider folgen auf die Transfusion von Blut – sofern diese bekannt wird - in dieser Glaubensgemeinschaft häufig drastische Maßregelungen wie der Ausschluss aus der religiösen Gemeinschaft und damit einhergehend der Abbruch sämtlicher sozialer Kontakte. Im medizinischen Kontext bezieht sich die Ablehnung von Blutprodukten in erster Linie auf die Verwendung der Bluthauptkomponenten: rote und weiße Blutkörperchen, Blutplasma sowie Blutplättchen. Die Akzeptanz von Plasmafraktionen wie Albumine oder Immunglobuline ist der Gewissensentscheidung des Einzelnen überlassen.

Die ablehnende Haltung der Zeugen Jehovas zu Bluttransfusionen stellt Ärzte vor große rechtliche, ethische und emotionale Herausforderungen und steht im Kontrast zu der ethisch-beruflichen Verpflichtung, dem Wohle des Patienten zu dienen. Nach RAJTAR (2013) ist dieses Spannungsfeld als Ergebnis von zwei unterschiedlichen Auffassungen des Autonomiebegriffes anzusehen: Die Sichtweise der Ärzteschaft liegt in einer vernunftsbasierten Ethik gemäß der Emanuel Kant'schen Lehre begründet, wonach die Autonomie als Aufgabe des Menschen verstanden wird, sich selbst als freiheits- und vernunftfähiges Wesen zu bestimmen und entsprechend dem Kategorischen Imperativ moralisch zu handeln. Demgegenüber lehnen sich Zeugen Jehovas eher an die John Stuart Mill'sche Auffassung an, wonach Autonomie als Recht des Individuums auf Freiheit der Behandlungswahl verstanden wird. Die Autonomie des Patienten ist auch eines der vier moralisch-ethischen Prinzipien, die 1977 von BEAUCHAMP und CHILDRESS (2009 [1977]) formuliert wurden und seither als klassische Prinzipien der Medizinethik gelten: der Respekt vor der Autonomie des Patienten, das Verbot zu schaden, das Wohlergehen des Menschen sowie Gleichheit und Gerechtigkeit. Die vier Komponenten stehen gleichberechtigt nebeneinander, können aber kollidieren. So steht im Falle der Transfusionsverweigerung der Zeugen Jehovas das Fürsorgeprinzip im Konflikt mit dem Autonomieprinzip und dem Prinzip der Schadensvermeidung. In Deutschland nimmt das Selbstbestimmungsrecht eines Patienten einen bedeutenden Stellenwert ein. Es ist vor allem durch Art. 2 Abs. 1 i. V. m. Art. 1 Abs. 1 Grundgesetz (BUNDESTAG, <https://www.bundestag.de/grundgesetz>) und im medizinischen Kontext durch das im Februar 2013 in Kraft getretene „Gesetz zur Verbesserung der Rechte von Patientinnen und Patienten“ (BÄK: Patientenrechtegesetz: http://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/downloads/Patientenrechtegesetz_BGBI.pdf) geschützt. Ein Patient kann schriftlich

im Rahmen einer Patientenverfügung oder auch mündlich festlegen, dass er die Verabreichung von Blutprodukten ablehnt, selbst wenn aus dieser Ablehnung der eigene Tod resultieren sollte. Das Selbstbestimmungsrecht eines Patienten kann nicht durch den ethischen Standpunkt eines Arztes begrenzt werden (RAJTAR, 2013). Den ethischen Konflikt, dem sich ein Arzt bei einer intraoperativen, eine Transfusion erfordernden Notfallsituation ausgesetzt sieht, stellen JONES et al. (2006) in ihrem Artikel anschaulich dar. Von sämtlichen erwogenen Entscheidungsalternativen in einer derartigen Situation, die von einer heimlichen Transfusion über eine Transfusion nach Zustimmung durch einen Angehörigen bis hin zu einer Transfusion aufgrund der Annahme, dass sich der Patient nicht über die Tragweite seiner Verweigerungshaltung im Klaren war, reichen, verbleibt nach Auffassung der Autoren letztendlich nur eine einzige ethisch vertretbare Handlungsweise: die Autonomie des Patienten zu wahren und ungeachtet des Risikos eines letalen Ausgangs von einer Transfusion Abstand zu nehmen.

Die Zeugen Jehovas haben das Dilemma zwischen dem Gewissenkonflikt der behandelnden Ärzte und den Glaubensgrundsätzen ihrer Gemeindemitglieder erkannt und sogenannte Krankenhausverbindungskomitees etabliert, die als verbindendes Element zwischen beiden Interessensgruppen fungieren. Funktion der Krankenhausverbindungskomitees ist, den Entscheidungsträgern eines Krankenhauses die religiöse Weltanschauung ihrer Religionsgemeinschaft zu vermitteln und um für Verständnis für deren Glaubensprinzipien zu werben (DRK KLINIKEN BERLIN, 2013).

Bei Vorliegen einer Patientenverfügung ist der darin ausgedrückte Wille der Verweigerung einer Bluttransfusion für den Arzt bindend (DREUW et al., 2013). Der behandelnde Arzt kann die Durchführung einer Operation unter den gegebenen Bedingungen jedoch ablehnen, da er nicht gezwungen werden darf, zwischen der Missachtung des Selbstbestimmungsrechts seines Patienten und schweren Gesundheitsschädigungen entscheiden zu müssen (DRK KLINIKEN BERLIN, 2013): In Deutschland ist die Gewissensfreiheit ein durch Art. 4 des Grundgesetzes sichergestelltes Grundrecht, welches sowohl das Gewissen des Patienten als auch dasjenige des Arztes schützt. So kann ein Arzt in einer Notfallsituation auch entgegen dem mutmaßlichen Willen des Patienten in rechtlich zulässiger Weise eine Bluttransfusion durchführen, vor allem wenn ein Unterlassen seinem ärztlichen Gewissen nicht zumutbar ist. Sofern keine Patientenverfügung bzw. kein Hinweis auf die Ablehnung einer Bluttransfusion vorliegt, ist bei notfallmäßig durchgeführten Eingriffen hingegen die ärztlich angeordnete Transfusion indiziert. Im Umgang mit

Zeugen Jehovas nimmt das Aufklärungsgespräch einen zentralen Stellenwert ein. Das Hauptaugenmerk liegt darauf, den konkreten Patientenwillen festzustellen und schriftlich zu dokumentieren. Daneben dient ein Gespräch dazu, dem Patienten therapeutische Alternativen zu der Verabreichung von Blutprodukten aufzuzeigen. Das in diesem Zusammenhang zu nennende perioperative Management umfasst die von den Zeugen Jehovas akzeptierten Maßnahmen zur Vermeidung einer allogenen Bluttransfusion, wie beispielsweise die präoperative Optimierung kardiopulmonaler Risikofaktoren oder die Korrektur einer präoperativen Anämie. Die Maßnahmen dienen dem Ziel, den „point of no return“ einer Anämie oder einer Koagulopathie nie zu erreichen, da bei Mitgliedern der Zeugen Jehovas die Option einer Fremdbluttransfusion als Ultima Ratio fehlt (HABLER et al., 2010). Auf die Möglichkeit eines perioperativen Patient Blood Management, wie es auch in Kapitel 4.3 vorgestellt wurde, weisen mehrere Autoren im Zusammenhang mit der Behandlung von Zeugen Jehovas hin, so auch CHAND et al. (2014) und LAWSON et al. (2015). Im Aufklärungsgespräch ist zu thematisieren, dass im Rahmen des operativen Eingriffes eine Transfusion notwendig werden könnte. Die damit im Zusammenhang stehenden Chancen und Risiken sind dem Patienten ebenso zu erläutern wie die Folgen einer Unterlassung. Der aufklärende Arzt orientiert sich bei der Darstellung des Transfusionsrisikos an den für einen bestimmten Eingriff in der Vergangenheit beobachteten Werten und berücksichtigt bei der Risikodeterminierung spezifische Patientenparameter, wie das Alter, das Geschlecht oder den Ausgangs-Hämoglobinwert (DRL KLINIKEN BERLIN, 2013).

Die in der vorliegenden Arbeit dargestellten Ergebnisse leisten einen wichtigen Beitrag für eine auf Daten fundierte Aufklärung der Patienten, welche den Gewissenskonflikt seitens der Ärzteschaft und auch der Zeugen Jehovas mildern kann. So können hiermit im Aufklärungsgespräch neben Eingriffen, die im gesamten Betrachtungszeitraum keine Bluttransfusionen erforderten, operative Prozeduren mit derart geringen Transfusionsraten aufgezeigt werden, dass präoperative EK-Anforderungen als unnötig angesehen werden können. Dies erleichtert dem Patienten die Entscheidung, einen Eingriff trotz seiner religiösen Überzeugung vornehmen zu lassen. Auch die Bereitschaft eines Arztes zur Durchführung einer Operation kann in diesen Fällen positiv beeinflusst werden, da bei einem gegen null tendierenden Transfusionsrisiko das Auftreten von Gewissensnöten beinahe auszuschließen ist. Bei Eingriffen, die im Betrachtungszeitraum mit Transfusionen

in Verbindung standen, kann durch Heranziehung der Algorithmen auf Basis der patientenspezifischen Parameter das Transfusionsrisiko individuell abgeschätzt werden. Die Kenntnis desselben unterstützt den Patienten bei seiner Entscheidung sich einem Eingriff unter Inkaufnahme des Transfusionsrisikos zu unterziehen oder die Operation besser nicht durchführen zu lassen. Dem Arzt erlauben die Ergebnisse des Algorithmus die Einschätzung, inwieweit mit einer intraoperativen Transfusion zu rechnen ist und ob er unter den gegebenen Umständen trotz des Transfusionsverbots zu dem Eingriff bereit ist. Sieht er sich aufgrund fundamentaler Gewissenskonflikte außerstande bzw. ist das Risiko einer Transfusion substantiell hoch, ist die Durchführung des Eingriffs abzulehnen.

4.6 Vermeidung lagerungsbedingter Komplikationen

Die rechtlichen Grundlagen für die Vorbereitung, Durchführung und Dokumentation von Bluttransfusionen sind im Transfusionsgesetz (TFG), im Arzneimittelgesetz (AMG), in den Richtlinien zur Gewinnung von Blut und Blutbestandteilen und zur Anwendung von Blutprodukten (Hämotherapie) der Bundesärztekammer gemäß TFG und den Querschnitts-Leitlinien zur Therapie mit Blutkomponenten und Plasmaderivaten der Bundesärztekammer geregelt und im Falle des Klinikums der Universität München als transfusionsmedizinische Dienstanweisung der Abteilung für Transfusionsmedizin und Hämostasologie der Klinik für Anaesthesiologie umgesetzt. Die Dienstanweisung legt die mit der Anforderung, Anwendung, Lagerung und Rückgabe von Blutpräparaten in Verbindung stehenden Regelungen fest. Die Lagerung von EKs unterliegt besonderen Anforderungen. Diese dürfen nur in eigens dafür vorgesehenen Kühlschränken mit konstanter Temperaturregulation bei einer Lagerungstemperatur zwischen +2 und +6 Grad Celsius und einer Lagerungsdauer in Abhängigkeit des verwendeten Stabilisators zwischen 35 und 49 Tagen (durchschnittlich 42 Tage) gelagert werden.

Ogleich der Nutzen einer Transfusion in bestimmten klinischen Situationen unbestritten ist (GREENBURG, 1996), steht die Verabreichung von Blutprodukten jedoch auch mit diversen infektiösen und immunologischen Risiken in Verbindung. Das Risiko einer transfusionsbedingten Übertragung von Virusinfektion wie HIV, HBV und HCV ist durch die Weiterentwicklung moderner Screening-Technologien mittlerweile als äußerst gering einzustufen (SCHREIBER et al., 1996; GOODNOUGH, 2003). Durch eine verbesserte Sensitivität der eingesetzten Testverfahren konnte deren diagnostische Lücke verkürzt und eine Reduktion des Infektionsrisikos erreicht werden (DODD et al., 2002).

Das Risiko einer Übertragung viraler Infektionen beläuft sich für HIV näherungsweise auf 1:1.468.000 bis 1:4.700.000, für HBV auf 1:31.000 bis 1:205.000 und für HCV auf 1:1.935.000 bis 1:3.100.000 (MARCUCCI et al., 2004). Der Gefahr einer bakteriellen Infektion sind vor allem Blutplättchen ausgesetzt (1:2.000-1:8.000), die aufgrund ihrer relativ hohen Lagerungstemperatur (+20 bis +24 Grad Celsius) einen exzellenten Nährboden für bakterielles Wachstum bieten, während bei Erythrozytenkonzentraten aufgrund ihrer Lagerung bei +2 und +6 Grad Celsius nur eine geringe Verunreinigung zu erwarten ist (KLEINMAN et al., 2003). Die immunologischen Risiken einer Transfusion resultieren einerseits aus einer hämolytischen Transfusionsreaktion aufgrund von z.B. ABO-Inkompatibilität (KLEINMAN et al., 2003), andererseits aus der immunsuppressiven Wirkung der transfundierten allogenen EKs beim Empfänger (KLEIN, 1999), die das Auftreten postoperativer Infektionen begünstigt (VAMVAKAS, 1996) und unter dem Verdacht steht das Krebsrisiko zu erhöhen (RIEDL et al., 2013).

Neben den genannten Risiken sind auch Komplikationen zu berücksichtigen, die mit der Lagerung der Blutkonserven im Blutdepot assoziiert sind. Die extrakorporale Lagerung von Erythrozyten induziert biochemische und biomechanische Veränderungen, welche als sogenannte „Lagerungsläsion“ („storage lesion“) bekannt sind und zu morphologischen Strukturveränderungen sowie funktionellen Einbußen der roten Blutzellen führen (TINMOUTH et al., 2006). Es kommt zu einem Verlust der Verformbarkeit der Erythrozyten (FRANK et al., 2013), einer Abnahme des S-Nitroso-Hämoglobins (BENNETT-GUERRERO et al., 2007), einer Depletion von Adenosin-Triphosphat und 2,3-Diphosphoglycerat (D'ALMEIDA et al., 2000) und zu einer Steigerung der Aggregationsfähigkeit (HOVAV et al., 1999). In diversen Studien konnte gezeigt werden, dass die Transfusion von lagerungsbedingt geschädigten Erythrozyten erhebliche klinische Konsequenzen nach sich ziehen kann und mit einer steigenden Morbidität und Mortalität sowie mit einer erhöhten postoperativen Komplikationsrate in Verbindung steht. So identifizierten beispielsweise ZALLEN et al. (1999) das Alter einer transfundierten Blutkonserve als unabhängigen Risikofaktor für die Ausbildung eines Multiorganversagens bei Traumapatienten. OFFNER et al. (2002) untersuchten die Entwicklung von postoperativen Infektionen nach erfolgter Transfusion bei schwer verletzten Traumapatienten und konnten nachweisen, dass die Dauer der Lagerung einer Blutkonserve einen signifikanten Einfluss auf die postoperative Infektionsrate hat. Die Autoren stellten fest, dass Patienten, denen 14 Tage

alte und ältere Blutkonserven verabreicht wurden, eine höhere Rate insbesondere an pulmonalen und intraabdominellen Infektionen aufwiesen als Patienten, die weniger lang gelagerte Konserven erhielten. Der Einfluss der Lagerungsdauer der verabreichten EKs bei herzchirurgischen Eingriffen steht im Fokus mehrerer Untersuchungen. VAMVA-KAS et al. (1999) und LEAL-NOVAL et al. (2003) stellten fest, dass die Lagerungszeit von EKs einen statistisch eindeutigen Prädiktor für die Entwicklung von postoperativen Pneumonien bei herzchirurgischen Patienten darstellt, während die Untersuchungen von KOCH et al. (2008) belegen, dass die Transfusion von länger als 14 Tage gelagerten Konserven mit einer erhöhten Komplikationsrate und einem reduzierten Kurz- und Langzeitüberleben assoziiert ist. Auch BASRAN et al. (2006) schreiben eine erhöhte Mortalität bei herzchirurgischen Re-Operationen lagerungsabhängigen Schädigungen der verabreichten EKs zu. PURDY et al. (1997) untersuchten den Zusammenhang zwischen dem Alter einer Blutkonserve und der Mortalität von kritisch kranken Patienten unter Intensivbehandlung und stellten fest, dass weder das Alter noch das Geschlecht, die Verweildauer auf der Intensivstation, die Dauer der Sepsis, die Inzidenz eines septischen Schocks oder die Anzahl der transfundierten EK-Einheiten, wohl aber die Lagerungsdauer der transfundierten EKs einen Einfluss auf das Überleben zu haben scheint. Die Autoren konnten zeigen, dass den Patienten, die nicht überlebt hatten, ein größerer Anteil an 20 Tage alten und älteren Blutkonserven verabreicht wurde als Überlebenden.

Die in der vorliegenden Arbeit entwickelten Rechenmodelle ermöglichen einen an den tatsächlichen Bedarf ausgerichteten EK-Einsatz und leisten einen wichtigen Beitrag zur Verminderung lagerungsassoziierter Komplikationen. Durch Anwendung der Algorithmen wird der erwartete Bedarf an EKs für einen bestimmten operativen Eingriff möglichst genau vorhergesagt. Die daraus resultierende Vermeidung von Fehlbestellungen hat zur Folge, dass im Blutdepot weniger Konserven für eine bestimmte Operation unnötig geblockt werden. Eine unnötige Fehlbestellung bedeutet de facto, dass sich die Zeit, in der ein EK der erfolgreichen, sprich endgültigen Destination zugeführt werden kann, um im Mittel 4 Tage verlängert. Damit erhöht sich die Lagerungsdauer eines EKs ganz erheblich, insbesondere auch deshalb, weil ein EK ja sogar mehrmals „Opfer“ einer Fehlbestellung werden kann. Durch die Anwendung der in der vorliegenden Arbeit entwickelten Algorithmen ist jedoch zu erwarten, dass der Verbrauch der Lebenszeit von Blutkonserven minimiert und die Gefahr einer lagerungsbedingten Schädigung der Blutzellen somit verringert werden können.

4.7 Ökonomische Aspekte

Niedrige Geburtenraten und eine höhere Lebenserwartung stellen die Gesundheitspolitik vor besondere finanzielle Belastungen, da eine tendenziell kleinere Anzahl von erwerbstätigen Beitragszahlern einer wachsenden Zahl von Rentnern gegenübersteht (BUNDESMINISTERIUM FÜR GESUNDHEIT: <http://www.bmg.bund.de/themen/krankenversicherung/herausforderungen/demografischer-wandel.html>). Vor dem Hintergrund des demographischen Wandels, steigender Kosten aufgrund verfeinerter Screening-Technologien (PARTICIPANTS OF THE COST OF BLOOD CONSENSUS CONFERENCE, 2005) und einer rasant steigenden Anzahl operativer Prozeduren (WEISER et al., 2008) wird Blut zu einer knappen und kostspieligen Ressource, die eine rationale Bereitstellung erfordert. Studien deuten zudem darauf hin, dass die mit unerwünschten Transfusionsreaktionen verbundenen Kosten einen nicht unerheblichen Beitrag zu den Gesundheitsausgaben leisten (BLUMBERG, 1997). Ungeachtet der steigenden Kosten und der Ressourcenknappheit hat sich global betrachtet eine recht liberale Transfusionspraxis etabliert (LEVY et al., 2005), die einrichtungsabhängig variiert (HÉBERT et al., 1999) und häufig unangemessen ist (GOODNOUGH et al., 1993). Zur Bewältigung dieser Herausforderungen sind Lösungen gefragt, die darauf abzielen, das Bestellwesen von Blutkonzentraten und den Blutverbrauch zu optimieren sowie die Ausgaben zu kontrollieren, um so die dadurch frei gewordenen Mittel in andere diagnostische, therapeutische und technologische Bereiche investieren zu können (SHANDER et al., 2007).

Die Wertschöpfungskette bis zur Verabreichung einer Transfusion umfasst zahlreiche Schritte, welche die Allokation menschlicher, materieller, zeitlicher, administrativer und monetärer Ressourcen erfordert. Die Abschätzung von transfusionsassoziierten Kosten ist Gegenstand verschiedener Studien. Der Schwerpunkt dieser Untersuchungen liegt auf der Darstellung der im Krankenhaus entstehenden Kosten pro EK-Einheit, die von der Anzahl der einzelnen Prozessschritte bis zur Transfusion abhängt (SHANDER et al., 2007). Die in Verbindung mit der Blutspende stehenden Kostenelemente (wie zum Beispiel Spender-Rekrutierung, Spenderscreening, Blutspende, Aufbereitung des Blutes) bleiben in den hier zitierten Studien unberücksichtigt. Der Prozess beginnt mit der Indikationsstellung in Anlehnung an die Querschnitts-Leitlinien der Bundesärztekammer. Nach Aufklärung des Patienten erfolgen auf Station eine frühzeitige Probenabnahme zur Blutgruppenbestimmung und die Konserven Anforderung. Die blutgruppenserologischen

Untersuchungen werden im Blutdepot des Klinikums vorgenommen und beinhalten die Bestimmung der Blutgruppe gemäß den AB0-Blutgruppenmerkmalen und dem Rh-Merkmal D sowie die Durchführung eines Antikörpersuchtests und einer Verträglichkeitsprobe, auch Kreuzprobe genannt. Der Antikörper-Suchtest ist eine Blutserum-Untersuchung, bei der Antikörper gegen bestimmte Merkmale von Erythrozyten nachgewiesen werden können. Die Kreuzprobe dient dazu, in vitro das Empfängerserum und die Spendererythrozyten im Sinne eines Major-Tests miteinander zu inkubieren und auf etwaige Hämolyse- oder Agglutinations-Hinweise zu untersuchen, die auf eine Unverträglichkeit hindeuten. Die Kreuzprobe für EKs mit frischem Patientenblut ist drei Tage gültig. Nach Auswahl einer geeigneten Konserve und unauffälliger Kreuzprobe erfolgt die Ausgabe an den Transportdienst in speziell dafür vorgesehenen Behältnissen. Unmittelbar vor der Transfusion ist ein AB0-Identitätstest (Bedside-Test) am Krankenbett unabdingbar. Hierbei handelt es sich um einen Test zur Kontrolle der AB0-Blutgruppenmerkmale des Empfängers, der vornehmlich der Identitätssicherung der Blutgruppe des Patienten dient. Im Anschluss erfolgen die Einleitung der Transfusion unter Beachtung von akut auftretenden Transfusionsreaktionen und umfangreiche Dokumentationspflichten ("RICHTLINIEN ZUR HÄMOTHERAPIE", 2010; TRANSFUSIONSMEDIZINISCHE DIENSTANWEISUNG, 2014). Zur Darstellung von transfusionsassoziierten Kosten konstruierten SHANDER und Kollegen (2010) ein aktivitäts-basiertes Kostenmodell. Hierfür identifizieren die Autoren die mit einer Transfusion in Verbindung stehenden technischen, administrativen und klinischen Prozesse, welche Personal, Verbrauchsmaterialien und Kapital involvieren, und speisten das Modell mit den Prozessdaten aus zwei US-amerikanischen und zwei europäischen Krankenhäusern. Die Auswertungen zeigten, dass die Kosten zwischen den Kliniken deutlich variierten. Für zwei transfundierte EK-Einheiten mussten die US-amerikanischen Einrichtungen die höchsten Beträge aufwenden (\$ 2458,77 in New Jersey und \$ 1508,63 in Rhode Island) im Vergleich zu der Schweiz (\$ 1270,49) und Österreich (\$ 1085,58). ABRAHAM et al. (2012) führten eine systematische Literaturrecherche durch und konnten auf Basis von sechs Untersuchungen aus fünf westeuropäischen Ländern, die sich mit der Abschätzung der transfusionsassoziierten Kosten beschäftigten, den mittleren Aufwand für zwei transfundierte EK-Einheiten mit € 878 beziffern, was in US-Dollar umgerechnet in etwa den von SHANDER et al. (2010) geschätzten aktivitäts-basierten Kosten in den beiden untersuchten europäischen Kliniken entspricht.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die vorherrschende Transfusionspraxis am Klinikum der Universität München analysiert und für ausgewählte operative Eingriffe, die den Einschlusskriterien gemäß Kapitel 3.2.1 entsprachen, ein Vergleich zwischen der im Betrachtungszeitraum tatsächlich angeforderten EK-Anzahl und dem tatsächlichen Verbrauch angestellt. Das Ergebnis zeigt, dass im Betrachtungszeitraum die Bestellmenge den tatsächlichen Bedarf um ein vielfaches übersteigt: 9.889 angeforderten EKs stehen 3.516 verbrauchte EKs gegenüber. 6.373 EKs wurden also zu viel bestellt und vorübergehend dem Kreislauf entzogen. Die im Kontext klinischer Komplikationen (lagerungsbedingte Schäden, Kapitel 4.6), gesundheitspolitischer Dimensionen (Ressourcenknappheit) und betriebswirtschaftlicher Implikationen zu sehenden Auswirkungen dieser Fehlallokation sind enorm. Bei Anwendung der in der vorliegenden Arbeit auf Basis spezifischer Patientenparameter entwickelten Regressionsmodelle würde der algorithmisch berechnete Transfusionsbedarf 3.403 EKs betragen und läge damit beträchtliche 6.486 Einheiten unter der tatsächlichen angeforderten Bestellmenge und lediglich 113 EK-Einheiten unter dem tatsächlichen Verbrauch. Letzterer Aspekt verdeutlicht das Konzept einer eher konservativen Bestellpraxis, welche durch Anwendung des Algorithmus verfolgt wird. Hier ist anzumerken, dass die Betrachtung des tatsächlichen Verbrauchs immer den Gesamtverbrauch im Fokus hat. Damit bedeutet die Tatsache, dass nach den Algorithmen eine etwas geringe Anzahl als die der verbrauchten EKS berechnet wird, keineswegs, dass Patienten, die Transfusionen benötigen diese durch Anwendung des Algorithmus vorenthalten würden. Die Anwendung des Algorithmus führt vielmehr dazu, dass generell nicht zu viel EKs angefordert werden, aber in wenigen Einzelfällen während der OP zielgerichtet EKs nachbestellt werden müssen. Die im Folgenden aufgeführten ökonomischen Betrachtungen basieren auf grundlegenden Berechnungen, die anhand der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit und den möglichst präzise geschätzten Zeitaufwänden (siehe Tabelle 206; ausgeführt durch Herrn Dr. Wittmann, ATMZH) aufgestellt werden konnten. Eine sehr präzise Analyse der ökonomischen Aspekte, die u.a. die genaue Zeitmessung aller Herstellungsschritte erfordert, ist einer bereits konkret geplanten, weiteren Dissertation vorbehalten (siehe auch unten).

Wie dezidiert in Tabelle 206 aufgeschlüsselt wird, beanspruchen 6.486 fehlbestellte EKs einen zeitlichen Mehraufwand von jährlich 1.885 Stunden. Diese Zeit könnte bei einer bedarfsgerechten Ausrichtung des Bestellwesens beispielsweise für eine Optimierung der

Labororganisation, für die Entwicklung verbesserter Messverfahren oder für Forschungsaktivitäten investiert werden.

Tabelle 206: Zeitaufwand für fehlbestellte EKs

Zeitaufwand	h
automatische Kreuzung (7,5 min)	640
manuelle Kreuzung (22,5 min)	511
Rückholaufwand (1,5 min)	162
Vernichtung (2 min)	31
Verwaltungsaufwand (3 min)	324
Anästhesieaufwand (2 min)	216
Summe (h)	1885

Die Berechnung der Zeitersparnis beinhaltet auch den Zeitaufwand für die Vernichtung von fehlbestellten EKs, die die maximale Haltbarkeit von durchschnittlich 42 Tagen überschritten haben. Bei zum Lieferzeitpunkt im Mittel 14 Tage alten Konserven und einer Restlaufzeit von 28 Tagen verbrauchen fehlbestellte EKs aufgrund der viertägigen Reservierungszeit (siehe Kapitel 4.6) 14,3% der Restlaufzeit. Bei 6.486 überflüssig ausgegebenen Konserven verfallen demnach 927 EKs aufgrund der zu großzügigen Bestellpraxis. Bei einem Stückpreis von €80 (Schätzwert der ATMZH) ließe sich durch die Anwendung der mit der vorliegenden Arbeit entwickelten Algorithmen eine jährliche Ersparnis von €74.160 erzielen.

Die Implementierung des Algorithmus in das Prämedikationstool der Klinik für Anaesthesiologie würde in betriebswirtschaftlicher Hinsicht erheblich dazu beitragen, Einsparungspotentiale in beachtlicher Größenordnung zu realisieren und damit den Kostendruck für das Klinikums entschärfen. Die Wertschöpfungskette würde effizienter gestaltet werden können und die dadurch frei gewordenen Mittel könnten für andere innovative Felder genutzt werden. In klinischer Hinsicht ermöglicht die Anwendung der Algorithmen eine Optimierung der Lagerungszeit von Blutkonserven sowie eine Minimierung des Verbrauchs ihrer Lebenszeit und der lagerungsbedingten Komplikationen, bis hin zu einer deutlich geringeren Verfallsrate. Wie in Kapitel 4.6 dargestellt, kann eine fehlbestellte Konserve erst nach Ablauf von im Mittel rund vier Tagen wieder in Umlauf gebracht werden. Überspitzt ausgedrückt bedeutet dies, dass bei unveränderter Bestellpraxis, also ohne Anwendung der in dieser Arbeit entwickelten Algorithmen, jährlich rund 6.500 fehlbestellte Konserven insgesamt 26.000 Tage und damit – *natürlich rein rechnerisch* – rund 71 Jahre unnötigerweise (in der Tat pro Jahr!) in der Warteschleife hängen und nicht ihrer

eigentlichen Bestimmung zugeführt werden können. Dieses Paradoxon verdeutlicht eindrucksvoll, wie wichtig es auch aufgrund ökonomischer Gesichtspunkte sein wird, die in dieser Arbeit entwickelten Algorithmen in die zukünftige präoperative Bestellpraxis für Blutkonserven zu integrieren. Dies nun umzusetzen, also eine IT-basierte Anpassung des Prämedikationsprogramms der Klinik für Anaesthesiologie der Universität München vorzunehmen, bei der für die jeweiligen OP-Codes die individuell und patientenspezifisch berechnete notwendige EK-Anforderung automatisiert aufgezeigt wird, ist Inhalt einer an die vorliegende Arbeit anschließende weiteren Dissertation. Hierbei muss ebenfalls etabliert werden, dass eine permanente „Neueichung“ der Algorithmen erfolgt, also eine Adjustierung an den aktuellen Bedarf an EKs bei den verschiedenen Operationen, der sich über die Zeit z.B. durch neue OP-Techniken oder Wechsel von Operateuren verändern kann.

4.8 Methodenkritik

In Anbetracht der Tatsache, dass die vorgestellten Algorithmen an einer einzigen Klinik entwickelt wurden und diese aufgrund ihres Status als Universitätsklinik ein spezielles Patientenkollektiv mit teilweise besonders schweren Erkrankungen aufweist, die möglicherweise mit einer erhöhten Transfusionswahrscheinlichkeit verbunden sind, lassen sich die Ergebnisse nicht bedenkenlos auf andere Einrichtungen übertragen. Die prädiktive Validität ist jedoch auch für die betrachtete Institution eingeschränkt, da sowohl die Operationstechniken als auch die Erfahrungen der Operateure aufgrund von Fluktuation und neueren medizinischen Erkenntnissen einem ständigen Wandel unterliegen, so dass eine Revalidierung der Algorithmen in regelmäßigen Abständen erfolgen sollte. Eine weitere Limitation der Studie liegt in der Retrospektivität der vorgestellten Rechenmodelle begründet, deren Gültigkeit auch in einem prospektiven Studiendesign überprüft werden sollte. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich zudem lediglich auf perioperativ verabreichte Transfusionen und lässt einen möglichen Transfusionsbedarf in der weiteren postoperativen Periode unberücksichtigt. Eine weitere Präzisierung hätte das Modell durch Berücksichtigung von Normalwerten für das präoperative Erythrozytenvolumen erfahren. Dieses beträgt für Männer $1.486 \text{ ml/m}^2 - 825$ und für Frauen 822 ml/m^2 (ORTH et al., 1998; JACOB et al., 2008; PEARSON et al., 1995). Die genannten Richtwerte beziehen sich allerdings auf die Körperoberfläche, die in den in der vorliegenden Arbeit entwickelten Modellen bereits vollumfänglich berücksichtigt ist.

Trotz der oben gemachten Einschränkungen lassen verschiedene Faktoren darauf schließen, dass die ermittelten Algorithmen zur Schätzung des Transfusionsbedarfs allgemein anwendbar sind. Die Studie ist auf ein umfangreiches Patientenkollektiv ausgerichtet und schließt eine große Bandbreite an Patientenmerkmalen, operativen Eingriffen und Operateuren ein. Alle Patienten, auch Notfallpatienten, wurden in die Analyse integriert, so dass von einer repräsentativen Stichprobe ausgegangen werden kann. Die den rechnerischen Modellen zugrunde liegenden unabhängigen Variablen sind nicht einrichtungsspezifisch, sondern wurden bereits in anderen Studien als signifikante Einflussgrößen auf den Transfusionsbedarf identifiziert. Die Stärke der angewandten Poisson-Analyse liegt darin, dass sich dieses Regressionsmodell speziell für die Untersuchung seltener Ereignisse eignet und die Outcome-Variable eine Anzahl und nicht eine Wahrscheinlichkeit ist. Durch diese beiden Eigenschaften wird den Anforderungen an ein Modell zur Vorhersage der erwarteten EK-Anzahl besonders Rechnung getragen.

5. Zusammenfassung

Die Transfusion von Blutprodukten rettet weltweit Millionen Menschenleben. In einer Gesellschaft jedoch, die von einem demographischen Wandel geprägt ist und in der eine immer kleinere Anzahl von Spendern einer größeren Menge von potentiellen Empfängern mit komplexer werdenden Krankheiten gegenübersteht, nimmt das Risiko von Versorgungsengpässen zu. Hinzu kommt eine große Zahl vermeidbarer Transfusionen, welche im Gesundheitswesen enorme Kosten verursachen. Aufgrund der Veränderung der Altersstruktur in unserer Gesellschaft, des ökonomischen Kostendrucks und des medizinischen Erkenntnisgewinns sehen sich die Universitätskliniken zunehmend gezwungen, die Effektivität ihres Transfusionsverhaltens zu überdenken, Strategien zur Vermeidung unnötiger Bluttransfusionen zu entwickeln und Algorithmen zur Optimierung der Versorgungskette zu implementieren. Die aktuellen Entwicklungen aufgreifend verfolgt diese Arbeit das Ziel, die am Klinikum der Universität München vorherrschende perioperative Bestell- und Transfusionspraxis von Erythrozytenkonzentraten zu analysieren und für verschiedene operative Prozeduren einen spezifischen Algorithmus zur Schätzung des zu erwarteten intraoperativen Verbrauchs und der daran angepassten Anforderung von Erythrozytenkonzentraten zu entwickeln. Aus dieser komplexen Analyse sollen praktische Handlungsempfehlungen zur Optimierung des Bestellprozesses abgeleitet werden,

welche auch das Potential bergen, monetäre und zeitliche Einsparungen zu erzielen sowie lagerungsbedingte Komplikationen zu reduzieren.

Die Daten aus den Narkoseprotokollen und dem Krankenhausinformationssystem bildeten die Grundlage für die retrospektive Auswertung. Im Beobachtungszeitraum vom 20.08.2013 bis 20.08.2014 wurden an den Standorten Innenstadt und Großhadern des Klinikums der Universität München alle Narkoseprotokolle hinsichtlich des Verbrauchs an Erythrozytenkonzentraten untersucht und ausgewertet. Zudem wurden für alle in diesem Zeitraum stattgefundenen Operationen/Narkoseprotokolle die perioperativen Anforderungen an Erythrozytenkonzentraten erfasst und analysiert. Im Betrachtungszeitraum wurden insgesamt 37.188 operative Eingriffe durchgeführt; dies entspricht dem Gesamtdatensatz. Das Durchschnittsalter der Patienten belief sich im Gesamtkollektiv auf 48 (Spannweite 0 bis 102) Jahre. Mit 52,1% Frauen (Durchschnittsalter 46 Jahre) und 47,9% Männern (Durchschnittsalter 50 Jahre) war das Geschlechterverhältnis relativ ausgewogen. Die Transfusionsrate lag insgesamt bei 6,3%.

Jeder der im Gesamtdatensatz enthaltenen Operation wurde eine von 86 verschiedenen Eingriffskategorien aus 10 verschiedenen klinischen Bereichen zugeordnet. Voraussetzung für die Zuordnung war, dass die Eingriffe durch einen mindestens vierstelligen OPS-Code eindeutig klassifiziert und zudem in den Transfusionskatalogen der operativen Fächer des Klinikums der LMU aufgeführt sein mussten. 20.927 Fälle entsprachen nicht den genannten Kriterien, so dass letztendlich 16.261 Fälle Eingang in die Analyse fanden. Bei 1.525 mit einer Bluttransfusion in Verbindung stehenden Fällen betrug die Transfusionsrate 9,4%. Insgesamt wurden 4.415 EK-Einheiten verabreicht. Der Median lag bei 2 EK-Einheiten (Spannweite 1 bis 53).

Die Berechnung des erwarteten Transfusionsbedarfs beruhte auf einem speziellen Regressionsmodell, der Poisson-Regression, die den Vorteil bietet, insbesondere für die Analyse seltener Ereignisse (hier: Transfusionen) geeignet zu sein. Darüber hinaus kann mit diesem Modell – wie bei der vorliegenden Fragestellung erwünscht - eine Anzahl als Outcome-Variable generiert werden (hier: erwartete EK-Anzahl). Als unabhängige Variablen flossen in das Modell das Alter, die Körperoberfläche, das Geschlecht, der Ausgangs-Hämoglobinwert, die ASA-Risikoklassifikation und die Dringlichkeitsstufe einer Operation ein - Kriterien, deren Einfluss auf die Transfusionswahrscheinlichkeit bereits in multiplen Studien bestätigt werden konnte. Die Regressionsanalyse wurde für ausgewählte chirurgische Prozeduren angewandt, die eine Transfusionswahrscheinlichkeit von

mindestens 5% aufwiesen. Zur Darstellung eines möglichen Zusammenhangs zwischen den oben genannten patientenbezogenen Parametern und der erwarteten EK-Anzahl wurden für jeden Eingriff die Konstanten β_0 und Regressionskoeffizienten β_i berechnet und eine Regressionsgleichung aufgestellt. Anschließend wurden unter Anwendung der ermittelten OPS-Code-spezifischen Algorithmen auf die tatsächliche Patientenpopulation die mittlere erwartete EK-Anzahl und das dazugehörige 95%-Konfidenzintervall für die verschiedenen Operationen kalkuliert.

Ein weiterer Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit lag auf einem Vergleich zwischen der präoperativ angeforderten und perioperativ verbrauchten EK-Anzahl. Eingriffe mit Transfusionsraten zwischen 0% und 5%, die folglich keiner Regression unterzogen wurden, flossen dabei nicht in die Betrachtung ein. Es zeigte sich, dass im Beobachtungszeitraum die in Höhe von 9.889 EKs veranschlagte Bestellmenge den mit 3.516 EKs bezifferten tatsächlichen Bedarf um beinahe das Dreifache überstieg. Bei Anwendung der Algorithmen würde der mittlere erwartete Transfusionsbedarf 3.403 EKs betragen und läge damit mit 6.486 EKs weit unter der tatsächlich angeforderten Durchschnittsmenge und mit 113 Einheiten nur geringfügig unter dem tatsächlichen Verbrauch.

Abschließend wurden unter Heranziehung des regressionsanalytisch ermittelten Konfidenzintervalls differenzierte Handlungsempfehlungen für eine Optimierung der Bestellpraxis und eine effizientere Gestaltung der Versorgungskette abgeleitet. Das Konfidenzintervall diente dazu, potentielle statistische Unterschiede zwischen der bisherigen Bestellpraxis und den errechneten Erwartungswerten aufzudecken. Es konnten drei verschiedene Gruppen identifiziert werden: Die erste Kategorie umfasst diejenigen chirurgischen Prozeduren, die derart geringe Transfusionsraten aufweisen, dass ein zukünftiger Verzicht auf präoperative EK-Anforderungen in Erwägung gezogen werden kann. Bei der zweiten Gruppe handelt es sich um Operationen, bei denen von einem statistisch eindeutigen Unterschied zwischen den im vorliegenden Datensatz beobachteten Anforderungen und der algorithmisch berechneten Anzahl an benötigten EKs ausgegangen werden muss. In diesen Fällen wäre eine Ausrichtung der präoperativen Bestellmenge auf die Ergebnisse der Poisson-Regression anzustreben. Die dritte und letzte Kategorie betrifft Eingriffe, bei denen die mittlere angeforderte EK-Anzahl innerhalb des Konfidenzintervalls lag und somit als guter Schätzwert betrachtet werden kann. Die präoperative Bestellung von Erythrozytenkonzentraten kann sich in diesen Fällen an der bisherigen Praxis orientieren.

Die Bedeutung der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit und die Aktualität der Thematik zeigen sich in diversen Bereichen, welche in Kapitel 4 umfassend diskutiert wurden.

Nach einem Überblick über die wichtigsten Ergebnisse der vorliegenden Arbeit in Kapitel 4.1 liefert Kapitel 4.2 zunächst eine Zusammenschau der aktuellen Studienlage zur perioperativen Bestellpraxis und dem tatsächlichen Transfusionsbedarf. Es fanden sich diverse Untersuchungen, die sich mit der Identifikation von präoperativen, patientenbezogenen Risikofaktoren, die Einfluss auf den Transfusionsbedarf nehmen, und mit der Berechnung der Transfusionswahrscheinlichkeit, meist mittels Logistischer Regression, beschäftigen. Die in Kapitel 3 präsentierten Algorithmen vereinen die in der Literatur dargestellten Methoden und entwickeln diese weiter. So erfolgte die Entwicklung operationsbezogener Rechenmodelle auf Basis einer Poisson-Regression, die sich für die Analyse des vorliegenden Sachverhalts besonders auszeichnet, und unter Heranziehung patientenspezifischer in Studien als signifikant erwiesener Prädiktoren.

Die Individualität des vorgestellten Konzepts aus patienten- und arztorientierter Sichtweise ist Gegenstand von Kapitel 4.3. Die Anwendung der Algorithmen in der klinischen Praxis erlaubt eine individualisierte Therapie mit Erythrozytenkonzentraten, welche auf den spezifischen Bedarf eines Patienten und die Erfordernisse eines ausgewählten operativen Eingriffs ausgerichtet ist. In der Literatur fanden sich Hinweise darauf, dass die Transfusionsrate zwischen einzelnen Operateuren in Abhängigkeit ihrer klinischen Erfahrung schwankt. Das einen Sicherheitsbereich definierende Konfidenzintervall trägt diesem Aspekt Rechnung und ermöglicht eine an die klinische Routine des Chirurgen und den patientenspezifischen Bedürfnissen angepasste, flexible Bestellpraxis.

Die hergeleiteten Algorithmen stellen intelligente Systeme dar, die aufgrund der ständigen Weiterentwicklung der Operationstechniken, der Ausweitung der klinischen Erfahrung der Operateure und des Zuwachses in der medizinischen Erkenntnis eine kontinuierliche Adjustierung und Revalidierung ermöglichen. Der Modellcharakter des Konzepts (Kapitel 4.4) zeigt sich - nach primärer Ausrichtung auf das Patientengut und die klinischen Rahmenbedingungen des Klinikums der Universität München – darüber hinaus in der Fähigkeit, sich nach Anpassung an die individuellen Gegebenheiten auf andere Kliniken übertragen zu lassen.

Der potentielle Konflikt zwischen Bluttransfusion und Glaubensgrundsätzen am Beispiel der Zeugen Jehovas steht im Fokus von Kapitel 4.5. Die auf einer soliden Datengrundlage

basierende, möglichst präzise Einschätzung des individuellen Transfusionsbedarfs ist ein wichtiges Instrument im Rahmen des Aufklärungsgesprächs und kann auch bei Gewissenskonflikten sowohl den Patienten als auch den Arzt bei der Entscheidung für oder gegen die Durchführung einer Operation unterstützen.

Aus der Literatur ist bekannt, dass das Risiko postoperativer Infektion mit einer zunehmenden Lagerungsdauer der Erythrozyten steigt. Die mit der Ausrichtung der Bestellmenge an den individuellen Bedarf einhergehende Optimierung der Versorgungskette trägt zu einer Verkürzung der Lagerungszeit und damit zu einer Reduktion lagerungsbedingter Komplikationen bei. Diese Aspekte stehen im Zentrum von Kapitel 4.6.

Auch in ökonomischer Hinsicht sind die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit für das Klinikum der Universität München von hoher praktischer Relevanz (Kapitel 4.7). Die Analyse der bisherigen Transfusionspraxis in Verbindung mit der Anwendung der entwickelten Algorithmen konnte mit €74.160 ein mit dem Verfall unnötig bestellter EK assoziiertes Einsparpotential beträchtlicher Größenordnung aufzeigen und einen wichtigen Beitrag zu einer effizienteren Allokation von ohnehin schon knappen Ressourcen leisten. Zudem ist der mit der Fehlbestellung von EKs verbundene Zeitaufwand für unnötige Kreuzproben, Rückholung, Vernichtung und Verwaltung mit 1.885 Stunden pro Jahr enorm. Die frei gewordenen zeitlichen Kapazitäten können für eine effizientere Gestaltung der Labororganisation, für die Entwicklung verbesserter Messverfahren oder andere Forschungsaktivitäten eingesetzt werden und tragen somit zu einer Optimierung der Kernkompetenzen bei. Wie in Kapitel 4.6 dargestellt, kann eine fehlbestellte Konserve erst nach Ablauf von im Mittel rund vier Tagen wieder in Umlauf gebracht werden. Rein mathematisch betrachtet führt eine unveränderte Bestellpraxis, also ohne Anwendung der in dieser Arbeit entwickelten Algorithmen (siehe unten), am Klinikum der LMU zu jährlich rund 6.500 fehlbestellten Konserven, welche damit in Summe 26.000 Tage unbenutzbar sind. Diese Konzentrate hängen damit – natürlich rein rechnerisch – rund 71 Jahre unnötigerweise (pro Jahr!) in der Warteschleife und können in dieser Zeit nicht ihrer eigentlichen Bestimmung – der Transfusion – zugeführt werden. Dieses Paradoxon verdeutlicht eindrucksvoll, wie wichtig es auch aufgrund ökonomischer Gesichtspunkte ist, die in dieser Arbeit entwickelten Algorithmen in die zukünftige präoperative Bestellpraxis für Blutkonserven aufzunehmen.

Abschließend setzt sich Kapitel 4.8 methodenkritisch mit den zur Anwendung gekommenen Methoden auseinander.

In der vorliegenden Arbeit konnten nun operationsbezogene Algorithmen entwickelt werden, welche auf Basis von patientenspezifischen prädiktiven Parametern den zu erwartenden EK-Einsatz individuell und genau vorhersagen. Folgendes exemplarisches Beispiel verdeutlicht die Patientenspezifität des vorgelegten Konzepts und dessen Implikationen für ein auf den tatsächlichen Bedarf ausgerichtetes Bestellwesen: Es wurden zwei Patienten mit unterschiedlichen Ausgangsbedingungen ausgewählt, die sich einer Lebertransplantation unterziehen mussten. Die Regressionsanalyse zeigte, dass der Ausgang-Hämoglobinwert, die ASA-Risikoklassifikation und die Dringlichkeit Einfluss auf den Transfusionsbedarf bei Operationen dieser Art nehmen (Kapitel 3.2.4.2):

$$\lambda = \exp \left(4,121 - 0,182 * \text{HbWert} - \begin{cases} 0,402 \text{ (ASA 3)} \\ 0 \text{ (ASA 4)} \end{cases} + \begin{cases} 1,068 \text{ (Geplante OP)} \\ -0,509 \text{ (Ungeplante OP)} \\ 0 \text{ (Notfallmäßige OP)} \end{cases} \right)$$

Tabelle 207 illustriert, dass bei Anwendung des Algorithmus auf die spezifischen Patientendaten die errechnete geschätzte Anzahl an EKs relativ genau vorherzusehen ist und deutlich von der tatsächlich angeforderten Menge abweicht. Letztere orientierte sich bisher in erster Linie an den in den Transfusionskatalogen angegebenen Richtwerten. Die Patientenspezifität spielte in der bisherigen Bestellpraxis keine Rolle, woraus letztlich in der Gesamtschau die hohe Anzahl von Fehlbestellungen resultierte.

Tabelle 207: Beispiel für die Patientenspezifität des Algorithmus

Leber-Tx	Geschlecht	Alter [Jahre]	Hb [mg/dl]	ASA	Dringlichkeit	Anforderung [N]	Verbrauch [N]	Algorithmus [N]
Patient A	w	67	14,6	3	2	12	1	1,738
Patient B	m	58	8,6	4	2	12	7	7,743

Bei Patient A sind laut Transfusionskatalog routinemäßig 12 EKs bestellt worden, obwohl anhand der individuellen Variablen Hb, ASA, und Dringlichkeit entsprechend dem Algorithmus lediglich 2 EKs hätten bestellt werden müssen. Bei Patient B zeigt sich ein ähnliches Bild, hier hätten anhand des Algorithmus anstelle der laut Transfusionskatalog 12 EKs lediglich 8 EKs bestellt werden müssen. In beiden Fällen wäre dieser Bestellumfang ausreichend gewesen, denn bei Patient A wurde insgesamt nur ein EK, bei Patient B insgesamt 7 EKs verbraucht. Die praktische Relevanz der Ergebnisse dieser Arbeit spiegelt sich auch in deren Anwendungsbezogenheit wider. So ist geplant, die dargestellten Algorithmen in das elektronische Prämedikationstool der Klinik für Anaesthesiologie der Universität München zu implementieren, um so die entsprechenden klinischen Versorgungsstrukturen adaptieren zu können. Grundlage hierfür ist die sog. „Generalgleichung“,

welche den kalkulierten Verbrauch mit den in die Analyse eingehenden Faktoren (Alter, die Körperoberfläche, das Geschlecht, der Ausgangs-Hämoglobinwert, die ASA-Risikoklassifikation und die Dringlichkeitsstufe einer Operation) darstellt:

$$\lambda = \exp[\beta_0 + \beta_1(\text{Geschlecht}) + \beta_2 * \text{Alter} + \beta_3 * \text{HbWert} + \beta_4 * \text{KÖF} + \beta_5(\text{ASA}) + \beta_6(\text{Dringlichkeit})]$$

Für die unterschiedlichen operativen Prozeduren wurden in der vorliegenden Arbeit die jeweils hierfür spezifischen Konstanten β_0 und Regressionskoeffizienten β_i quantifiziert, sowie die auf den Transfusionsbedarf Einfluss nehmenden Faktoren (siehe oben) identifiziert und gewichtet. Die gewichteten Faktoren für alle untersuchten OPS-Codes werden im Folgenden in Tabelle 208 zusammengefasst:

Tabelle 208: Darstellung aller gewichteten Konstanten, welche für die jeweiligen Prozeduren in die „Generalformel“ eingehen

Operation	β_0	β_i												
	Konstante	Mann	Frau	Alter	Hb	KÖF	ASA 1	ASA 2	ASA 3	ASA 4	ASA 5	Dringl. 1	Dringl. 2	Dringl. 3
Radikale Zystektomie	0,584	-	-	0,031	-0,272	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tumornephrektomie	1,645	1,267	0,000	0,032	-0,463	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hüft-TEP	8,146	-	-	-	-0,545	-	-	-	-	-	-	-2,840	-3,482	0,000
Hüft-TEP-Wechsel	0,782	-	-	-	-0,398	1,121	-	-	-	-	-	1,499	0,537	0,000
Knie-TEP-Wechsel	6,236	-	-	-0,039	-0,375	-	-	0,161	-1,165	0,000	-	-	-	-
Leber-Tx	4,121	-	-	-	-0,182	-	-	-	-0,402	0,000	-	1,068	-0,509	0,000
Leberresektion	3,662	-	-	-	-0,307	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tiefe anteriore Rektumresektion	20,300	-	-	-0,072	-1,122	-	-	-	-4,374	0,000	-	-	-	-
Hemikolektomie	2,331	-	-	0,030	-0,534	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lobektomie	0,916	-	-	-	-	-	-	-3,114	-2,565	0,000	-	-	-	-
Lungen-Tx	5,077	-	-	-0,028	-0,182	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Thorakoskopie	8,276	-	-	-	-0,953	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Femoraler Bypass	1,588	-	-	0,096	-0,908	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eingriffe an der abdominalen Aorta	4,155	-	-	-	-0,378	0,531	-	-	-0,813	0,268	0,000	0,275	1,347	0,000
BAA-Y-Stentgraft/TAA-Stentgraft	21,820	-	-	-0,106	-0,226	-5,144	-	-	-	-	-	-3,226	-2,258	0,000
Thrombektomie (geplant)	5,258	-	-	-	-0,538	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Thrombektomie (ungeplant) ¹⁾	4,071	-26,000	0,000	-	-0,454	-	-	-	-1,866	0,000	-	-	-	-
TAAA	0,560	-	-	-	-	-	-	-	-0,878	0,709	0,000	-	-	-
Majoramputation	5,858	-	-	-0,045	-0,611	1,770	-	-1,310	-1,213	0,000	-	-	-	-
Kraniotomie	5,627	-	-	-	-0,486	-	-1,454	-2,472	-2,412	-1,341	0,000	-	-	-
Bandscheibenvorfall	6,631	-	-	-	-0,711	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wirbelsäulenstabilisierung	3,225	-	-	-	-0,320	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ACB	6,518	-0,273	0,000	-	-0,352	-	-	-1,273	-1,521	-1,610	0,000	-	-	-
AKE/MKE (nicht voroperiert)	4,237	-	-	-	-0,307	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AKE/MKE (Re-OP)	3,808	-	-	-	-0,212	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aorta Ascendens-Ersatz	3,708	-	-	-	-0,256	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aorta Ascendens-Bogen-Ersatz	6,299	-	-	-	-0,336	-	-	-	-2,060	-2,144	0,000	1,305	1,791	0,000
Herz-Tx	3,274	-	-	-	-0,202	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Herzkatheter (alle übrigen)	0,510	-	-	-	-	-0,915	-	-	-1,519	0,000	-	-	-	-

¹⁾ Neben den angegebenen Prädiktoren konnten bei ungeplanten Thrombektomien auch für die Kombination aus Geschlecht und Körperoberfläche signifikante Ergebnisse ermittelt werden (vgl. Kapitel 3.2.6.4).

Die mit vorliegender Arbeit entwickelten Algorithmen sind eine hervorragende Basis dafür, dass am Klinikum der LMU die präoperative Bestellpraxis für Erythrozytenkonzentrate weit ökonomischer, bedarfsgerechter und auch sicherer (weniger lagerungsbedingte Komplikationen) gestaltet werden kann. Selbstverständlich erfordern die ständigen Ver-

änderungen der klinischen Rahmenbedingungen regelmäßige Revalidierungen und gegebenenfalls weitere Adjustierungen und Präzisierungen des Modells bzw. der Algorithmen. Dies sind wichtige Inhalte zukünftiger Forschungsvorhaben.

6. Literaturverzeichnis

Abraham I, Sun D. The cost of blood transfusion in Western Europe as estimated from six studies. *Transfusion*. 2012 Sep;52(9):1983-8.

Abu-Ghanem Y, Dotan Z, Kaver I, Ramon J. Predictive factors for perioperative blood transfusions in partial nephrectomy for renal masses. *J Surg Oncol*. 2015 Oct;112(5):496-502

Ahmed I, Chan JK, Jenkins P, Brenkel I, Walmsley P. Estimating the transfusion risk following total knee arthroplasty. *Orthopedics*. 2012 Oct;35(10):e1465-71.

American Society of Anesthesiologists Task Force on Perioperative Blood Management. Practice guidelines for perioperative blood management: an updated report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Perioperative Blood Management. *Anesthesiology*. 2015 Feb;122(2):241-75.

Arzneimittelgesetz (AMG): https://www.gesetze-im-internet.de/amg_1976/BJNR024480976.html

Basran S, Frumento RJ, Cohen A, Lee S, Du Y, Nishanian E, Kaplan HS, Stafford-Smith M, Bennett-Guerrero E. The association between duration of storage of transfused red blood cells and morbidity and mortality after reoperative cardiac surgery. *Anesth Analg*. 2006 Jul;103(1):15-20.

Bauer AW. Von der Blutübertragung zur Hämotherapie - Das Jubiläum der DGTI in medizinhistorischer und bioethischer Perspektive. *Transfus Med Hemother*. 2004;31:414-419

Beauchamp TL, Childress, JF. Principles of biomedical ethics, 2009 [1977], 6th ed., New York: Oxford University Press.

Bennett-Guerrero E, Veldman TH, Doctor A, Telen MJ, Ortel TL, Reid TS, Mulherin MA, Zhu H, Buck RD, Califf RM, McMahon TJ. Evolution of adverse changes in stored RBCs. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2007 Oct 23;104(43):17063-8.

Bibel, Luther; 1912: http://www.gasl.org/refbib/Bibel_Luther_1912.pdf

Bilfinger TV, Conti VR. Blood conservation in coronary artery bypass surgery: prediction with assistance of a computer model. *Thorac Cardiovasc Surg*. 1989 Dec;37(6):365-8.

Blumberg N. Allogeneic transfusion and infection: economic and clinical implications. *Semin Hematol*. 1997 Jul;34(3 Suppl 2):34-40.

Bruce W, Campbell D, Daly D, Isbister J. Practical recommendations for patient blood management and the reduction of perioperative transfusion in joint replacement surgery. *ANZ J Surg*. 2013 Apr;83(4):222-9.

Bundesärztekammer: Patientenrechtegesetz: http://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/downloads/Patientenrechtegesetz_BGBI.pdf

Bundesministerium für Bildung und Forschung, Aktionsplan „Individualisierte Medizin: Ein neuer Weg in Forschung und Gesundheitsversorgung“, 2013: https://www.bmbf.de/pub/BMBF_Aktionsplan_IndiMed.pdf

Bundesministerium für Gesundheit: Demographischer Wandel: <http://www.bmg.bund.de/themen/krankenversicherung/herausforderungen/demografischer-wandel.html>

Bundestag: Grundgesetz: <https://www.bundestag.de/grundgesetz>

Carson JL, Grossman BJ, Kleinman S, Tinmouth AT, Marques MB, Fung MK, Holcomb JB, Illoh O, Kaplan LJ, Katz LM, Rao SV, Roback JD, Shander A, Tobian AA, Weinstein R, Swinton McLaughlin LG, Djulbegovic B; Clinical Transfusion Medicine Committee of the AABB. Red blood cell transfusion: a clinical practice guideline from the AABB. *Ann Intern Med.* 2012 Jul 3;157(1):49-58.

Chand NK, Subramanya HB, Rao GV. Management of patients who refuse blood transfusion. *Indian J Anaesth.* 2014 Sep;58(5):658-64.

Chen JW, Hsu RB. Impact of surgeon experience on the rate of blood transfusion in off-pump coronary artery bypass. *J Formos Med Assoc.* 2016 Mar;115(3):145-51.

Cobain TJ, Vamvakas EC, Wells A, Titlestad K. A survey of the demographics of blood use. *Transfus Med.* 2007 Feb;17(1):1-15.

Cosgrove DM, Loop FD, Lytle BW, Gill CC, Golding LR, Taylor PC, Forsythe SB. Determinants of blood utilization during myocardial revascularization. *Ann Thorac Surg.* 1985 Oct;40(4):380-4.

D'Almeida MS, Jagger J, Duggan M, White M, Ellis C, Chin-Yee IH. A comparison of biochemical and functional alterations of rat and human erythrocytes stored in CPDA-1 for 29 days: implications for animal models of transfusion. *Transfus Med.* 2000 Dec;10(4):291-303.

Desai SJ, Wood KS, Marsh J, Bryant D, Abdo H, Lawendy AR, Sanders DW. Factors affecting transfusion requirement after hip fracture: can we reduce the need for blood? *Can J Surg.* 2014 Oct;57(5):342-8.

Dillon MF, Collins D, Rice J, Murphy PG, Nicholson P, Mac Elwaine J. Preoperative characteristics identify patients with hip fractures at risk of transfusion. *Clin Orthop Relat Res.* 2005 Oct;439:201-6.

Dodd RY, Notari EP 4th, Stramer SL. Current prevalence and incidence of infectious disease markers and estimated window-period risk in the American Red Cross blood donor population. *Transfusion.* 2002 Aug;42(8):975-9.

Frank SM, Abazyar B, Ono M, Hogue CW, Cohen DB, Berkowitz DE, Ness PM, Barodka VM. Decreased erythrocyte deformability after transfusion and the effects of erythrocyte storage duration. *Anesth Analg*. 2013 May;116(5):975-81

Frank SM, Rothschild JA, Masear CG, Rivers RJ, Merritt WT, Savage WJ, Ness PM. Optimizing preoperative blood ordering with data acquired from an anesthesia information management system. *Anesthesiology*. 2013 Jun;118(6):1286-97.

Frank SM, Savage WJ, Rothschild JA, Rivers RJ, Ness PM, Paul SL, Ulatowski JA. Variability in blood and blood component utilization as assessed by an anesthesia information management system. *Anesthesiology*. 2012 Jul;117(1):99-106.

Friedman BA, Oberman HA, Chadwick AR, Kingdon KI. The maximum surgical blood order schedule and surgical blood use in the United States. *Transfusion*. 1976 Jul-Aug;16(4):380-7.

Geißler RG, Franz D, Buddendick H, Krakowitzky P, Bunzemeier H, Roeder N, Van Aken H, Kessler T, Berdel W, Sibrowski W, Schlenke P. Retrospective Analysis of the Blood Component Utilization in a University Hospital of Maximum Medical Care. *Transfus Med Hemother*. 2012 Apr;39(2):129-138.

Gesundheitsberichterstattung des Bundes, Deutschland: Krankheiten/Gesundheitsprobleme:
http://www.gbe-bund.de/gbe10/abrechnung.prc_abr_test_logon?p_uid=gast&p_aid=52166675&p_sprache=D&p_knoten=TR8500

Gombotz H, Hofmann A. Patient Blood Management : three pillar strategy to improve outcome through avoidance of allogeneic blood products. *Anaesthetist*. 2013 Jul;62(7):519-27.

Gombotz H. Patient Blood Management: A Patient-Orientated Approach to Blood Replacement with the Goal of Reducing Anemia, Blood Loss and the Need for Blood Transfusion in Elective Surgery. *Transfus Med Hemother*. 2012 Apr;39(2):67-72.

Goodnough LT, Levy JH, Murphy MF. Concepts of blood transfusion in adults. *Lancet*. 2013 May 25;381(9880):1845-54.

Goodnough LT, Soegiarso RW, Birkmeyer JD, Welch HG. Economic impact of inappropriate blood transfusions in coronary artery bypass graft surgery. *Am J Med*. 1993 May;94(5):509-14.

Goodnough LT. Risks of blood transfusion. *Crit Care Med*. 2003 Dec;31(12 Suppl):S678-86.

Greenburg AG. Benefits and risks of blood transfusion in surgical patients. *World J Surg*. 1996 Nov-Dec;20(9):1189-93.

Greinacher A, Fendrich K, Hoffmann W. Demographic Changes: The Impact for Safe Blood Supply. *Transfus Med Hemother*. 2010 Jun;37(3):141-148.

Habler O, Voss B. Perioperative management of Jehovah's Witness patients. Special consideration of religiously motivated refusal of allogeneic blood transfusion. *Anaesthetist*. 2010 Apr;59(4):297-311.

Hébert PC, Wells G, Blajchman MA, Marshall J, Martin C, Pagliarello G, Tweeddale M, Schweitzer I, Yetisir E. A multicenter, randomized, controlled clinical trial of transfusion requirements in critical care. Transfusion Requirements in Critical Care Investigators, Canadian Critical Care Trials Group. *N Engl J Med*. 1999 Feb 11;340(6):409-17.

Hébert PC, Wells G, Martin C, Tweeddale M, Marshall J, Blajchman M, Pagliarello G, Sandham D, Schweitzer I I, Boisvert D, Calder L. Variation in red cell transfusion practice in the intensive care unit: a multicentre cohort study. *Crit Care*. 1999;3(2):57-63.

Hovav T, Yedgar S, Manny N, Barshtein G. Alteration of red cell aggregability and shape during blood storage. *Transfusion*. 1999 Mar;39(3):277-81.

DRK Kliniken Berlin: Leitlinie Bluttransfusion bei Zeugen Jehovas: http://www.drk-kliniken-berlin.de/uploads/media/leitlinie_bluttransfusion_zeugen_jehovas_2013.pdf

Institut für Statistik, Ludwig-Maximilian-Universität München: Einführung in die Poisson-Regression: http://www.statistik.lmu.de/stablab/seminar_geo0910/Dokumente/seminar09/Oelker_Ha.pdf

Jacob M, Chappell D, Conzen P, Finsterer U, Rehm M. Blood volume is normal after preoperative overnight fasting. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2008 Apr;52(4):522-9.

Jones JW, McCullough LB, Richman BW. Painted into a corner: unexpected complications in treating a Jehovah's Witness. *J Vasc Surg*. 2006 Aug;44(2):425-8.

Karkouti K, Cohen MM, McCluskey SA, Sher GD. A multivariable model for predicting the need for blood transfusion in patients undergoing first-time elective coronary bypass graft surgery. *Transfusion*. 2001 Oct;41(10):1193-203.

Klein HG. Immunomodulatory aspects of transfusion: a once and future risk? *Anesthesiology*. 1999 Sep;91(3):861-5.

Kleinman S, Chan P, Robillard P. Risks associated with transfusion of cellular blood components in Canada. *Transfus Med Rev*. 2003 Apr;17(2):120-62.

Koch CG, Li L, Sessler DI, Figueroa P, Hoeltge GA, Mihaljevic T, Blackstone EH. Duration of red-cell storage and complications after cardiac surgery. *N Engl J Med*. 2008 Mar 20;358(12):1229-39.

Kulturgeschichte der Medizin: Geschichte der Transfusion: http://www.medicine-history.de/files/geschichte_der_transfusion.pdf

Lawson T, Ralph C. Perioperative Jehovah's Witnesses: a review. *Br J Anaesth*. 2015 Nov;115(5):676-87

- Leal-Noval SR, Jara-López I, García-Garmendia JL, Marín-Niebla A, Herruzo-Avilés A, Camacho-Laraña P, Loscertales J. Influence of erythrocyte concentrate storage time on postsurgical morbidity in cardiac surgery patients. *Anesthesiology*. 2003 Apr;98(4):815-22.
- Levy MM, Abraham E, Zilberberg M, MacIntyre NR. A descriptive evaluation of transfusion practices in patients receiving mechanical ventilation. *Chest*. 2005 Mar;127(3):928-35.
- Madjdpour C, Marcucci C, Tissot JD, Spahn DR. Perioperative blood transfusions. Value, risks, and guidelines. *Anaesthetist*. 2005 Jan;54(1):67-80; quiz 81-2.
- Magovern JA, Sakert T, Benckart DH, Burkholder JA, Liebler GA, Magovern GJ Sr, Magovern GJ Jr. A model for predicting transfusion after coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg*. 1996 Jan;61(1):27-32.
- Marcucci C, Madjdpour C, Spahn DR. Allogeneic blood transfusions: benefit, risks and clinical indications in countries with a low or high human development index. *Br Med Bull*. 2004 Aug 31;70:15-28.
- McDonald MB1, McMillan J. Predicting blood usage in cardiac surgery--the transfusion predictor product. *J Extra Corpor Technol*. 2005 Jun;37(2):157-60.
- Müller MM, Geisen C, Zacharowski K, Tonn T, Seifried E. Transfusion of Packed Red Cells: Indications, Triggers and Adverse Events. *Dtsch Arztebl Int*. 2015 Jul 20;112(29-30):507-17; quiz 518.
- Murphy GJ, Reeves BC, Rogers CA, Rizvi SI, Culliford L, Angelini GD. Increased mortality, postoperative morbidity, and cost after red blood cell transfusion in patients having cardiac surgery. *Circulation*. 2007 Nov 27;116(22):2544-52.
- Offner PJ, Moore EE, Biffl WL, Johnson JL, Silliman CC. Increased rate of infection associated with transfusion of old blood after severe injury. *Arch Surg*. 2002 Jun;137(6):711-6; discussion 716-7.
- Oliver JC, Griffin RL, Hannon T, Marques MB. The success of our patient blood management program depended on an institution-wide change in transfusion practices. *Transfusion*. 2014 Oct;54(10 Pt 2):2617-24.
- Orth VH, Rehm M, Thiel M, Kreimeier U, Haller M, Brechtelsbauer H, Finsterer U. First clinical implications of perioperative red cell volume measurement with a nonradioactive marker (sodium fluorescein). *Anesth Analg*. 1998 Dec;87(6):1234-8.
- Palmer T, Wahr JA, O'Reilly M, Greenfield ML. Reducing unnecessary cross-matching: a patient-specific blood ordering system is more accurate in predicting who will receive a blood transfusion than the maximum blood ordering system. *Anesth Analg*. 2003 Feb;96(2):369-75

Participants of the *Cost of Blood Consensus Conference*, Charleston, SC, May 4-5, 2003. The cost of blood: multidisciplinary consensus conference for a standard methodology. *Transfus Med Rev.* 2005 Jan;19(1):66-78.

Pearson TC, Guthrie DL, Simpson J, Chinn S, Barosi G, Ferrant A, Lewis SM, Najean Y. 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 Apr;89(4):748-56.

Purdy FR, Tweeddale MG, Merrick PM. Association of mortality with age of blood transfused in septic ICU patients. *Can J Anaesth.* 1997 Dec;44(12):1256-61.

Querschnitts-Leitlinien (BÄK) zur Therapie mit Blutkomponenten und Plasmaderivaten, 2014: http://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/downloads/QLL_Haemotherapie_2014.pdf

Rajtar M. Bioethics and religious bodies: refusal of blood transfusions in Germany. *Soc Sci Med.* 2013 Dec;98:271-7.

Richtlinien zur Gewinnung von Blut und Blutbestandteilen und zur Anwendung von Blutprodukten (Hämotherapie), 2010: http://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/downloads/RiliHaemotherapie2010.pdf

Riedl R, Engels EA, Warren JL, Berghold A, Ricker W, Pfeiffer RM. Blood transfusions and the subsequent risk of cancers in the United States elderly. *Transfusion.* 2013 Oct;53(10):2198-206.

Schreiber GB, Busch MP, Kleinman SH, Korelitz JJ. The risk of transfusion-transmitted viral infections. The Retrovirus Epidemiology Donor Study. *N Engl J Med.* 1996 Jun 27;334(26):1685-90.

Sehgal LR, Zebala LP, Takagi I, Curran RD, Votapka TV, Caprini JA. Evaluation of oxygen extraction ratio as a physiologic transfusion trigger in coronary artery bypass graft surgery patients. *Transfusion.* 2001 May;41(5):591-5.

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 Jun;21(2):271-89.

Shander A, Hofmann A, Ozawa S, Theusinger OM, Gombotz H, Spahn DR. Activity-based costs of blood transfusions in surgical patients at four hospitals. *Transfusion.* 2010 Apr;50(4):753-65.

Shander A, Van Aken H, Colomina MJ, Gombotz H, Hofmann A, Krauspe R, Lasocki S, Richards T, Slappendel R, Spahn DR. Patient blood management in Europe. *Br J Anaesth.* 2012 Jul;109(1):55-68.

Statistisches Bundesamt, Deutschland: Bevölkerung: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerung.html>

Thompson PA, May D, Choong PF, Tacey M, Liew D, Cole-Sinclair MF. Predicting blood loss and transfusion requirement in patients undergoing surgery for musculoskeletal tumors. *Transfusion*. 2014 Jun;54(6):1469-77.

Tinmouth A, Fergusson D, Yee IC, Hébert PC; ABLE Investigators; Canadian Critical Care Trials Group. Clinical consequences of red cell storage in the critically ill. *Transfusion*. 2006 Nov;46(11):2014-27.

Transfusionsgesetz (TFG): <http://www.gesetze-im-internet.de/tfg/>

Transfusionsmedizinische Dienstanweisung des Klinikums der Universität München Campus Großhadern und Innenstadt für den Umgang mit und die Lagerung und Verabreichung von Blut und Blutprodukten sowie Plasmapräparaten, 2014: http://www.klinikum.uni-muenchen.de/Klinik-fuer-Anaesthesiologie/Transfusionsmedizin-Zelltherapeutika-und-Haemostaseologie/download/inhalt/de/Immunhaematologie/TrmDA-05_2014.pdf

Vamvakas EC, Carven JH. Transfusion and postoperative pneumonia in coronary artery bypass graft surgery: effect of the length of storage of transfused red cells. *Transfusion*. 1999 Jul;39(7):701-10.

Vamvakas EC. Transfusion-associated cancer recurrence and postoperative infection: meta-analysis of randomized, controlled clinical trials. *Transfusion*. 1996 Feb;36(2):175-86.

Weiser TG, Regenbogen SE, Thompson KD, Haynes AB, Lipsitz SR, Berry WR, Gawande AA. An estimation of the global volume of surgery: a modelling strategy based on available data. *Lancet*. 2008 Jul 12;372(9633):139-44.

Wiebecke D, Fischer K, Keil G, Leibling R, Reissigl H, Stangel W. Zur Geschichte der Transfusionsmedizin in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts (unter besonderer Berücksichtigung ihrer Entwicklung in Deutschland). *Transfus Med Hemother*. 2004;31(suppl 2):12-31

Zallen G, Offner PJ, Moore EE, Blackwell J, Ciesla DJ, Gabriel J, Denny C, Silliman CC. Age of transfused blood is an independent risk factor for postinjury multiple organ failure. *Am J Surg*. 1999 Dec;178(6):570-2.

Zeugen Jehovas: <https://www.jw.org/de/jehovas-zeugen/haeufig-gestellte-fragen/gruender/>

7. Anhang

7.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Systematik des OPS	13
Tabelle 2: Beispiel OPS-Code	13
Tabelle 3: Operationen ohne Transfusionsbedarf	27
Tabelle 4: Operationen mit einem Transfusionsbedarf <5% oder kleinem Patientenkollektiv	28

Radikale Zystektomie

Tabelle 5: Soziodemographie.....	29
Tabelle 6: Hb und KÖF.....	29
Tabelle 7: ASA und Dringlichkeit	29
Tabelle 8: Poisson-Regression	30
Tabelle 9: Anforderung und Verbrauch von EKs	30
Tabelle 10: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	31

Tumornephrektomie/Nephroureterektomie

Tabelle 11: Soziodemographie.....	32
Tabelle 12: Hb und KÖF.....	32
Tabelle 13: ASA und Dringlichkeit	32
Tabelle 14: Poisson-Regression	33
Tabelle 15: Anforderung und Verbrauch von EKs	33
Tabelle 16: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	34

Hüft-TEP

Tabelle 17: Soziodemographie.....	34
Tabelle 18: Hb und KÖF.....	35
Tabelle 19: ASA und Dringlichkeit	35
Tabelle 20: Poisson-Regression	35
Tabelle 21: Anforderung und Verbrauch von EKs	36
Tabelle 22: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	36

Hüft-TEP-Wechsel

Tabelle 23: Soziodemographie.....	37
Tabelle 24: Hb und KÖF.....	37
Tabelle 25: ASA und Dringlichkeit	37

Tabelle 26: Modelleffekte	37
Tabelle 27: Poisson-Regression	38
Tabelle 28: Anforderung und Verbrauch von EKs	38
Tabelle 29: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	39
Knie-TEP-Wechsel	
Tabelle 30: Soziodemographie.....	39
Tabelle 31: Hb und KÖF.....	39
Tabelle 32: ASA und Dringlichkeit	39
Tabelle 33: Tests der Modelleffekte	40
Tabelle 34: Poisson-Regression	40
Tabelle 35: Anforderung und Verbrauch von EKs	41
Tabelle 36: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	41
Ösophagektomie	
Tabelle 37: Soziodemographie.....	42
Tabelle 38: Hb und KÖF.....	42
Tabelle 39: ASA und Dringlichkeit	42
Tabelle 40: Poisson-Regression	43
Tabelle 41: Anforderung und Verbrauch von EKs	43
Lebertransplantation	
Tabelle 42: Soziodemographie.....	44
Tabelle 43: Hb und KÖF.....	44
Tabelle 44: ASA und Dringlichkeit	44
Tabelle 45: Poisson-Regression	45
Tabelle 46: Vergleich Anforderung und Verbrauch von EKs	45
Tabelle 47: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	46
Leberresektion	
Tabelle 48: Soziodemographie.....	46
Tabelle 49: Hb und KÖF.....	46
Tabelle 50: ASA und Dringlichkeit	46
Tabelle 51: Poisson-Regression	47
Tabelle 52: Anforderung und Verbrauch von EKs	48
Tabelle 53: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	48

Tiefe anteriore Rektumresektion

Tabelle 54: Soziodemographie.....	49
Tabelle 55: Hb und KÖF.....	49
Tabelle 56: ASA und Dringlichkeit	49
Tabelle 57: Poisson-Regression	50
Tabelle 58: Anforderung und Verbrauch von EKs	50
Tabelle 59: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	51

Abdominoperineale Rektumexstirpation

Tabelle 60: Soziodemographie.....	51
Tabelle 61: Hb und KÖF.....	51
Tabelle 62: ASA und Dringlichkeit	51
Tabelle 63: Poisson-Regression	52
Tabelle 64: Anforderung und Verbrauch von EKs	52

Hemikolektomie/Hartmann-Wiederanschluss

Tabelle 65: Soziodemographie.....	53
Tabelle 66: Hb und KÖF.....	53
Tabelle 67: ASA und Dringlichkeit	53
Tabelle 68: Poisson-Regression	54
Tabelle 69: Anforderung und Verbrauch von EKs	54
Tabelle 70: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	54

Offene Lobektomie/Bilobektomie/Pneumonektomie

Tabelle 71: Soziodemographie.....	55
Tabelle 72: Hb und KÖF.....	55
Tabelle 73: ASA und Dringlichkeit	55
Tabelle 74: Poisson-Regression	56
Tabelle 75: Anforderung und Verbrauch von EKs	56
Tabelle 76: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	57

Lungentransplantation

Tabelle 77: Soziodemographie.....	57
Tabelle 78: Hb und KÖF.....	57
Tabelle 79: ASA und Dringlichkeit	58
Tabelle 80: Poisson-Regression	58
Tabelle 81: Anforderung und Verbrauch von EKs	58

Tabelle 82: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	59
Thorakoskopie	
Tabelle 83: Soziodemographie.....	59
Tabelle 84: Hb und KÖF.....	59
Tabelle 85: ASA und Dringlichkeit	59
Tabelle 86: Poisson-Regression	60
Tabelle 87: Anforderung und Verbrauch von EKs	60
Tabelle 88: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	61
Femoro-poplitealer, Femoro-cruraler und Femoro-femorale Bypass	
Tabelle 89: Soziodemographie.....	61
Tabelle 90: Hb und KÖF.....	62
Tabelle 91: ASA und Dringlichkeit	62
Tabelle 92: Poisson-Regression	62
Tabelle 93: Anforderung und Verbrauch von EKs	63
Tabelle 94: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	63
Offene Eingriffe an der abdominalen Aorta	
Tabelle 95: Soziodemographie.....	64
Tabelle 96: Hb und KÖF.....	64
Tabelle 97: ASA und Dringlichkeit	64
Tabelle 98: Tests der Modelleffekte.....	64
Tabelle 99: Poisson-Regression	65
Tabelle 100: Anforderung und Verbrauch von EKs	65
Tabelle 101: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	66
BAA-Y-Stentgraft/TAA-Stentgraft	
Tabelle 102: Soziodemographie.....	66
Tabelle 103: Hb und KÖF.....	66
Tabelle 104: ASA und Dringlichkeit	67
Tabelle 105: Poisson-Regression	67
Tabelle 106: Anforderung und Verbrauch von EKs	68
Tabelle 107: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	68
Thrombektomie	
Tabelle 108: Soziodemographie.....	69
Tabelle 109: Hb und KÖF.....	69

Tabelle 110: ASA und Dringlichkeit	69
Tabelle 111: Poisson-Regression für geplante Operationen	69
Tabelle 112: Poisson-Regression für ungeplante Operationen	70
Tabelle 113: Anforderung und Verbrauch von EKs	70
Tabelle 114: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression für geplante Operationen	71
Tabelle 115: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression für ungeplante Operationen	71
Thorakoabdominales Aortenaneurysma (TAAA)	
Tabelle 116: Soziodemographie.....	71
Tabelle 117: Hb und KÖF.....	72
Tabelle 118: ASA und Dringlichkeit	72
Tabelle 119: Tests der Modelleffekte	72
Tabelle 120: Poisson-Regression	72
Tabelle 121: Anforderung und Verbrauch von EKs	73
Tabelle 122: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	73
Majoramputation	
Tabelle 123: Soziodemographie.....	74
Tabelle 124: Hb und KÖF.....	74
Tabelle 125: ASA und Dringlichkeit	74
Tabelle 126: Tests der Modelleffekte	74
Tabelle 127: Poisson-Regression	75
Tabelle 128: Anforderung und Verbrauch von EKs	75
Tabelle 129: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	76
Frakturen der Hals-, Brust- oder Lendenwirbelsäule	
Tabelle 130: Soziodemographie.....	77
Tabelle 131: Hb und KÖF.....	77
Tabelle 132: ASA und Dringlichkeit	77
Tabelle 133: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	78
Kraniotomie	
Tabelle 134: Soziodemographie.....	79
Tabelle 135: Hb und KÖF.....	79
Tabelle 136: ASA und Dringlichkeit	79

Tabelle 137: Tests der Modelleffekte	80
Tabelle 138: Poisson-Regression	80
Tabelle 139: Anforderung und Verbrauch von EKs	80
Tabelle 140: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	81
Bandscheibenvorfall	
Tabelle 141: Soziodemographie.....	81
Tabelle 142: Hb und KÖF.....	81
Tabelle 143: ASA und Dringlichkeit	82
Tabelle 144: Poisson-Regression	82
Tabelle 145: Anforderung und Verbrauch von EKs	82
Tabelle 146: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	83
Stabilisierung der Wirbelsäule	
Tabelle 147: Soziodemographie.....	83
Tabelle 148: Hb und KÖF.....	83
Tabelle 149: ASA und Dringlichkeit	84
Tabelle 150: Poisson-Regression	84
Tabelle 151: Anforderung und Verbrauch von EKs	85
Tabelle 152: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	85
Aorto-koronarer Bypass (ACB)	
Tabelle 153: Soziodemographie.....	86
Tabelle 154: Hb und KÖF.....	86
Tabelle 155: ASA und Dringlichkeit	86
Tabelle 156: Tests der Modelleffekte	87
Tabelle 157: Poisson-Regression	87
Tabelle 158: Anforderung und Verbrauch von EKs	88
Tabelle 159: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	88
Aortenklappenersatz (AKE)/Mitralklappenersatz (MKE) (nicht voroperiert)	
Tabelle 160: Soziodemographie.....	88
Tabelle 161: Hb und KÖF.....	89
Tabelle 162: ASA und Dringlichkeit	89
Tabelle 163: Poisson-Regression	89
Tabelle 164: Anforderung und Verbrauch von EKs	90
Tabelle 165: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	90

Aortenklappenersatz (AKE)/Mitralklappenersatz (MKE) (Re-OP)

Tabelle 166: Soziodemographie.....	90
Tabelle 167: Hb und KÖF.....	91
Tabelle 168: ASA und Dringlichkeit	91
Tabelle 169: Poisson-Regression	91
Tabelle 170: Anforderung und Verbrauch von EKs	91
Tabelle 171: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	92

Aorta Ascendens-Ersatz

Tabelle 172: Soziodemographie.....	92
Tabelle 173: Hb und KÖF.....	92
Tabelle 174: ASA und Dringlichkeit	93
Tabelle 175: Poisson-Regression	93
Tabelle 176: Anforderung und Verbrauch von EKs	93
Tabelle 177: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	94

Aorta Ascendens-Bogenersatz

Tabelle 178: Soziodemographie.....	94
Tabelle 179: Hb und KÖF.....	94
Tabelle 180: ASA und Dringlichkeit	94
Tabelle 181: Tests der Modelleffekte	95
Tabelle 182: Poisson-Regression	95
Tabelle 183: Anforderung und Verbrauch von EKs	96
Tabelle 184: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	96

Herztransplantation

Tabelle 185: Soziodemographie.....	96
Tabelle 186: Hb und KÖF.....	97
Tabelle 187: ASA und Dringlichkeit	97
Tabelle 188: Poisson-Regression	97
Tabelle 189: Anforderung und Verbrauch von EKs	97
Tabelle 190: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	98

Herzkatheter interventionell (ASD-/PDA-Verschluss)

Tabelle 191: Soziodemographie.....	99
Tabelle 192: Hb und KÖF.....	99
Tabelle 193: ASA und Dringlichkeit	99

Tabelle 194: Tests der Modelleffekte	100
Tabelle 195: Anforderung und Verbrauch von EKs	100
Herzkatheter interventionell (alle übrigen)	
Tabelle 196: Soziodemographie.....	101
Tabelle 197: Hb und KÖF.....	101
Tabelle 198: ASA und Dringlichkeit	101
Tabelle 199: Poisson-Regression	101
Tabelle 200: Anforderung und Verbrauch von EKs	102
Tabelle 201: Vergleich Datensatz, Transfusionskatalog und Poisson-Regression	102
Tabelle 202: Eingriffe ohne Transfusionsbedarf gemäß Poisson-Regression	106
Tabelle 203: Eingriffe ohne Transfusionsbedarf gemäß deskriptiver Statistik.....	106
Tabelle 204: Eingriffe mit signifikant unterschiedlichem Transfusionsbedarf.....	107
Tabelle 205: Eingriffe ohne signifikant unterschiedlichem Transfusionsbedarf	107
Tabelle 206: Zeitaufwand für fehlbestellte EKs	125
Tabelle 207: Beispiel für die Patientenspezifität des Algorithmus	132
Tabelle 208: Darstellung aller gewichteten Konstanten, welche für die jeweiligen Prozeduren in die „Generalformel“ eingehen	133

7.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anzahl der Operationen ohne und mit Transfusionsbedarf	21
Abbildung 2: Histogramm für die Variable Alter ohne Transfusionsbedarf	22
Abbildung 3: Boxplot für die Variable Alter ohne und mit Transfusionsbedarf	22
Abbildung 4: Absolute Häufigkeiten für die Variable Geschlecht ohne und mit Transfusionsbedarf	23
Abbildung 5: Histogramm für die Variable Körperoberfläche ohne Transfusionsbedarf	23
Abbildung 6: Histogramm für die Variable Körperoberfläche mit Transfusionsbedarf.	23
Abbildung 7: Histogramm für die Variable Ausgangs-Hämoglobinwert ohne Transfusionsbedarf	24
Abbildung 8: Histogramm für die Variable Ausgangs-Hämoglobinwert mit Transfusionsbedarf	24
Abbildung 9: Absolute Häufigkeiten für die Variable ASA-Risikoklassifikation ohne und mit Transfusionsbedarf	25
Abbildung 10: Absolute Häufigkeiten für die Variable Dringlichkeit ohne und mit Transfusionsbedarf	26
Abbildung 11: Blutbedarf nach Disziplinen	104
Abbildung 12: Anforderungs-Transfusions-Verhältnis	105

7.3 Abkürzungsverzeichnis

ACB	Aorto-koronarer Bypass
AIC	Akaike Informationskriterium
AKE	Aortenklappenersatz
AMG	Arzneimittelgesetz
ARD	Arbeitsgemeinschaft der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten der Bundesrepublik Deutschland
ASA	American Society of Anaesthesiologists
ASD	Vorhofseptumdefekt
ASK	Arthroskopie
ATMZH	Abteilung für Transfusionsmedizin, Zelltherapeutika und Hämostaseologie, Klinikum der Universität München
BAA	Abdominelles Aortenaneurysma
BÄK	Bundesärztekammer
BLV	Bruchlückenverschluss
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BWS	Brustwirbelsäule
CI	Konfidenzintervall
DIMDI	Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information
EK	Erythrozytenkonzentrat
EPO	Erythropoetin
GSG	Gesundheitsstrukturgesetz
Hb	Hämoglobin
HBV	Hepatitis B Virus
HCV	Hepatitis C Virus
HIV	Humanes Immundefizienz-Virus
HLM	Herz-Lungen-Maschine
HWS	Halswirbelsäule
IPOM	Intraperitoneales Onlay-Mesh
KÖF	Körperoberfläche
Lap	laparoskopisch
LMU	Ludwig-Maximilians-Universität

LWS	Lendenwirbelsäule
MKE	Mitralklappenersatz
MSBOS	Maximal Surgical Blood Order Schedule
MW	Mittelwert
N	Anzahl
OP	Operation
OPS	Operationen- und Prozedurenschlüssel
PABD	Preoperative Autologous Blood Donation
PBM	Patient Blood Management
PDA	Persistierender Ductus Arteriosi
Rh	Rhesus
SD	Standardabweichung (standard deviation)
SE	Standardfehler (standard error)
Sig.	Signifikanz
TAA	Thorakales Aortenaneurysma
TAAA	Thorako-abdominales Aortenaneurysma
TEA	Thrombendarteriektomie
TEP	Totale Endoprothese
TFG	Transfusionsgesetz
TTP	Transfusionsprädiaktorprodukt
TUR-P	Transurethrale Resektion der Prostata
Tx	Transplantation
URS	Ureterorenoskopie
VP-Shunt	Ventriculo-peritonealer Shunt

7.4 Zuordnung von OPS-Codes zu den Eingriffen gemäß Transfusionskatalogen der ATMZH

7.4.1 Urologie

Urologie	OPS-Code	Beschreibung gemäß DIMDI	SPSS-Code
Radikale Prostatektomie (offen/Da Vinci)	5-604	Radikale Prostatovesikulektomie	1
Prostataadenomenukleation	5-603	Offen chirurgische Exzision und Destruktion von Prostatagewebe	2
Lymphadenektomie (offen/lap.)			
Radikale Zystektomie (Ileumconduit/Neoblase)	5-576 5-577 5-577.0	Zystektomie Ersatz der Harnblase Ersatz der Harnblase mit Ileum	3
Tumornephrektomie/ Nephroureterektomie	5-554 5-553 5-552	Nephrektomie Partielle Resektion der Niere Exzision und Destruktion von (erkranktem) Gewebe der Niere	4
Tumornephrektomie mit Cavazapfen (+HLM)	5-554	Nephrektomie	4
Nierenbeckenplastik Da Vinci	5-550	Perkutan-transrenale Nephrotomie, Nephrostomie, Steinentfernung und Pyeloplastik	5
Harnleiterreimplantation (offen)			
TUR-P	5-601	Transurethrale Exzision und Destruktion von Prostatagewebe	6
TUR-B	5-573	Transurethrale Destruktion und Resektion von Gewebe der Harnblase	7
URS	1-665	Diagnostische Ureterorenoskopie	8
Sachse Inkontinenz-OP's (Advance, Botox etc.)	5-59.	Harninkontinenzoperationen	9
Harnröhrenrekonstruktion	5-584	Rekonstruktion der Urethra	10
Phimose	5-64.	Operationen am Penis	11
Nesbit-OP's etc.	5-64.	Operationen am Penis	11

Bemerkung: Die den jeweiligen OPS-Codes zugeordnete SPSS-Kodierung dient der statistischen Analyse. Eingriffe im Transfusionskatalog, denen kein OPS-Code zugewiesen werden konnte, flossen nicht in die Auswertung ein.

7.4.2 Orthopädie

Orthopädie	OPS-Code	Beschreibung gemäß DIMDI	SPSS-Code
Knie-ASK	1-697.7	Diagnostische Arthroskopie Kniegelenk	12
Schulter-ASK	1-697.1	Diagnostische Arthroskopie Schultergelenk	13
Periphere Handeingriffe	5-840 5-841 5-842	Operationen an Sehnen der Hand Operationen an Bändern der Hand Operationen an Faszien der Hohlhand und der Finger	14
Periphere Fußeingriffe	5-788	Operationen an Metatarsale und Phalangen des Fußes	15
Hüft-TEP	5-820 5-820.0 5-820.4	Implantation einer Endoprothese am Hüftgelenk Implantation einer Endoprothese am Hüftgelenk: Totalendoprothese Implantation einer Endoprothese am Hüftgelenk: Duokopfprothese	16
Hüft-TEP Wechsel	5-821	Revision, Wechsel und Entfernung einer Endoprothese am Hüftgelenk	17
Knie-TEP	5-822 5-822.0 5-822.1	Implantation einer Endoprothese am Kniegelenk Implantation einer Endoprothese am Kniegelenk: Unikondyläre Schlittenprothese Implantation einer Endoprothese am Kniegelenk: Bikondyläre Schlittenprothese	18
Knie-TEP Wechsel	5-823	Revision und Wechsel eines Platzhalters am Kniegelenk	19
WS-Nucleotomie	5-831 5-831.0 5-831.1 5-831.2	Exzision von erkranktem Bandscheibengewebe Exzision einer Bandscheibe Entfernung eines freien Sequesters Exzision einer Bandscheibe mit Radikulodekompression	20
WS- alle größeren Eingriffe			
Metallentfernungen	5-787 5-787.0 5-787.1 5-787.3 5-787.6	Entfernung von Osteosynthesematerial Entfernung von Osteosynthesematerial: Draht Entfernung von Osteosynthesematerial: Schraube Entfernung von Osteosynthesematerial: Platte Entfernung von Osteosynthesematerial: Marknagel	21
Alle anderen kl. Eingriffe			
Alle Patienten mit Ausgangs-Hb <9mg/dl			

Bemerkung: Die den jeweiligen OPS-Codes zugeordnete SPSS-Kodierung dient der statistischen Analyse. Eingriffe im Transfusionskatalog, denen kein OPS-Code zugewiesen werden konnte, flossen nicht in die Auswertung ein.

7.4.3 Allgemeine, Viszeral-, Gefäß- und Thoraxchirurgie

Allgemeine, Viszeral-, Gefäß- und Thoraxchirurgie	OPS-Code	Beschreibung gemäß DIMDI	SPSS-Code
Onkologische Chirurgie			
Pankreasresektion	5-524	Partielle Resektion des Pankreas	22
Gastrektomie	5-437	(Totale) Gastrektomie	23
Ösophagektomie	5-42	Operation am Ösophagus	24
Kompartimentresektion abdominell			
Multiviszeralresektion im Becken	5.687	Exenteration des weiblichen kleinen Beckens	25
TX-HPB- Chirurgie			
Lebertransplantation	5-504	Lebertransplantation	26
Nierentransplantation	5-555	Nierentransplantation	27
Pankreastransplantation	5-555	Nierentransplantation	27
Leberresektion	5-501 5-502 5-502.2	Lokale Exzision von erkranktem Gewebe der Leber (atypische Leberresektion) Anatomische (typische) Leberresektion Hemihepatektomie rechts	28
Handplastische- Chirurgie			
Freie Lappenplastik			
Allgemeine, Minimalinvasive und Kolorektale Chirurgie			
Tiefe anteriore Rektumresektion	5-484 5-484.5	Rektumresektion unter Sphinktererhaltung Tiefe anteriore Rektumresektion	29
Abdominoperineale Rektumextirpation	5-48.	Operation am Rektum o.n.A.	30
Lap/offene Splenektomie			
Hemikolektomie re/li	5-455 5-455.4 5-455.7	Partielle Resektion des Dickdarmes Hemikolektomie rechts Sigmaresektion	31
BLV sublay			
Lap/offene Cholezystektomie	5-511.0 5-511.1	Cholezystektomie offen chirurgisch Cholezystektomie laparoskopisch	32
Lap/offene Leistenhernie	5-530	Verschluss einer Hernia inguinalis	33
Hartmann-Wiederanschluß	5-455	Partielle Resektion des Dickdarmes	31
Lap IPOM	5-536	Verschluss einer Narbenhernie	34
Endoskopische Divertikulostomie			
Lap. Fundoplikatio/ Hiatoplastik			
Lap. Sleeve Gastrektomie	5-434	Atypische partielle Magenresektion	35
Transanale Endoskop. Mikrochirurgie			
Posteriore Rektumresektion (STARR) Longo			
Lap. Adrenalektomie	5-072	Adrenalektomie	36
Thoraxchirurgie			
Offene Lobektomie/ Bilobektomie	5-324	Einfache Lobektomie und Bilobektomie der Lunge	37
Pneumonektomie	5-324	Einfache Lobektomie und Bilobektomie der Lunge	37
Thoraxwandresektion mit Plastischer Deckung	5-343.3	Exzision und Destruktion von (erkranktem) Gewebe der Brustwand	38
Transsternale Thymektomie bei Thymuskarzinom			
Offene atypische Resektion	5-322	Atypische Lungenresektion	39
Single-Lungentransplantation	5-335	Lungentransplantation	40
Doppel-Lungentransplantation	5-335	Lungentransplantation	40
Thorakoskopische atypische Resektion	1-691	Diagnostische Thorakoskopie und Mediastinoskopie	41
Thorakoskopische Thymektomie	1-691	Diagnostische Thorakoskopie und Mediastinoskopie	41
Thorakoskopische Pleurodese	1-691	Diagnostische Thorakoskopie und Mediastinoskopie	41
Thorakoskopische Lobektomie	1-691	Diagnostische Thorakoskopie und Mediastinoskopie	41

Allgemeine, Viszeral-, Gefäß- und Thoraxchirurgie	OPS-Code	Beschreibung gemäß DIMDI	SPSS-Code
Gefäßchirurgie			
Carotidesobliteration			
Fem-pop Bypass	5.393.5	Anlegen eines Bypasses an der A. femoralis (z. B. fem.-pop.)	42
Fem-crur Bypass	5.393.5	Anlegen eines Bypasses an der A. femoralis (z. B. fem.-pop.)	42
Fem-fem Cross Over Bypass	5.393.5	Anlegen eines Bypasses an der A. femoralis (z. B. fem.-pop.)	42
Eingriffe A.iliaca offen			
Eingriffe A. iliaca endovaskulär			
Eingriffe abdominelle Aorta Infrarenal offen	5-384	Resektion und Ersatz (Interposition) an der Aorta	43
Eingriffe abdominelle Aorta suprarenal offen	5-384	Resektion und Ersatz (Interposition) an der Aorta	43
BAA-Y-Stentgraft	5-38a.0	Endovaskuläre Implantation von Stent-Prothesen in die Aorta	44
Shuntanlagen	5-392 5-392.1	Anlegen eines arteriovenösen Shuntes Innere AV-Fistel (Cimino-Fistel)	45
Thrombektomie/ Revisionen	5-380 5-380.0 5-380.7	Embolektomie und Thrombektomie Inzision, Embolektomie und Thrombektomie von Blutgefäßen: Arterien Kopf, extrakraniell, und Hals Inzision, Embolektomie und Thrombektomie von Blutgefäßen: Arterien Oberschenkel	46
Femoralis TEA/ Profundplastik	5-381	Enderarteriektomie o.n.A.	47
TAA - Stentgraft	5-38a.0	Endovaskuläre Implantation von Stent-Prothesen in die Aorta	44
TAA offen mit HLM	5.384.0 5-384.1 5-384.2 5-384.3	Resektion und Ersatz an der Aorta ascendens Resektion und Ersatz an der Aorta ascendens mit Reimplantation der Koronararterien Resektion und Ersatz am Aortenbogen Resektion und Ersatz an der Aorta thoracica	48
TAAA offen mit HLM	5-384.8	Resektion und Ersatz an Aorta ascendens, Aortenbogen und Aorta descendens mit Hybridprothese	49
Varizeneingriffe	5-385.7	Crossektomie und Stripping	50
Minoramputationen	5-865 5-865.7	Amputation und Exartikulation Fuß Zehenamputation	51 51
Majoramputationen	5-864	Amputation und Exartikulation untere Extremität	52

Bemerkung: Die den jeweiligen OPS-Codes zugeordnete SPSS-Kodierung dient der statistischen Analyse. Eingriffe im Transfusionskatalog, denen kein OPS-Code zugewiesen werden konnte, flossen nicht in die Auswertung ein.

7.4.4 Unfallchirurgie

ATPH-Klinik	OPS-Code	Beschreibung gemäß DIMDI	SPSS-Code
Unfallchirurgie-Traumatologie			
Hüft- und Femurfrakturen	5-786	Osteosyntheseverfahren	53
	5-786.0	Osteosyntheseverfahren durch Schraube	
	5-786.1	Osteosyntheseverfahren durch Draht oder Zuggurtung/Cerclage	
	5-786.2	Osteosyntheseverfahren durch Platte	
	5-786.6	Osteosyntheseverfahren durch Marknagel	
	5-786.8	Osteosyntheseverfahren durch Fixateur externe	
	5-790	Geschlossene Reposition einer Fraktur oder Epiphysenlösung mit Osteosynthese	
	5-791	Offene Reposition einer einfachen Fraktur im Schaftbereich eines langen Röhrenknochens	
	5-793	Offene Reposition einer einfachen Fraktur im Gelenkbereich eines langen Röhrenknochens	
5-794	Offene Reposition einer mehrfragment-Fraktur im Gelenkbereich eines langen Röhrenknochens mit Osteosynthese		
Unterschenkelfraktur	5-786	Osteosyntheseverfahren	53
	5-786.0	Osteosyntheseverfahren durch Schraube	
	5-786.1	Osteosyntheseverfahren durch Draht oder Zuggurtung/Cerclage	
	5-786.2	Osteosyntheseverfahren durch Platte	
	5-786.6	Osteosyntheseverfahren durch Marknagel	
	5-786.8	Osteosyntheseverfahren durch Fixateur externe	
	5-790	Geschlossene Reposition einer Fraktur oder Epiphysenlösung mit Osteosynthese	
	5-791	Offene Reposition einer einfachen Fraktur im Schaftbereich eines langen Röhrenknochens	
	5-793	Offene Reposition einer einfachen Fraktur im Gelenkbereich eines langen Röhrenknochens	
5-794	Offene Reposition einer mehrfragment-Fraktur im Gelenkbereich eines langen Röhrenknochens mit Osteosynthese		
Fraktur der BWS/LWS, dorsale Stabilisierung	5-834	Offene Reposition der Wirbelsäule mit Osteosynthese	54
	5-835	Osteosynthese und Knochenersatz an der Wirbelsäule	
Fraktur der BWS/LWS, ventrale Stabilisierung	5-834	Offene Reposition der Wirbelsäule mit Osteosynthese	54
	5-835	Osteosynthese und Knochenersatz an der Wirbelsäule	
Ellenbogenfraktur	5-786	Osteosyntheseverfahren	53
	5-786.1	Osteosyntheseverfahren durch Draht oder Zuggurtung/Cerclage	
	5-786.8	Osteosyntheseverfahren durch Fixateur externe	
Humerusfraktur, Plattenosteosynthese	5-786.2	Osteosyntheseverfahren durch Platte	53
Humerusfraktur, Frakturprothese			
Beckenfraktur, offene OP	5-786	Osteosyntheseverfahren	53
	5-786.0	Osteosyntheseverfahren durch Schraube	
	5-786.1	Osteosyntheseverfahren durch Draht oder Zuggurtung/Cerclage	
	5-786.2	Osteosyntheseverfahren durch Platte	
	5-786.8	Osteosyntheseverfahren durch Fixateur externe	
Frakturen HWS	5-834	Offene Reposition der Wirbelsäule mit Osteosynthese	54
	5-835	Osteosynthese und Knochenersatz an der Wirbelsäule	

Bemerkung: Die den jeweiligen OPS-Codes zugeordnete SPSS-Kodierung dient der statistischen Analyse. Eingriffe im Transfusionskatalog, denen kein OPS-Code zugewiesen werden konnte, flossen nicht in die Auswertung ein.

7.4.5 Neurochirurgie

Neurochirurgie	OPS-Code	Beschreibung gemäß DIMDI	SPSS-Code
Kranielle Eingriffe			
Intraaxiale Tumore	5-015 5-015.0 5-015.1	Exzision und Destruktion von erkranktem intrakraniellm Gewebe Exzision und Destruktion von erkranktem intrakraniellm Gewebe: Intrazerebrales Tumorgewebe, hirneigen Exzision und Destruktion von erkranktem intrakraniellm Gewebe: Intrazerebrales Tumorgewebe, nicht hirneigen	55
Metastasen	5-015 5-015.0 5-015.1	Exzision und Destruktion von erkranktem intrakraniellm Gewebe Exzision und Destruktion von erkranktem intrakraniellm Gewebe: Intrazerebrales Tumorgewebe, hirneigen Exzision und Destruktion von erkranktem intrakraniellm Gewebe: Intrazerebrales Tumorgewebe, nicht hirneigen	55
Schädelbasis, Meningeome	5-015 5-015.0 5-015.1	Exzision und Destruktion von erkranktem intrakraniellm Gewebe Exzision und Destruktion von erkranktem intrakraniellm Gewebe: Intrazerebrales Tumorgewebe, hirneigen Exzision und Destruktion von erkranktem intrakraniellm Gewebe: Intrazerebrales Tumorgewebe, nicht hirneigen	55
Aneurysma/Arteriovenöse Malformation	5-025	Inzision, Exzision, Destruktion und Verschluss von intrakraniellen Blutgefäßen	56
Transsphenooidale Eingriffe	5-010 5-010.0 5-010.2	Schädelöffnung über die Kalotte Kraniotomie Bohrlochtrepanation	57
OP n. Janetta	5-010 5-010.0 5-010.2	Schädelöffnung über die Kalotte Kraniotomie Bohrlochtrepanation	57
Epilepsieeingriffe	5-028	Funktionelle Eingriffe an Schädel, Gehirn und Hirnhäuten	58
Chronisch subdurales Hämatom	5-010 5-010.0 5-010.2	Schädelöffnung über die Kalotte Kraniotomie Bohrlochtrepanation	57
Wirbelsäuleingriffe			
Bandscheibenvorfälle (lumbal+cervikal)	5-032.4 5-831 5-831.0 5-831.1 5-831.2	Laminektomie Exzision von erkranktem Bandscheibengewebe Exzision einer Bandscheibe Entfernung eines freien Sequesters Exzision einer Bandscheibe mit Radikulodekompression	59
Stenosen (lumbal+cervikal)	5-839.6	Knöcherne Dekompression des Spinalkanals	60
Tumore	5-031 5-032	Zugang zur Brustwirbelsäule Zugang zur Lendenwirbelsäule, zum Os sacrum und zum Os coccygis	61
Stabilisierung	5-836 5-836.3	Spondylodese Spondylodese, dorsal	62
Sonstige Eingriffe			
Vagusstimulatoren			
VP-Shunt	5-023	Anlegen eines Liquorshuntes [Shunt-Implantation]	63
Knochendeckelreimplantat.			
Stereotaktische Eingriffe	5-014	Stereotaktische Operationen an Schädel, Gehirn und Hirnhäuten	64
Funktionelle Eingriffe	5-028	Funktionelle Eingriffe an Schädel, Gehirn und Hirnhäuten	58
Pädiatrische Eingriffe			
Kraniotomie	5-010.0	Kraniotomie	57
Wirbelsäule	5-031 5-032	Zugang zur Brustwirbelsäule Zugang zur Lendenwirbelsäule, zum Os sacrum und zum Os coccygis	61
Schädeldachrekonstruktion			

Bemerkung: Die den jeweiligen OPS-Codes zugeordnete SPSS-Kodierung dient der statistischen Analyse. Eingriffe im Transfusionskatalog, denen kein OPS-Code zugewiesen werden konnte, flossen nicht in die Auswertung ein.

7.4.6 Herzchirurgie

Herzchirurgie	OPS-Code	Beschreibung gemäß DIMDI	SPSS-Code
ACB (nicht voroperiert)	5-361 5-361.0 5-361.1 5-361.2	Anlegen eines aortokoronaren Bypass Anlegen eines aortokoronaren Bypass, einfach Anlegen eines aortokoronaren Bypass, zweifach Anlegen eines aortokoronaren Bypass, dreifach	65
ACB (Re-OP)	5-361 5-361.0 5-361.1 5-361.2	Anlegen eines aortokoronaren Bypass Anlegen eines aortokoronaren Bypass, einfach Anlegen eines aortokoronaren Bypass, zweifach Anlegen eines aortokoronaren Bypass, dreifach	65
AKE/MKE (nicht voroperiert)	5-351 5-351.0 5-351.1 5-353 5-353.1 5-353.2 5-353.5	Ersatz von Herzklappen durch Prothese Ersatz der Aortenklappe Ersatz der Mitralklappe Valvuloplastik o.n.A. Mitralklappe, Anuloplastik Mitralklappe, Segelrekonstruktion Trikuspidalersatz	66
AKE/MKE (Re-OP)	5-352 5-352.0	Wechsel von Herzklappenprothesen Wechsel Aortenklappe	67
Endokarditis			
Aorta Ascendens-Ersatz	5-384.0 5-384.1	Resektion und Ersatz an der Aorta ascendens Resektion und Ersatz an der Aorta ascendens mit Reimplantation der Koronararterien	68
A.ascendens-Bogenersatz	5-384.2	Resektion und Ersatz am Aortenbogen	69
Aortendissektion	5-373.4	Resektion eines Aneurysmas	70
Kombinationseingriffe			
ACB mit Klappe	5-361 5-361.0 5-361.1 5-361.2 5-351 5-351.0 5-351.1 5-353 5-353.1 5-353.2 5-353.5	Anlegen eines aortokoronaren Bypass Anlegen eines aortokoronaren Bypass, einfach Anlegen eines aortokoronaren Bypass, zweifach Anlegen eines aortokoronaren Bypass, dreifach Ersatz von Herzklappen durch Prothese Ersatz der Aortenklappe Ersatz der Mitralklappe Valvuloplastik o.n.A. Mitralklappe, Anuloplastik Mitralklappe, Segelrekonstruktion Trikuspidalersatz	
Herztransplantationen	5-375 5-375.0 5-375.1 5-375.2 5-376 5-376 5-376.01 5-376.20 5-376.40 5-376.50 5-376.60	Herz- und Herz-Lungen-Transplantation Herztransplantation, orthotop Herztransplantation, heterotop (Assistenzherz) Herz-Lungen-Transplantation Implantation und Entfernung eines herzunterstützenden Systems, offen chirurgisch Implantation und Entfernung eines herzunterstützenden Systems, offen chirurgisch Entfernung intraaortale Ballonpumpe Implantation extrakorporale Pumpe (z.B. Kreislumpumpe oder Zentrifugalpumpe) Implantation intrakorporale Pumpe, univentrikulär Implantation intrakorporale Pumpe, biventrikulär Implantation Kunstherz	71
bei Voroperation			
Kinder Herz-Ops			
ohne HLM			
mit HLM KG < 40kg			
mit HLM KG > 40 kg			

Bemerkung: Die den jeweiligen OPS-Codes zugeordnete SPSS-Kodierung dient der statistischen Analyse. Eingriffe im Transfusionskatalog, denen kein OPS-Code zugewiesen werden konnte, flossen nicht in die Auswertung ein.

7.4.7 Kinderkardiologie

Kinderkardiologie	OPS-Code	Beschreibung gemäß DIMDI	SPSS-Code
Herz-OP mit HLM < 40 kg	5-357.1	Operationen bei kongenitalen Gefäßanomalien: Aortenisthmus(stenose)	72
	5-357.2	Operationen bei kongenitalen Gefäßanomalien: A. lusoria , Unterbindung	
	5-357.3	Operationen bei kongenitalen Gefäßanomalien: A. pulmonalis (Schlingen)	
	5-358.0	Operationen bei kongenitalen Klappenanomalien des Herzens: Aortenklappe	
	5-358.1	Operationen bei kongenitalen Klappenanomalien des Herzens: Mitralklappe	
	5-358.2	Operationen bei kongenitalen Klappenanomalien des Herzens: Pulmonalklappe	
	5-359	Andere Operationen am Herzen bei kongenitalen Anomalien	
	5-359.0	Totalkorrektur einer Tetralogie nach Fallot	
	5-359.1	Korrektur einer Transposition der großen Arterien (TGA)	
	5-359.20	Korrektur einer Lungenvenenfehlmündung, total	
	5-359.31	Korrektur eines Double-outlet-right-ventricle: Nicht Fallot-Typ	
	5-359.6	Operation an einem funktionell/morphologisch univentrikulären Herzen:	
	5-359.61	Operation an einem funktionell/morphologisch univentrikulären Herzen: Glenn-Operation, bidirektional	
	5-359.64	Operation an einem funktionell/morphologisch univentrikulären Herzen: Fontan-Typ-Operation, extrakardial	
5-359.65	Operation an einem funktionell/morphologisch univentrikulären Herzen: Fontan-Typ-Operation, sonstige		
Herz-OP mit HLM > 40 kg			
Herz-OP sicher ohne HLM			
Herzkatheter diagnostisch	1-27.	Diagnostische Katheteruntersuchung an Herz und Kreislauf	73
Herzkatheter interventionell (ASD-/PDA-Verschluß)	5-356	Operation am Herzen bei kongenitalen Anomalien o.n.A.	74
	5-356.1	Plastische Rekonstruktion des Herzseptums: Vorhofseptumdefekt, Verschluss partiell	
	5-356.2	Plastische Rekonstruktion des Herzseptums: Vorhofseptumdefekt, Verschluss total	
	5-357.0	Operationen bei kongenitalen Gefäßanomalien: Ductus arteriosus apertus (Botalli)	
Herzkatheter interventionell (alle übrigen)	8-837	Perkutan-transluminale Gefäßintervention an Herz und Koronargefäßen	75
	5-356.5	Plastische Rekonstruktion des Herzseptums:Ventriseptumdefekt, Verschluss total	
	5-356.8	Plastische Rekonstruktion des Herzseptums: Atrioventrikulärer Defekt, Verschluss total	

Bemerkung: Die den jeweiligen OPS-Codes zugeordnete SPSS-Kodierung dient der statistischen Analyse. Eingriffe im Transfusionskatalog, denen kein OPS-Code zugewiesen werden konnte, flossen nicht in die Auswertung ein.

7.4.8 Frauenheilkunde und Geburtshilfe

Frauenheilkunde	OPS-Code	Beschreibung gemäß DIMDI	SPSS-Code
Operativ			
Explorativ-Laparotomie (Ovar)	5-651 5-651.92 5-652.62 5-541.0	Lokale Exzision und Destruktion von Ovarialgewebe Exzision einer Ovarialzyste, laparoskopisch Ovariektomie, laparoskopisch Explorative Laparotomie	76
Explorativ-Laparotomie (Corpus / Cervix)	5-681 5-681.2 5-683	Exzision und Destruktion von erkranktem Gewebe des Uterus Enukleation eines Myoms Uterusexstirpation [Hysterektomie]	77
Alle anderen Eingriffe			
Konisation/Hysteroskopie/ fraktionierte Abrasio/ axilläre Sentinel-OP Follikelpunktion	5-671 5-690 1-672	Konisation der Cervix uteri Therapeutische Kürettage [Abrasio uteri] Diagnostische Hysteroskopie	78
Perinatalzentrum			
Geburt Einling	5-73. 5-72. 9-26.	Andere Operationen zur Geburtseinleitung und unter der Geburt Entbindung aus Beckenendlage und instrumentelle Entbindung Geburt	79
Geburt Mehrling	5-73. 5-72. 9-26.	Andere Operationen zur Geburtseinleitung und unter der Geburt ntbindung aus Beckenendlage und instrumentelle Entbindung Geburt	79
Sectio Placenta praevia	5-74.	Sectio Caesarea	80
Gerinnungsstörung			

Bemerkung: Die den jeweiligen OPS-Codes zugeordnete SPSS-Kodierung dient der statistischen Analyse. Eingriffe im Transfusionskatalog, denen kein OPS-Code zugewiesen werden konnte, flossen nicht in die Auswertung ein.

7.4.9 Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie

Mund-Kiefer, Gesichtschirurgie	OPS-Code	Beschreibung gemäß DIMDI	SPSS-Code
Tumorresektion + Neck dissection ohne mikrovasculärer Rekonstr.	5-403	Radikale zervikale Lymphadenektomie [Neck dissection]	81
Tumorresektion + Neck dissection mit mikrovasculärer Rekonstr.	5-403	Radikale zervikale Lymphadenektomie [Neck dissection]	81
Bimaxilläre Osteotomie			
Panfaziales Trauma	5-216	Reposition einer Nasenfraktur	82
Operative Eingriffe bei Patienten mit erhöhter Blutungsneigung			

Bemerkung: Die den jeweiligen OPS-Codes zugeordnete SPSS-Kodierung dient der statistischen Analyse. Eingriffe im Transfusionskatalog, denen kein OPS-Code zugewiesen werden konnte, flossen nicht in die Auswertung ein.

7.4.10 Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde

HNO	OPS-Code	Beschreibung gemäß DIMDI	SPSS-Code
Größere Tumoroperation (z.B. mikrovaskulär ansastomosierter Lappen, gestielter Lappen)	5-212	Exzision und Destruktion von erkranktem Gewebe der Nase	83
	5-261	Exzision von erkranktem Gewebe einer Speicheldrüse und eines	
	5-261.3	Exzision an der Glandula parotis	
	5-262.0	Parotidektomie, partiell	
	5-262.1	Parotidektomie, komplett mit Erhalt des N. facialis	
Laryngektomie	5-300	Exzision und Destruktion von erkranktem Gewebe des Larynx	84
	5-300.2	Exzision und Destruktion von erkranktem Gewebe des Larynx, mikrolaryngoskopisch	
Paragangliom	5-04.	Operationen an Nerven und Nervenganglien	85
Juveniles Angiofibrom	5-212	Exzision und Destruktion von erkranktem Gewebe der Nase	86
Neck dissection beidseits	5-403	Radikale zervikale Lymphadenektomie [Neck dissection]	81
Neck dissection einseits	5-403	Radikale zervikale Lymphadenektomie [Neck dissection]	81

Bemerkung: Die den jeweiligen OPS-Codes zugeordnete SPSS-Kodierung dient der statistischen Analyse. Eingriffe im Transfusionskatalog, denen kein OPS-Code zugewiesen werden konnte, flossen nicht in die Auswertung ein.

7.5 Danksagung

Mein außerordentlicher Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Markus Rehm für die freundliche Überlassung des hochinteressanten Themas, die großartige Betreuung dieser Arbeit und die vielfältigen Ideen und Denkanstöße, die mir einen kritischen Zugang zu dieser Thematik eröffneten. Die zahlreichen Gespräche auf intellektueller und persönlicher Ebene werden mir immer als bereichernder und konstruktiver Austausch in Erinnerung bleiben. Ich habe unsere Dialoge stets als Ermutigung und Motivation empfunden. Jede Phase dieser Arbeit wurde von Herrn Prof. Rehm mit wissenschaftlichem Enthusiasmus, der sich in großem Maße auf mich übertrug, intensiv und warmherzig begleitet. Besonders bedanken will ich mich auch für die Freiheit, die er mir während des gesamten Forschungsprojektes gewährte und die maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beitrug.

Großen Dank möchte ich auch meinem Mitbetreuer Herrn Dr. Bernhard Pollwein aussprechen. Seine sachkundige, erfahrene und wertvolle Unterstützung und seinen kritischen Diskurs empfand ich stets als große Bereicherung.

Ferner bedanke ich mich bei Herrn Dr. Sebastian Niedermayer für die Generierung und Anpassung des Datensatzes an die individuellen Erfordernisse dieser Arbeit, womit ein ausgesprochen wichtiger Grundstein für die Datenauswertung gelegt wurde.

Herrn Dr. Georg Wittmann danke ich für die äußerst konstruktiven Anmerkungen und wertvollen inhaltlichen Informationen, die einen wesentlichen Beitrag zur Erörterung der ökonomischen Aspekte dieser Arbeit geleistet haben.

Frau Dr. Ingrid Ricard danke ich ganz besonders für die exzellente statistische Beratung. Mit großem Engagement brachte sie mir systematisch und in hervorragender Weise komplexe statistische Analyseverfahren, insbesondere die Poisson-Regression, bei. Dankbar anerkennen möchte ich ihre immer freundliche und geduldige Bereitschaft, ihr umfassendes Wissen an mich weiterzugeben und mich bei der Lösung spezieller statistischer Probleme tatkräftig zu unterstützen.

All meinen lieben Freunden danke ich für ihre Ausdauer, Geduld und aufmunternden Worte, womit sie mir stets zur Seite standen.

Meinem Bruder danke ich von Herzen für seine brüderliche Freundschaft und seinen unterstützenden Beistand, den er mir immer zu geben bereit war.

Mein innigster Dank gebührt meinen Eltern, die mir eine freie Geisteshaltung vermittelt, mich in jedweder Hinsicht gefördert, liebevoll und uneingeschränkt unterstützt und immer darin bestärkt haben, meinen eigenen Weg zu gehen.

7.6 Eidesstattliche Versicherung

Ich, Astrid Christina Hahn, erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

„Analyse der Praxis der intraoperativen Transfusion am Klinikum der Universität München mit dem Ziel der Entwicklung eines Algorithmus zur Optimierung der Anforderungen von Erythrozytenkonzentraten vor Operationen“

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, den 02.05.2017