

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

**Weiterentwicklung und Validierung eines patienten- und
operationsspezifischen Bestellalgorithmus für
Erythrozytenkonzentrate**

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

vorgelegt von
Philipp Hamann
aus
München
2020

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Markus Rehm

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Wolfgang Hugo Hartl

Prof. Dr. Anne-Laure Boulesteix

Prof. Dr. Michael Spannagl

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. Bernhard Pollwein

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 02.04.2020

Meiner Familie in großer Dankbarkeit

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
1.1	Ökonomische Betrachtung von Bluttransfusionen	1
1.2	Die Geschichte der Blutbank.....	2
1.3	Künstliche Sauerstoffträger.....	5
1.3.1	Hämoglobin-basierte Bluts Substitute	5
1.3.2	Modifizierte Hämoglobin-basierte Bluts Substitute	6
1.3.3	Perfluorcarbone	7
1.3.4	Fazit und Ausblick.....	8
1.4	Ziel der Arbeit.....	9
2.	Material und Methoden.....	9
2.1	Datensatz.....	9
2.1.1	Überarbeitung Datensatz	10
2.1.2	Einschlusskriterien.....	11
2.1.3	Patientenindividuelle Faktoren	14
2.1.3.1	Körperoberfläche	14
2.1.3.2	ASA-Gesundheitsklassifikation	14
2.1.3.3	Dringlichkeit der Operation.....	14
2.2	Transfusionskatalog	15
2.3	Statistik.....	15
2.3.1	Deskriptive Statistik.....	15
2.3.2	Induktive Statistik.....	15
2.3.2.1	Signifikanztests.....	15
2.3.2.2	Poisson-Regression.....	16
2.3.3	Software statistische Auswertung.....	16
2.4	Bestellalgorithmus Großhadern	17
2.4.1	Berechnung der EK-Menge für den OP	17
2.4.2	Berechnung der EK-Reservemenge für das Blutdepot.....	17
2.5	Prognosentests.....	18
2.6	Ökonomische Analyse der Prozesse im Blutdepot.....	19
3.	Ergebnisse	21
3.1	Häufigkeitsverteilung der durchgeführten Eingriffe	21
3.2	Einflussfaktoren des EK-Verbrauchs	22
3.2.1	Alter	22

3.2.2	ASA-Gesundheitsklassifikation.....	23
3.2.3	Dringlichkeit der Operation.....	24
3.2.4	Geschlecht.....	25
3.2.5	Präoperative Hämoglobinkonzentration.....	26
3.2.6	Körperoberfläche	27
3.3	EK-Verbrauch, Prognosemodell und Genauigkeit des „Bestellalgorithmus GRH“ bei verschiedenen Eingriffsarten	28
3.3.1	Bauchaortenaneurysma-Y-Stentgraft (BAA-Y-Stentgraft) und Thorakales Aortenaneurysma Stentgraft (TAA-Stentgraft)	28
3.3.1.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	28
3.3.1.2	Poisson-Regression.....	29
3.3.1.3	Prognosentests.....	31
3.3.2	Eingriffe abdominelle Aorta (infrarenal offen/suprarenal offen)	32
3.3.2.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	32
3.3.2.2	Poisson-Regression.....	33
3.3.2.3	Prognosentests.....	34
3.3.3	Femoro-poplitealer (Fem-pop)/Femoro-cruraler (Fem-crur)/Femoro-femuraler (Fem-fem) cross over Bypass	36
3.3.3.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	36
3.3.3.2	Poisson-Regression.....	37
3.3.3.3	Prognosentests.....	37
3.3.4	Hemikolektomie rechts/links und Hartmann-Wiederanschluss	39
3.3.4.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	39
3.3.4.2	Poisson-Regression.....	40
3.3.4.3	Prognosentests.....	41
3.3.5	Leberresektion	42
3.3.5.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	42
3.3.5.2	Poisson-Regression.....	43
3.3.5.3	Prognosentests.....	45
3.3.6	Lebertransplantation.....	46
3.3.6.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	46
3.3.6.2	Poisson-Regression.....	47
3.3.6.3	Prognosentests.....	48
3.3.7	Lungentransplantation	49
3.3.7.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	49
3.3.7.2	Poisson-Regression.....	50
3.3.7.3	Prognosentests.....	51

3.3.8	Majoramputationen	53
3.3.8.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	53
3.3.8.2	Poisson-Regression.....	54
3.3.8.3	Prognosentests.....	55
3.3.9	Nierentransplantation und Pankreastransplantation	56
3.3.9.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	56
3.3.9.2	Poisson-Regression.....	57
3.3.9.3	Prognosentests.....	58
3.3.10	Thorakoabdominelles Aortenaneurysma (TAAA) offen mit Herz-Lungen- Maschine (HLM)	60
3.3.10.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	60
3.3.10.2	Poisson-Regression.....	61
3.3.10.3	Prognosentests.....	62
3.3.11	Thrombektomie/Revisionen.....	64
3.3.11.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	64
3.3.11.2	Poisson-Regression.....	65
3.3.11.3	Prognosentests.....	65
3.3.12	Aorto-coronarer Bypass (ACB) nicht voroperiert/Re-Operation (Re-OP)	67
3.3.12.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	67
3.3.12.2	Poisson-Regression.....	68
3.3.12.3	Prognosentests.....	69
3.3.13	Aortenklappenersatz (AKE)/Mitralklappenersatz (MKE) nicht voroperiert	71
3.3.13.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	71
3.3.13.2	Poisson-Regression.....	73
3.3.13.3	Prognosentests.....	74
3.3.14	Aortenklappenersatz (AKE)/Mitralklappenersatz (MKE) Re-OP	75
3.3.14.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	75
3.3.14.2	Poisson-Regression.....	77
3.3.14.3	Prognosentests.....	78
3.3.15	Aorta Ascendens-Bogenersatz	79
3.3.15.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	79
3.3.15.2	Poisson-Regression.....	81
3.3.15.3	Prognosentests.....	81
3.3.16	Aorta Ascendens-Ersatz.....	83
3.3.16.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	83
3.3.16.2	Poisson-Regression.....	84

3.3.16.3	Prognosentests.....	85
3.3.17	Herztransplantation	87
3.3.17.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	87
3.3.17.2	Poisson-Regression.....	88
3.3.17.3	Prognosentests.....	89
3.3.18	Herzkatheter interventionell (alle übrigen)	91
3.3.18.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	91
3.3.18.2	Poisson-Regression.....	92
3.3.18.3	Prognosentests.....	93
3.3.19	Endokranielle Eingriffe	95
3.3.19.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	95
3.3.19.2	Poisson-Regression.....	96
3.3.19.3	Prognosentests.....	97
3.3.20	Hüft-Totalendoprothese (Hüft-TEP).....	99
3.3.20.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	99
3.3.20.2	Poisson-Regression.....	100
3.3.20.3	Prognosentests.....	102
3.3.21	Hüft-Totalendoprothese-Wechsel (Hüft-TEP-Wechsel).....	103
3.3.21.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	103
3.3.21.2	Poisson-Regression.....	104
3.3.21.3	Prognosentests.....	105
3.3.22	Knie-Totalendoprothese-Wechsel (Knie-TEP-Wechsel).....	106
3.3.22.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	106
3.3.22.2	Poisson-Regression.....	108
3.3.22.3	Prognosentests.....	108
3.3.23	Hüft-, Femur-, Unterschenkel-, Ellenbogen-, Humerus- und Beckenfrakturen	110
3.3.23.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	110
3.3.23.2	Poisson-Regression.....	111
3.3.23.3	Prognosentests.....	113
3.3.24	Radikale Zystektomie (Ileumconduit/Neoblase).....	114
3.3.24.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	114
3.3.24.2	Poisson-Regression.....	115
3.3.24.3	Prognosentests.....	116
3.3.25	Tumornephrektomie/Nephroureterektomie/Tumornephrektomie mit Cava- zapfen (+HLM).....	118
3.3.25.1	Ergebnisse der deskriptiven Statistik	118

3.3.25.2	Poisson-Regression.....	119
3.3.25.3	Prognosentests.....	120
3.4	Ökonomische Parameter der Prozesse im Blutdepot	121
4.	Diskussion.....	124
4.1	Qualität der neuen Bestellpraxis.....	124
4.1.1	Sicherstellung des EK-Bedarfs durch den „Bestellalgorithmus GRH“	124
4.1.2	Sicherstellung des EK-Bedarfs durch die in den OP gelieferte EK-Menge	125
4.1.3	Analyse der überhöhten Blutbereitstellungen.....	125
4.1.4	Zielkonflikt zwischen der Sicherstellung der EK-Versorgung und der Genauigkeit des „Bestellalgorithmus GRH“	126
4.1.5	Vergleich des „Bestellalgorithmus GRH“ mit anderen Blutbereitstellungsverfahren	127
4.1.5.1	Vergleich des „Bestellalgorithmus GRH“ mit dem Transfusionskatalog des Klinikums der Universität München	127
4.1.5.2	Vergleich des „Bestellalgorithmus GRH“ mit anderen Blutbereitstellungsverfahren anhand der Crossmatch-to-Transfusion-Ratio	129
4.1.5.2.1	Vergleich des „Bestellalgorithmus GRH“ mit dem Blutbereitstellungsverfahren Maximum Surgical Blood Ordering Schedule	129
4.1.5.2.2	Vergleich des „Bestellalgorithmus GRH“ mit dem Blutbereitstellungsverfahren Surgical Blood Order Equation	131
4.2	Ökonomische Vorteile des „Bestellalgorithmus GRH“	133
4.3	Grenzen der Aussagen des „Bestellalgorithmus GRH“	135
4.3.1	Die Variablen der Prognosemodelle und ihre Wichtung	135
4.3.2	Kritische Betrachtung des Vergleichs von „Bestellalgorithmus GRH“ mit anderen Blutbestellrichtlinien anhand der C:T ratio.....	136
4.3.3	Generalisierbarkeit der Ergebnisse	136
5.	Zusammenfassung.....	137
6.	Abkürzungsverzeichnis.....	139
7.	Abbildungsverzeichnis.....	141
8.	Tabellenverzeichnis.....	142
9.	Literaturverzeichnis.....	148
10.	Vorabveröffentlichung	154
11.	Danksagung	155
12.	Eidesstattliche Versicherung	156

1. Einleitung

1.1 Ökonomische Betrachtung von Bluttransfusionen

Bluttransfusionen unterliegen aufgrund ihrer großen Bedeutung für den chirurgischen Bereich im Krankenhaussektor seit mehreren Jahren einer kritischen Betrachtung. Diese Diskussion betrifft neben den möglichen Nebenwirkungen der Transfusion von Erythrozytenkonzentraten (EK) (1-6) auch ihre finanziellen Aspekte (7-9). Dank mehrerer gesundheitsökonomischer Studien (10-15), die eine Dokumentation und Analyse der einzelnen Kosten von EK-Transfusionen durchgeführt hatten, liegt eine umfangreiche Datengrundlage zu dieser Thematik vor. Diese Studien zeichneten sich insbesondere dadurch aus, dass sie die Kosten der Transfusion nicht nur auf den Produktpreis der transfundierten EK beschränken, sondern auch die Kosten der Tätigkeiten miteinbeziehen, die mit der Transfusion eng verbunden sind. So wurden auch die Ausgaben erfasst, die in der Klinik bei Lagerung, Testung, Verabreichung und Nachbereitung einer EK-Transfusion entstehen. Es handelt sich dabei vor allem um Personal- und Materialkosten. Es ist hervorzuheben, dass diese Kosten entsprechend dem tatsächlichen Ressourcenverbrauch zusätzlich zu dem Produktpreis auf ein EK bezogen wurden. Diese Vorgehensweise erlaubt eine genauere Einschätzung der Kosten einer EK-Transfusion.

Mit verschiedenen Maßnahmen (16-19) wird versucht, Kosten, die mit einer EK-Transfusion verbunden sind, zu senken. An erster Stelle steht, die Zahl der EK-Transfusionen zu reduzieren. Das Patient Blood Management (PBM), ein multidisziplinäres, evidenzbasiertes und patientenindividuelles Behandlungskonzept (20) ist geeignet, den Bedarf an Bluttransfusionen und die damit verbundenen Kosten zu senken. Dies kann erreicht werden, wenn die drei Hauptbestandteile dieses Konzepts, ein präoperatives Anämiemanagement, eine Minimierung von Blutverlusten und die Ausschöpfung der natürlichen Anämietoleranz befolgt werden (18, 19, 21, 22). Da auch die Anwendung des PBM Kosten verursacht, weisen mehrere Studien (8, 21, 23) darauf hin, dass die auf Grund des PBM erfolgte Reduzierung von EK-Transfusionen nicht „automatisch“ zu Kosteneinsparungen führt. Verschiedene Studien belegen aber dennoch eine Nettokostensparnis (18, 22). Auf mittel- oder langfristige Sicht können infolge des Rückgangs der EK-Transfusionen die Einkaufsmenge von EK reduziert und damit Kosteneinsparungen realisiert werden.

Außerdem lässt sich eine Minderung der Kosten, die durch eine EK-Transfusion erzeugt werden, mit Hilfe einer Blutbereitstellungspraxis gewährleisten, die möglichst genau auf die transfundierte EK-Menge abgestimmt ist. Die in der Literatur analysierten Blutbestellrichtlinien

lassen sich danach unterteilen, wie viele patientenindividuelle Faktoren in die Berechnung der benötigten EK eingehen. Es ist zu vermuten, dass durch eine stärkere Ausrichtung am Patienten genauere Prognosen des zu erwartenden Transfusionsbedarfs möglich sind. Der *Maximum Surgical Blood Ordering Schedule* (MSBOS) gibt für verschiedene Eingriffe an, welche Bluttests präoperativ durchzuführen und wie viele EK bereitzustellen sind. Da diese Vorgaben auf ärztlicher Expertise oder auf dem bisherigen operationsspezifischen Verbrauch von EK beruhen, werden patientenindividuelle Parameter nur geringfügig berücksichtigt. Bei der *Surgical Blood Order Equation* (SBOE) handelt es sich um eine formelgebundene Blutbestellrichtlinie. Dabei werden ausschließlich verschiedene Hämoglobin (Hb)-Konzentrationen zur Berechnung der benötigten EK verwendet. Die Hb-Konzentrationen „minimal akzeptierter Hb“, präoperativer Hb“ und „Hb-Verlust“ stellen die einzigen patientenindividuellen Faktoren dar. Die Autoren Welsby et al. (24) wählten einen statistischen Ansatz für die Blutbestellung, der im Rahmen einer Regressionsanalyse und eines Scoring-Modells mehrere patientenindividuelle Faktoren berücksichtigt. Allerdings führten sie ihren Ansatz nur für eine Operationsart durch. Für die Vorhersage des EK-Bedarfs entwickelten Hayn et al. (25) ein komplexes Verfahren, das im Rahmen von *machine learning* 22 Faktoren verarbeitet (26). Eine Überprüfung dieses Vorgehens erfolgte anhand von 3 Eingriffsarten.

Im Gegensatz zu den bisher geschilderten Bestellrichtlinien stützt sich der in dieser Arbeit entwickelte operations- und patientenspezifische Blutbestellalgorithmus auf sechs patientenindividuelle Faktoren.

1.2 Die Geschichte der Blutbank

Eine Blutbank¹ soll vor allem die Versorgung der Patienten sicherstellen, bei denen eine Transfusion von Blutkomponenten vorgesehen ist. Dies geschieht durch angemessene Lagerung und Vorbereitung der Blutprodukte.

Die Gründung von Blutbanken beginnt erst zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Die erste Blutbank ist wohl im französischen Cambrai im Jahr 1917 eingerichtet worden (27, 28). Drei Faktoren haben zur Errichtung der ersten Blutbank geführt: die Konservierungsmöglichkeit von Blut, die Akzeptanz von Transfusionen in der medizinischen Praxis und ein gestiegener Bedarf an Transfusionen. Am wichtigsten war es, menschliches Blut über längere Zeit konservieren zu können. Die Forschungsergebnisse zur Konservierung von Blut in den Jahren 1913 bis 1915 hatten dabei entscheidenden Einfluss. In mehreren Studien (29-32) konnte übereinstimmend

¹Die Begriffe Blutbank und Blutdepot werden in dieser Arbeit synonym verwendet.

festgestellt werden, dass durch den Zusatz von Natriumcitrat zu entnommenem menschlichem Blut die Blutgerinnung außerhalb des Körpers gehemmt wird. Damit verlängert sich die Haltbarkeit des Blutes. So konnten Transfusionen mit drei bzw. mit drei bis fünf Tage gelagertem Natriumcitratblut durchgeführt werden, wobei nur leicht negative Auswirkungen wie eine vorübergehende Polyurie und Erkältung für den Patienten festzustellen waren (31, 32). Es ist hervorzuheben, dass bereits im Jahr 1893 im Tierversuch die Verlängerung der Haltbarkeit von entnommenem Blut durch Beigabe von Natriumcitrat bewiesen worden war (33). Ein Versuch mit menschlichem Blut wurde damals noch nicht gewagt.

Zur Haltbarmachung von Blut ist neben der Blutgerinnung, die durch Beimengung von Natriumcitrat gehemmt wird, auch die Hämolyse zu beachten. Rous und Turner konnten in ihren Untersuchungen feststellen, dass eine Beigabe von Saccharose zu entnommenem Hamsterblut eine Hämolyse des Blutes längere Zeit verhindert (34, 35). Das Blut konnte so bis zu 23 Tagen haltbar gemacht werden. Für die Anwendung dieses Konservierungsverfahrens an menschlichem Blut wurde dagegen Glukose empfohlen (34, 35). Diese Citrat-Glukose Mischung wurde als Rous-Turner-Lösung bekannt.

Das Vorhaben, Blutkonserven für eine spätere Nutzung zu lagern, ist eng mit der Akzeptanz von Bluttransfusionen in der medizinischen Praxis, zunächst in der Militärmedizin, verbunden. Der Grad der Akzeptanz von Transfusionen hängt neben ethischen und religiösen Überzeugungen in erster Linie von den Ergebnissen ab, Eingriffe mit Transfusionen erfolgreich durchzuführen. Die Entdeckung der Blutgruppen A, B und O durch Landsteiner im Jahr 1900 (36) und die Entdeckung der vierten Blutgruppe AB durch Decastello und Sturli im Jahr 1902 (37) ermöglichte eine Erklärung der Agglutination von Erythrozyten mit den später so bezeichneten Antikörpern. Trotz dieser bahnbrechenden Fortschritte verbreitete sich dieses Wissen nur schleppend. So lag in dem viel beachteten Buch „Hemorrhage and Transfusion“ von G.W. Crile (38) der Schwerpunkt auf hämolytischen Reaktionen, wobei die Agglutination von Blut jedoch kaum besprochen wurde (37). Im Gegensatz dazu behandelten andere Forscher (39, 40) dieses Thema in größerem Umfang. Die lebensrettende Bedeutung der Kreuzprobe wurde im Jahr 1909 in Untersuchungen von Schultz nachgewiesen (37). Seit 1910 setzten sich, auf den Erkenntnissen der Anfangsjahre des 20. Jahrhunderts aufbauend, weitere serologische Tests durch. Da infolge dieser Entdeckungen, die in mehrfachen Untersuchungen bestätigt wurden, Eingriffe mit einem nur geringen transfusionsabhängigen Risiko durchgeführt werden konnten, stand der Etablierung von Transfusionen nichts mehr im Wege.

Die letzte wichtige Entwicklung, die zu der Einrichtung einer Blutbank geführt hat, war der gestiegene Bedarf von Transfusionen infolge des 1. Weltkrieges. Starke Blutverluste bei Operationen, bedingt durch Kriegsverletzungen, führten zu dem Wunsch, Blutverluste am besten durch Blut selbst auszugleichen. Im Jahr 1917 wurden erstmals die oben beschriebenen Verfahren der Blutkonservierung in einem Militärkrankenhaus in Frankreich eingeführt (27, 28). Dabei erfolgte die Blutkonservierung mit der Rous-Turner-Lösung. Als Blutspender wurden Soldaten mit nur kleineren Verletzungen oder gerade genesene Soldaten herangezogen. Spender mit Malaria oder Syphilis waren von einer Blutspende ausgeschlossen. In der Studie von Robertson aus dem Jahr 1918 erfolgten 22 Transfusionen an 20 Patienten (41). Als Empfänger waren Patienten ausgewählt worden, die mit hoher Wahrscheinlichkeit ohne Transfusion gestorben wären, aber eine Überlebenschance bei Gabe von Blut hatten. 11 von den 20 transfundierten Patienten wurden in guter Verfassung entlassen (41). Als großer Vorteil einer Blutbank wurde die Verfügbarkeit von passendem Blut herausgestellt (41). Da Transfusionen in der Regel als Notfallbehandlung durchgeführt wurden, war das Finden eines passenden Spenders nur eingeschränkt möglich. Um die Konservierung der Blutkonserven noch weiter zu verbessern, kühlte Robertson die in Flaschen abgefüllten „Blutkonserven“ mit Eis (41).

Seit den dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts wurden in Deutschland zunächst sogenannte Blutspenderregister erstellt, die einen ersten Schritt zur Einrichtung von Blutbanken mit nicht-militärischer Nutzung darstellen (42). Freiwillige konnten sich nach Bestimmung ihrer Blutgruppe und weiterer serologischer Untersuchungen bereit erklären, für eine Blutspende zur Verfügung zu stehen. Da sich die Blutkonservierung noch nicht allgemein durchgesetzt hatte, handelte es sich bei den anschließenden Transfusionen oftmals um direkte Blutübertragungen von Vene zu Vene.

Einen aufsehenerregenden Weg der Blutkonservierung beschritt der russische Arzt Yudin, der Blut statt in Flaschen in Leichen konservierte (43). Er gründete bereits im Jahr 1930 am Sklifosovsky Institut Moskau ein Blutdepot, in dem Leichen quasi als Blutkonserven dienten (43). Gründe für diese besondere Art der Blutkonservierung waren das mangelnde Angebot an passenden Blutspendern und die Möglichkeit, bei dieser Art der Konservierung auf Antikoagulantien zu verzichten (44). Im Jahr 1936 führte Yudin 924 Eingriffe mit derart gelagertem Blut durch (44). Auch wenn die Transfusion von in Leichen gelagertem Blut keine weite Verbreitung erfahren hat, stimulierte diese Methode die Entwicklung der Blutkonservierung und der Organisation von Blutdepots (43).

Die erste nicht-militärische Blutbank, die menschliches Blut in Konserven lagerte, wurde 1935 an der Mayo Clinic in Chicago gegründet (45). Zwei Jahre später prägte Fantus, Direktor der „Therapieabteilung“ am Cook County Krankenhaus, den Begriff Blutbank im Zuge der Gründung der hauseigenen Blutbank. Anfänglich hatte die Organisation einer amerikanischen Blutbank das Prinzip der Buchhaltung einer Finanzbank, nämlich Forderung und Verbindlichkeit, übernommen. So spendeten Angehörige oder Freunde eines Patienten Blut zur Konservierung in der Blutbank. Diese Menge an Blut wird der Abteilung, in der der Patient behandelt wird, gutgeschrieben. Entsprechend dieser Gutschriften kann eine Abteilung Blut für eine Behandlung in der Blutbank anfordern (46). Bei Blutanforderungen auf „Kredit“ besteht die Möglichkeit, dass das zugeteilte Blut nicht mit dem ursprünglich gespendeten Blut übereinstimmt (46). In Deutschland wurde die erste Blutbank im Jahr 1949 im Rudolf-Virchow-Krankenhaus in Berlin eingerichtet (47).

1.3 Künstliche Sauerstoffträger

Das menschliche Blut übernimmt lebenswichtige Funktionen wie zum Beispiel den Transport von Sauerstoff, Kohlendioxid und von Nährstoffen, aber auch Aufgaben in der Immunabwehr über Lympho- und Leukozyten sowie den Schutz vor Verbluten durch ein Blutgerinnungssystem. Bis auf den Sauerstoff- und Kohlendioxidtransport können die Blutaufgaben durch Substitute zumindest teilweise übernommen werden (48). Die in diesem Kapitel vorgestellten Forschungen zu Blutersatzlösungen beschränkten sich darauf, Substitute zu entwickeln, die das Blut in seiner Funktion als Sauerstoffträger ersetzen. Würde es gelingen, künstliche Sauerstoffträger zu entwickeln, die das natürliche Hämoglobin ersetzen könnten, dann wäre die Transfusion von Fremdblut mit all ihren Risiken und Nebenwirkungen unnötig. Vor diesem Hintergrund sollen in diesem Kapitel zwei unterschiedliche Forschungsansätze vorgestellt werden: Hämoglobin-basierte Blutsubstitute (HBBS) und Perfluorcarbone (PFC).

1.3.1 Hämoglobin-basierte Blutsubstitute

Die Entdeckung des Hämoglobinmoleküls im Jahr 1840 durch Hünefeld (49) stellte einen wichtigen Schritt für die späteren Ansätze zur Entwicklung von HBBS dar, die 26 Jahre später in der Beschreibung der reversiblen Oxygenierung durch Hoppe-Seyler (50) und in der Bestimmung der Hämoglobinstruktur im Jahr 1960 durch Perutz (51) ihre Fortsetzung fanden.

Das für die Herstellung von HBBS benötigte Hämoglobin kann man aus verschiedenen Quellen gewinnen. Zum einen ist es möglich, Hämoglobin aus tierischen oder menschlichen Erythrozyten zu isolieren. Zum anderen kann man gentechnologisch hergestelltes Hämoglobin, das

sogenannte rekombinante Hämoglobin, verwenden (52). Die benötigten menschlichen Erythrozyten erhält man aus Blutkonserven mit abgelaufener Haltbarkeit.

Die Fähigkeit, Hämoglobin aus den Erythrozyten zu extrahieren, ist mit verschiedenen Vorteilen verbunden. Sie beruhen auf dem Entfernen der Erythrozytenmembran, die die Blutgruppeneigenschaften enthalten. Folglich können bei Transfusionen von Hämoglobinlösungen ohne Erythrozytenhülle keine Antigen-Antikörperreaktion auftreten (53). Es entfallen auch die sonst nötigen Blutgruppentests und Verträglichkeitsproben, was wiederum zu einer Kosten- und Zeitersparnis führt. Die Membranentfernung ist auch für den Sauerstofftransport vorteilhaft, da das Hämoglobin ohne die umgebende Hülle im Vergleich zu unbehandelten Erythrozyten vermutlich besser kleinste Blutgefäße des Blutkreislaufes erreichen kann (53). Zu erwarten ist auch eine bessere Sauerstoffversorgung des Gewebes.

Bereits im Jahr 1898 verabreichte von Starck zur Behandlung einer Anämie eine Hämoglobinlösung subkutan. Damit wurden zwei Jahre vor Entdeckung der Blutgruppen A, B und O durch Landsteiner (36) und ohne genaue Kenntnis der Voraussetzungen von sicheren Transfusionen, Alternativen zu Bluttransfusionen erforscht (54). Die erste intravenöse Gabe einer Hämoglobinlösung wurde 1916 durchgeführt (54). Diese Forschungsarbeit hatte das Ziel, den Stoffwechsel von Hämoglobin besser nachvollziehen zu können. Bei 3 von 33 Patienten traten lediglich leichte Nebenwirkungen auf. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass nur geringe Dosen einer Hb-Lösung injiziert wurden (54). Neben den oben genannten Vorteilen kam es in einer Reihe von Untersuchungen (55-57) übereinstimmend aber auch zu starken Nebenwirkungen infolge der Gabe von HBBS. Dazu zählen vor allem Nierenschädigungen, ein Anstieg des Blutdrucks und Magen-Darm-Leiden mit Schmerzen, Übelkeit und Erbrechen (58). Als Ursache dieser Beeinträchtigungen vermutete man Zell- und Stromarückstände, die trotz Destillation und Filtration in den verabreichten HBBS verblieben sind (59). Ausgehend von weiteren vorausgegangenen Forschungsergebnissen (60), wurden die verschiedenen Verfahren zur Herstellung von stromafreien Hämoglobinlösungen verbessert. Aber auch diese HBBS, die verschiedene weiter entwickelte Reinigungs- und Filterverfahren durchliefen, riefen ähnliche, wenn auch nur vorübergehende, Einschränkungen der Nierenfunktion hervor (61).

1.3.2 Modifizierte Hämoglobin-basierte Blutsubstitute

Die chemische Modifizierung des Hämoglobinmoleküls erreichte eine Verlängerung der intravaskulären Haltbarkeit und die Herstellung einer normalen Sauerstoffaffinität (53, 62). Diese Weiterentwicklung des Hämoglobins kann in Form einer Vernetzung oder in Form einer

Umhüllung des freien Hämoglobins erfolgen. Je nach Vernetzungsart lassen sich tetramere Hämoglobine, Polyhämoglobine und konjugierte Hämoglobine unterscheiden (63).

Nur wenige modifizierte HBBS (HemAssist[®], Polyheme[®], Hemopure[®]) waren so weit entwickelt, dass sie im Rahmen von Phase II- bzw. Phase III-Studien getestet werden konnten (64). Diese Untersuchungen zu HBBS haben positive und negative Auswirkungen auf die Studienteilnehmer gezeigt. So ist hervorzuheben, dass diese Substitute bei verschiedenen Patienten zu einem geringeren Erythrozytenbedarf im Vergleich zu einer Kontrollgruppe geführt haben. Diesem mehrfach bestätigten Vorteil (64) sind jedoch eine Vielzahl von, teils schwerwiegenden, Nebenwirkungen gegenüberzustellen. Dazu zählen eine erhöhte Sterblichkeit, Ikterus, Hämoglobinurie und Bluthochdruck (48). Das häufige Auftreten und die Schwere der Nebenwirkungen überlagern die festgestellten positiven Effekte der HBBS-Gabe. Das Überwiegen der negativen Wirkungen führte zum Abbruch von verschiedenen Studien (65-67). Alle drei vorgestellten HBBS-Medikamente haben keine Food and Drug Administration (FDA)-Zulassung erhalten. Von dieser Entscheidung abweichend, wurde das Medikament Hemopure[®] im Jahr 2001 mit Einschränkungen in Südafrika und in Russland für die Anwendung am Menschen zugelassen. Nach einer kurzen Unterbrechung ist die Zulassung in Südafrika seit dem Jahr 2010 wieder gültig (68). Dies ist erstaunlich, da zwar, wie oben beschrieben, auch bei diesem Medikament in europäischen und amerikanischen Studien ein Rückgang des Fremdblutbedarfs, jedoch ebenfalls verschiedene Nebenwirkungen wie Übelkeit, Ikterus, Abdominalschmerzen festzustellen waren (48). In Deutschland sind gegenwärtig keine HBBS-Medikamente zugelassen.

1.3.3 Perfluorcarbone

Im Bereich der künstlichen Sauerstoffträger stellen PFC die wichtigste Alternative zu HBBS dar. Da es sich bei PFC um vollsynthetische Kohlenwasserstoffverbindungen handelt, zeigen sie als Sauerstoff- und Kohlendioxidtransporteure besondere Eigenschaften. So lassen sie sich als synthetisches Molekül ohne virale und bakterielle Verunreinigung herstellen. Zudem sind PFC nicht wasserlöslich und müssen für eine Aufnahme ins Blut mit Hilfe von Emulsionen gelöst werden (69). Der Vergleich von PFC mit dem Hämoglobinmolekül zeigt bedeutende Unterschiede auf. Im Gegensatz zum Hämoglobinmolekül können PFC Sauerstoff nicht an einer bestimmten Kontaktstelle binden, sondern nur zufällig aufnehmen (70). Außerdem weisen PFC eine geringere Transportkapazität für Sauerstoff auf (71) und besitzen die Fähigkeit, Kohlenstoffdioxid zu transportieren.

Im Jahr 1966 wurde erstmals nachgewiesen, dass PFC Sauerstoff und Kohlendioxid aufnehmen und abgeben können (72). Als bedeutendster Vertreter von PFC-Präparaten der ersten Generation ist Fluosol DA 20 zu nennen. Nach erfolgreich verlaufenen Tests an Tieren traten aber in verschiedenen klinischen Untersuchungen Nebenwirkungen auf (70). Auch in einem Übersichtsartikel werden Nebenwirkungen wie eine transiente Thrombozytopenie und eine Abnahme der Leukozytenzahl infolge von Fluosol DA 20 berichtet (73). Trotz dieser Nebenwirkungen erteilte die FDA im Jahr 1989 die Zulassung von Fluosol DA 20 für die Anwendung bei perkutaner transluminaler Koronarangioplastie (62). Vier Jahre später wurde die Produktion des Medikaments aufgrund zu geringer klinischer Nachfrage eingestellt.

In der Folge wurden Emulsionen entwickelt, die eine höhere PFC-Konzentration zuließen. Dies ermöglicht den Transport von größeren Mengen an Sauerstoff. Präparate, die auf diese Weiterentwicklung zurückgreifen, stellen PFC der zweiten Generation dar. Oxygent[®], das die Anzahl von Fremdbluttransfusionen verringern soll (74) und Oxyfluor[®], mit dem Ziel der Reduktion einer Gasembolie bei Herz-Lungen-Maschine (62), zählen zu den bekanntesten Vertretern dieser Entwicklungsstufe von PFC. Trotz anfänglich erfolgsversprechender Studienergebnisse (48) haben die festgestellten Nebenwirkungen wie ein erhöhtes Schlaganfallrisiko, Gerinnungsstörungen und Thrombozytopenie zu einer Einstellung weiterer klinischer Studien geführt. Das einzige zugelassene PFC der zweiten Generation ist in Russland als Perftoran und in Mexiko als Perftec auf dem Markt (75, 76). Laut der von Maevsky (77) ausgewerteten Studien wird dieses Medikament erfolgreich als Blutsubstitut eingesetzt, um Fremdbluttransfusionen zu reduzieren.

1.3.4 Fazit und Ausblick

Ein vielbesprochener aktueller Ansatz der Erforschung von Sauerstoffträgern ist das Präparat HEMOXYCarrier[®], das auf dem Hämoglobin des Wattwurms aufbaut (75). Erste Untersuchungen (78, 79) an Tieren zeigen Vorteile wie eine große Sauerstofftransportfähigkeit dieses Hämoglobinmoleküls von bis zu 156 Sauerstoffmolekülen und das Fehlen von Nebenwirkungen. Ob dieser neue Sauerstoffträger auch in klinischen Studien ähnlich erfolgreiche Ergebnisse zeigt, bleibt abzuwarten.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass in Europa aktuell kein künstlicher Sauerstoffträger zugelassen ist. Die erhöhte Forschungsintensität auf diesem Gebiet infolge der nachgewiesenen Übertragung von HIV in den 1980er Jahren durch verunreinigte Blutkonserven verdeutlicht, dass Blutersatzstoffe in Konkurrenz zu herkömmlichen Bluttransfusionen stehen. Daraus folgt, dass

sich künstliche Sauerstoffträger auch in Zukunft an den Vor- und Nachteilen der bisher eingesetzten Erythrozytenkonzentrate messen lassen müssen.

1.4 Ziel der Arbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen neuartigen Algorithmus für die Blutbereitstellung zu entwickeln, der das Verhältnis von vorbereiteten zu benötigten EK verbessert. Um dies zu erreichen, werden die modellgestützten Vorhersagen des intraoperativen Bedarfs an EK nicht nur operationsspezifisch erfolgen, sondern auch patientenindividuelle Faktoren in größerem Maße berücksichtigen. Das übermäßige Bereitstellen von EK erzeugt einen unnötigen Arbeitsaufwand, führt zu erhöhten Verwurfsquoten von EK und widerspricht der Absicht, das seltene Gut Blut effizient einzusetzen, also die Wahrscheinlichkeit der Transfusion eines EK zu steigern. Daher ist eine Präzisierung der Bereitstellung von EK anzustreben. Das hier entwickelte Vorgehen grenzt sich vom bisherigen Blutbestellverfahren hauptsächlich durch die umfassendere Berücksichtigung von patientenindividuellen Einflussfaktoren ab.

Durch einen retrospektiven Vergleich der durch einen Algorithmus vorgeschlagenen mit der tatsächlich transfundierten EK-Menge wird untersucht, ob der Algorithmus genaue Prognosen errechnet, also eine hohe Bedarfsdeckung mit geringen Abweichungen erzielt. Weiter soll festgestellt werden, ob der Algorithmus dem Transfusionskatalog des Klinikums der Universität München überlegen ist und, ob der Algorithmus präzisere Prognosen des EK-Bedarfs angibt als andere Blutbereitstellungsverfahren (MSBOS & SBOE).

2. Material und Methoden

2.1 Datensatz

Die vorliegende Arbeit ist durch die Ethikkommission der Ludwig-Maximilians-Universität München genehmigt worden (Nummer des Votums: 691-16). Der Anfangsdatensatz umfasst Informationen aus dem Dokumentationssystem der Klinik für Anaesthesiologie, „Narkodata“, von 172.969 Operationen, die im Zeitraum 20. August 2011 bis 20. August 2016 an den Standorten Großhadern und Innenstadt des Klinikums der Universität München sowie an der Klinik Augustinum durchgeführt worden sind. Bei den 11.643 Eingriffen, die mit einer Transfusion verbunden waren, wurden 33.201 EK transfundiert. Der Datensatz gibt Aufschluss über patientenindividuelle und operationsspezifische Faktoren wie beispielsweise Alter, Geschlecht, Gewicht, Hb-Wert, Blutverlust, American Society of Anesthesiologists (ASA)-

Gesundheitsstatus, Dringlichkeit der Operation, Narkoseart, gebuchter Operationen- und Prozedurenschlüssel (OPS), OP-Datum sowie die transfundierten EK-Mengen.

Mit Hilfe der OPS, die vom Institut für medizinische Dokumentation und Informationen (DIMDI) jährlich überarbeitet werden, erfolgt eine Kodierung und Dokumentation von Operationen und Prozeduren. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die OPS in der Version 2016 verwendet. Die erste Ziffer des Codes gibt an, welchem der Bereiche, Diagnostik, Bildgebung, Operationen, Medikamente, nicht operative therapeutische Maßnahmen oder ergänzende Maßnahmen, die Operation oder Prozedur entstammt. Die weiteren drei Zahlen bestimmen die durchzuführende Operation. Anhand der übrigen zwei Zahlen lässt sich diese weiter differenzieren.

Ein eigener Vergleich der Angaben des Datensatzes mit den Narkoseprotokollen anhand von randomisierten Stichproben bestätigte die hohe Qualität der Datengrundlage.

2.1.1 Überarbeitung Datensatz

Eine erste, grundlegende Überarbeitung des Datensatzes geschah wegen der Aktualisierung der OPS-Codes, die in der Klinik für Anaesthesiologie für die Eingriffsdokumentation zur Verfügung stehen. Diese Straffung bedeutete zum einen Löschungen von denjenigen OPS-Codes, die zwischen dem 20. August 2011 und dem 20. August 2016 eine sehr kleine Anzahl an transfundierten EK (weniger als 11 EK pro Jahr) aufwiesen. Zum anderen ließen sich fünf- oder sechsstellige OPS-Codes, die für die Dokumentationsanforderungen der Anaesthesiologie zu detailliert sind, auf die höhere, gröbere Differenzierungsebene, die gemäß der DIMDI-Einteilung von OPS-Codes durch vier Stellen gekennzeichnet ist, zusammenlegen. Ziel war es, eine aktuelle, nicht allzu detaillierte Liste von OPS-Codes zu erarbeiten, die den Dokumentationsanforderungen der Klinik für Anaesthesiologie entspricht.

Nach diesen Anpassungen umfasste der Datensatz 163.297 Eingriffe. Darunter sind 8.807 Transfusionspatienten, die 32.844 EK erhielten.

Für eine verbesserte intertemporale Vergleichbarkeit der Operationen war ein Ausschluss der Jahre 2011 und 2016 aus der Analyse nötig, da beide Jahre nur unvollständig erfasst waren. Es verblieben dann 130.492 Eingriffe, bei denen 26.880 EK an 7.227 Patienten transfundiert wurden.

Die grundsätzliche Zuordnung von OPS-Codes zu einer Eingriffsart des Transfusionskatalogs des Klinikums der Universität München ist in der Dissertation von Hahn (80) erfolgt. Nach diesen Vorgaben kam es zu einer Zuteilung der Operationen des überarbeiteten Datensatzes zu den

Eingriffsarten des Transfusionskataloges. Auf diese 82 Eingriffsarten verteilten sich 64.868 Operationen, 6.192 Transfusionen mit 18.365 verabreichten EK.

Demnach konnten von den ursprünglich 130.492 Operationen 65.624 nicht den Eingriffsarten des Transfusionskataloges zugeordnet werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass zum einen nicht jede Operation des Datensatzes im Transfusionskatalog erfasst ist, und dass zum anderen OPS-Codes mit weniger als 4 Stellen zu wenig spezifiziert kodiert sind, um sie einer Eingriffsart des Transfusionskataloges zuteilen zu können.

Zusätzlich wurde das kardiale Risiko („niedrig“, „mittel“ und „hoch“) der berücksichtigten Operationen vermerkt. Diese Angaben gingen nicht in den Bestellalgorithmus ein, sondern stellten vielmehr eine zusätzliche Information für den Arzt dar, der die Blutbestellungen vornimmt. Die Einschätzung und Dokumentation des kardinalen Risikos beruhte auf der Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin, der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie und der Deutschen Gesellschaft für Innere Medizin (81).

2.1.2 Einschlusskriterien

Für jede der ursprünglich 82 berücksichtigten Eingriffsarten des Transfusionskataloges des Klinikums der Universität München ließ sich die Transfusionswahrscheinlichkeit berechnen. Sie ergibt sich für eine Eingriffsart aus dem Verhältnis von erfolgten EK-Transfusionen bei einer Eingriffsart bezogen auf die Gesamtzahl der Eingriffe einer Eingriffsart. Um für die weitere Analyse eine aussagekräftige Datenbasis zu erhalten, wurden zwei Einschlusskriterien für die Datensatzselektion festgelegt. So mussten die Eingriffsarten zum einen jeweils eine Transfusionswahrscheinlichkeit von 5 % erreicht haben, zum anderen sollten bei jeder Eingriffsart im Untersuchungszeitraum im Durchschnitt mindestens 9 EK-Transfusionen pro Jahr durchgeführt worden sein.

Die Anwendung dieser beiden Einschlusskriterien führte dazu, dass von den ursprünglich 82 Eingriffsarten des Transfusionskataloges 25 in die endgültige Analyse eingingen (Tabelle 1). Auf die berücksichtigten Eingriffsarten verteilten sich schließlich 19.776 Eingriffe mit 14.754 transfundierten EK, die 4.879 Patienten erhielten.

Tabelle 1: Berücksichtigte Eingriffsarten 2012-2015 für „Bestellalgorithmus GRH“

Eingriffsart <i>(Abkürzungen sind im Ergebnisteil erklärt)</i>	Gesamtanzahl Eingriffe	Eingriffe mit EK-Transfusion	EK-Trans- fusionen p.a.	Transfusions- wahrscheinlichkeit
Hüft-TEP-Wechsel	299	107	27	35,79 %
ACB Re-OP/nicht voroperiert	2.374	1.137	284	47,89 %
AKE (Nicht voroperiert)/ MKE (Nicht voroperiert)	2.225	1.205	301	54,16 %
Knie-TEP-Wechsel	237	36	9	15,19 %
Leberresektion	442	127	32	28,73 %
Majoramputationen	223	69	17	30,94 %
Radikale Zystektomie (Ileumconduit/Neoblase)	333	93	23	27,93 %
Hüft-TEP	1.107	144	36	13,01 %
BAA-Y-Stentgraft/TAA-Stentgraft	263	38	10	14,45 %
Herzkatheter interventionell (alle übrigen)	168	43	11	25,60 %
Nephrektomien	1.023	110	28	10,75 %
Hemikolektomie/ Hartmann-Wiederanschluss	515	47	12	9,13 %
Aorta Ascendens Ersatz	288	182	46	63,19 %
Thrombektomie/Revisionen	651	91	23	13,98 %
Frakturen	5.398	298	75	5,52 %
Aorta Ascendens Bogenersatz	142	101	25	71,13 %
Fem-pop, fem-crur, fem-fem cross over Bypass	197	45	11	22,84 %
Nierentransplantation und Pankreastransplantation	378	34	9	8,99 %
Eingriffe abdomnielle Aorta	178	105	26	58,99 %
Endokranielle Eingriffe	2.433	170	43	6,99 %
Herztransplantation	225	160	40	71,11 %
Lebertransplantation	226	200	50	88,50 %
Lungentransplantation Single/Doppel	233	172	43	73,82 %
TAAA offen mit HLM	135	102	26	75,56 %
AKE (Re-OP)/ MKE (Re-OP)	83	63	16	75,90 %
Summe	19.776	4.879	1.220	24,67 %

Da der Datensatz einer jeden Eingriffsart einerseits zur Durchführung von Poisson-Regressionen, andererseits zum Testen der auf den Regressionsgleichungen basierenden Prognosemodelle und des gesamten „Bestellalgorithmus GRH“ eingesetzt wurde, erfolgte eine Aufteilung in zwei Teile. Per Zufallsstichprobe kam der jeweilige Datensatz zu zwei Drittel für die Durchführung der Poisson-Regressionen und zu einem Drittel zum Testen der Prognosemodelle und des gesamten „Bestellalgorithmus GRH“ zur Anwendung. Dementsprechend standen von 19.776 Eingriffen 13.184 für die Erstellung der Regressionsgleichungen zur Verfügung. Die Prognosemodelle und der gesamte „Bestellalgorithmus GRH“ konnten schließlich mit Daten aus 6.592 Eingriffen auf ihre Prognosegenauigkeit überprüft werden. Mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Tests und des Chi-

Quadrat-Homogenitätstests konnte festgestellt werden, dass sich die beiden Datensätze hinsichtlich der verschiedenen patientenindividuellen Faktoren nicht signifikant unterschieden (Tabelle 2 & 3).

Tabelle 2: Patientenindividuelle Faktoren Teil 1

Variable	Datensatz statistische Analyse (n=13.184)	Datensatz Evaluierung Bestellalgorithmus (n=6.592)	p-Wert
Median (Intervall)			
Alter (Jahre)	64 (1-115)	64 (2-113)	0,635
Gewicht (kg)	75 (0,68-222)	75 (2-190)	0,393
Höhe (cm)	171 (43-222)	170 (42-217)	0,996
Körperoberfläche (m ²)	1,89 (0,12-3,58)	1,89 (0,16-2,87)	0,372
Anzahl an Patienten (%)			
Geschlecht			
weiblich	5.483 (41,59 %)	2.779 (42,16 %)	0,444
männlich	7.701 (58,41 %)	3.813 (57,84 %)	

Tabelle 3: Patientenindividuelle Faktoren Teil 2

Variable	Datensatz statistische Analyse (n=13.184)	Datensatz Evaluierung Bestellalgorithmus (n=6.592)	p-Wert
Anzahl transfundierte EK (Median)	0	0	0,745
Präoperativer Hämoglobinwert (Median)	13,20 g/dl	13,20 g/dl	0,470
Anzahl an Patienten (%)			
ASA 1	1.114 (8,45 %)	581 (8,81 %)	0,297
ASA 2	3.172 (24,06 %)	1.635 (24,80 %)	
ASA 3	6.101 (46,28 %)	3.010 (45,66 %)	
ASA 4	2.685 (20,37 %)	1.314 (19,93 %)	
ASA 5	112 (0,85 %)	52 (0,79 %)	
Dringlichkeit der Operation			
Geplant	10.678 (80,99 %)	5.387 (81,72 %)	0,461
Ungeplant	2.073 (15,72 %)	999 (15,15 %)	
Notfalloperation	433 (3,28 %)	206 (3,13 %)	

2.1.3 Patientenindividuelle Faktoren

Zu den patientenindividuellen Faktoren, die in die statistische Auswertung eingegangen sind, zählen das Alter und Geschlecht des Patienten, die präoperative Hb-Konzentration, die Dringlichkeit der Operation, der Gesundheitszustand des Patienten gemäß der ASA-Klassifikation und die Körperoberfläche des Patienten.

2.1.3.1 Körperoberfläche

Die Berechnung der Körperoberfläche geschah anhand der Gehan-George-Formel (82):

$$\text{Körperoberfläche} = 0,01545 \times \text{Körpergewicht (kg)}^{0,46336} \times \text{Körpergröße (cm)}^{0,54468} .$$

Der Begriff Körperoberfläche wurde nur in den Tabellen als KOF abgekürzt.

2.1.3.2 ASA-Gesundheitsklassifikation

Im Jahr 1940 gründete die ASA ein Komitee mit der Zielsetzung, Prädiktoren des operativen Risikos zu definieren (83). Die Vorarbeiten mündeten im Jahr 1941 in eine 6-stufige Einteilung des patientenspezifischen Gesundheitszustandes. Nach weiteren Anpassungen der Kategorien gelten

- sonst gesunde Patienten als ASA 1 Patienten,
- Patienten mit leicht systemischer Erkrankung als ASA 2 Patienten,
- Patienten mit schwerer systemischer Erkrankung als ASA 3 Patienten,
- Patienten mit lebensbedrohlicher Erkrankung als ASA 4 Patienten,
- moribunde Patienten, die ohne Operation wahrscheinlich nicht überleben werden als ASA 5 Patienten,
- hirntote Patienten mit Organspende als ASA 6 Patienten (84).

Diese Einteilung dient der systematischen Erfassung und Auswertung des präoperativen Gesundheitszustandes der Patienten.

2.1.3.3 Dringlichkeit der Operation

Am Klinikum Großhadern, am Standort Innenstadt und an der Klinik Augustinum sind drei Dringlichkeitsstufen definiert. Dringlichkeit 1 umfasst die Operationen, die bis 8 Uhr des Operationstages auf dem OP-Plan eingetragen sind. Sofern dies nicht erfolgt ist, gelten die Operationen als ungeplant und werden unter Dringlichkeit 2 dokumentiert. Notoperationen, die sofort oder als nächste Operation durchgeführt werden müssen, erhalten die Bezeichnung Dringlichkeitsstufe 3.

2.2 Transfusionskatalog

Der Transfusionskatalog des Klinikums der Universität München (Campus Großhadern und Innenstadt) wurde in der Version 2017 verwendet. Der Katalog gibt für verschiedene Eingriffe Aufschluss darüber, welche Bluttests präoperativ durchgeführt und in welcher Menge EK, Thrombozytenkonzentrate und *Fresh Frozen Plasma* für den OP und für die Lagerung im Blutdepot vorbereitet werden sollen. Diese Angaben werden in regelmäßigen Abständen von einer Kommission, bestehend aus Anästhesisten und Chirurgen, überarbeitet. Mit dem Transfusionskatalog verfolgt man unter anderem das Ziel, durch eine möglichst genaue Übereinstimmung der vorbereiteten EK mit den transfundierten EK eine effiziente Blutbereitstellung zu erreichen.

2.3 Statistik

2.3.1 Deskriptive Statistik

Für die kategorialen Variablen, sowohl in ordinaler als auch in nominaler Ausprägung, wurden absolute und relative Häufigkeiten berechnet. Die genaue Darstellung der metrischen Variablen erfolgte anhand des arithmetischen Mittels, in der Arbeit als Mittelwert (MW) bezeichnet, und anhand der Standardabweichung (SD). Bei jeder Eingriffsart wurde im Kapitel „Genauigkeit EK-Menge OP“ mit Hilfe des Medians der verbleibende Transfusionsbedarf berechnet, der nach erfolgter Lieferung der EK-Menge des Prognosemodells in den OP noch besteht. Relative Häufigkeiten, MW und SD wurden auf zwei Dezimalstellen gerundet. Die p-Werte wurden mit drei Nachkommstellen angegeben.

2.3.2 Induktive Statistik

2.3.2.1 Signifikanztests

Mit dem Mann-Whitney-U-Test und dem Kruskal-Wallis-Test wurde für jede unabhängige Variable einzeln der Einfluss auf die abhängige Variable, den Transfusionsbedarf, unter Berücksichtigung des Signifikanzniveaus $p \leq 0,05$ untersucht. (85) Dabei kam der Mann-Whitney-U-Test für Variablen mit zwei Kategorien und der Kruskal-Wallis-Test für Variablen mit mehr als zwei Kategorien zum Einsatz. Im Rahmen dieser Tests ließ sich mit Hilfe von paarweisen Vergleichen feststellen, ob hinsichtlich des EK-Bedarfs zwischen den einzelnen Stufen der kategorialen Variablen statistisch signifikante Unterschiede bestehen (86).

2.3.2.2 Poisson-Regression

Die statistische Untersuchung des Einflusses verschiedener patientenindividueller Faktoren auf den Transfusionsbedarf erfolgte anhand einer Regressionsanalyse vor allem aus zwei Gründen. So ist die Regressionsanalyse besonders geeignet (87, 88), den Zusammenhang zwischen einer abhängigen Variable und verschiedenen unabhängigen Variablen zu untersuchen. Außerdem bietet die Regressionsanalyse die Möglichkeit, die erstellten Regressionsgleichungen als Prognosemodelle zu verwenden (89).

In der vorliegenden Arbeit wurde für die statistische Analyse auf die Poisson-Regression zurückgegriffen. Zum einen, da die abhängige Variable, die Anzahl der transfundierten EK, eine nicht negative und ganzzahlige Größe (Zählgröße) darstellte (90). Zum anderen kann die Poisson-Regression vor allem auf Daten angewendet werden, bei denen das Auftreten eines Ereignisses, im vorliegenden Fall die Durchführung einer EK-Transfusion, selten vorkommt (91).

Die Gleichung der Poisson-Regression ist in dieser Arbeit definiert als

$$\lambda = \exp(x_i\beta) = \exp(\beta_0 + \beta_1x_1 + \dots + \beta_nx_n)(88).$$

Dabei gibt „ λ “ die Anzahl der transfundierten EK an. „Exp“ weist daraufhin, dass die Regressionsgleichung eine Exponentialfunktion darstellt. Die einzelnen β -Werte stellen die Regressionskoeffizienten der unabhängigen Variablen, dargestellt als „ x “, dar. β_0 ist der konstante Term der Regressionsgleichung.

Eine umfangreiche, formelgestützte Darstellung der Grundlagen und Besonderheiten der Poisson-Regression findet sich bei Cameron & Trivedi (91).

Für die Durchführung der Poisson-Regressionen wurde jeweils der randomisierte Zweidrittelanteil des Datensatzes jeder transfusionsrelevanten Eingriffsart (Tabelle 1) herangezogen.

In dieser Untersuchung stellte die Anzahl der transfundierten EK die abhängige, zu erklärende Variable dar. Die unabhängigen Variablen, die sog. Einflussfaktoren, waren Alter, Geschlecht, Körperoberfläche, Gesundheitszustand des Patienten gemäß der ASA-Klassifikation, Dringlichkeit der Operation und präoperative Hb-Konzentration.

2.3.3 Software statistische Auswertung

Die statistischen Auswertungen erfolgten sowohl mit Hilfe der Software IBM SPSS Statistics, in der Version 24, als auch mit Hilfe von Excel (Office Professionell Plus 2010).

2.4 Bestellalgorithmus Großhadern

Der „Bestellalgorithmus GRH“ errechnet die EK-Menge für den OP und die im Blutdepot zu reservierende EK-Menge anhand zwei verschiedener Vorgehensweisen. Das Prognosemodell sagt voraus, wie viele EK präoperativ getestet und in den OP geliefert werden. Die Berechnung der Menge an EK, die im Blutdepot auf Abruf reserviert wird, erfolgt anhand einer deskriptiv erhobenen Größe, dem 85 %-Perzentil des EK-Verbrauchs in den Jahren 2012 bis 2015, und der bereits an den OP gelieferten EK-Menge.

2.4.1 Berechnung der EK-Menge für den OP

Nur die Variablen, die einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Anzahl der transfundierten EK ausübten, verblieben mit dem jeweiligen Regressionskoeffizienten in der Regressionsgleichung. Damit setzte sich jedes der 25 Prognosemodelle aus den jeweils statistisch signifikanten Variablen, ihren Regressionskoeffizienten und einem konstanten Faktor zusammen. Dieser Parameter wird berücksichtigt, da davon auszugehen ist, dass der Verbrauch an EK nicht vollständig durch die 6 ursprünglich ausgewählten Variablen erklärt wird. So existieren weitere Einflussgrößen, wie die Erfahrung des Operateurs, die zwar den EK-Verbrauch mitbestimmen, aber aufgrund der Schwierigkeiten bei ihrer Erfassung nicht als Variablen im Datensatz enthalten waren. Statistische Signifikanz lag bei einem p-Wert kleiner oder gleich 0,05 vor. Die Regressionsgleichungen wurden bei jeder transfusionsrelevanten Eingriffsart des Transfusionskataloges als Prognosemodell verwendet.

Im Rahmen des „Bestellalgorithmus GRH“ wurde die Menge an EK, die in den OP geliefert wurde, die „OP-Menge“, anhand dieser Prognosemodelle berechnet. Vorhersagen, die 2 EK übertrafen, wurden auf 2 EK zurückgestuft. Demnach lag die gelieferte EK-Menge in Abhängigkeit des Ergebnisses des Prognosemodells jeweils zwischen 0 EK und 2 EK.

2.4.2 Berechnung der EK-Reservemenge für das Blutdepot

In Abhängigkeit vom Ergebnis des „Bestellalgorithmus GRH“ werden die im Blutdepot immunhämätologisch getesteten EK zum Teil in den OP geliefert und zum Teil für eine eventuell spätere Nutzung im Blutdepot auf Abruf eingelagert.

In den Bestellalgorithmus geht das 85 %-Perzentil des EK-Verbrauchs der Jahre 2012 bis 2015 ein. Es bezeichnet die Menge an EK, die nötig war, um in den Jahren 2012 bis 2015 85 % der Operationen ausreichend mit EK zu versorgen. Die EK-Menge, die im Blutdepot auf Abruf bereit liegen soll, die sog. „Blutdepotmenge“, ergibt sich aus der Differenz des 85 %-Perzentils und der bereits an den OP übergebenen EK-Menge (2.4.1). Sofern das 85 %-Perzentil bei 0 EK liegt,

beträgt die „Blutdepotmenge“ 0 EK und die in den OP gelieferte EK-Menge je nach Prognoseergebnis maximal 2 EK. Die Bezeichnung „85 %-Perzentil“ und die Bezeichnung „85 %-Menge“ werden in dieser Arbeit synonym verwendet.

2.5 Prognosentests

Bei jeder Eingriffsart wurde für den Test des Prognosemodells und des „Bestellalgorithmus GRH“ ein Drittel des Datensatzes der jeweiligen Eingriffsart herangezogen. Mit diesen Daten ließ sich für jede Operation die Menge an EK ermitteln, die im Blutdepot auszutesten und für OP und Blutdepot bereitzustellen wären. Die Eingriffe, für die kein Hb-Wert im Datensatz dokumentiert war, wurden von den Prognosentests ausgeschlossen. Dies ist notwendig, da das Prognosemodell ohne diesen einflussreichen Faktor verzerrte Ergebnisse zeigen würde. Die Prognosewerte wurden ab 0,5 auf ganze Konserven auf- bzw. bis 0,5 auf ganze Konserven abgerundet.

Im Rahmen eines ersten Prognosentests, bei dem das Ergebnis des Prognosemodells mit der tatsächlich transfundierten EK-Menge verglichen wurde, galt nur eine genaue Übereinstimmung zwischen der prognostizierten und der gegebenen Transfusionsmenge als zutreffende Vorhersage des Prognosemodells.

Wegen der teilweise nicht zufriedenstellenden Ergebnisse des ersten Prognosentests wurde das Ergebnis der Prognosemodelle dann nur als erste Tranche der EK-Transfusion bezeichnet. Diese erste Tranche, meist eine Mindestmenge für den OP, lag zwischen 0 EK und 2 EK. Auch bei Prognosen größer als 2 EK wurden nur 2 EK in den OP geliefert. Zusätzlich wurde eine „Blutdepotmenge“ (2.4.2) definiert.

Für eine Einschätzung der Genauigkeit der Prognosemodelle des „Bestellalgorithmus GRH“ wurde zusätzlich untersucht, bei wie vielen Operationen bereits die als erste Tranche in den OP gelieferte EK-Menge den EK-Bedarf decken konnte.

Auf Basis des jeweiligen Testdatensatzes ließen sich mit Hilfe des Prognosemodells und des 85 %-Perzentils eine EK-Bestellmenge für den OP und eine für das Blutdepot errechnen, die anschließend mit der tatsächlich transfundierten EK-Menge zu vergleichen waren. Im Rahmen dieses Tests des „Bestellalgorithmus GRH“ lag eine zutreffende Prognose vor, wenn die prognostizierte Menge mit der Transfusionsmenge übereinstimmte oder diese übertraf. Dieser Test erfolgte pro Operation. Ziel war es, eine bessere Annäherung an die tatsächliche Transfusionsmenge als der Transfusionskatalog zu erreichen.

Um einschätzen zu können, ob der „Bestellalgorithmus GRH“ in Bezug auf die 25 Eingriffsarten zu einer effizienteren Blutbereitstellung als der Transfusionskatalog führen würde, wurden beide Blutbestellverfahren hinsichtlich der bereitgestellten EK-Menge und der damit erreichten Deckung des EK-Bedarfs verglichen. Für diese Gegenüberstellung errechnete sich beim „Bestellalgorithmus GRH“ die insgesamt bereitgestellte EK-Menge pro Eingriffsart aus dem arithmetischen Mittel der Ergebnisse des Prognosemodells und aus der „Blutdepotmenge“. Es wurde vorausgesetzt, dass die jeweilige Angabe des Transfusionskataloges der bereitgestellten Menge an EK entsprach. Diese Gegenüberstellung erfolgte unter der Annahme, dass alle vom „Bestellalgorithmus GRH“ und Transfusionskatalog bereitgestellten EK in den OP geliefert wurden. Für die ökonomische Analyse der beiden Bestellverfahren sind die vom Transfusionskatalog im Vergleich zum „Bestellalgorithmus GRH“ mehr bereitgestellten EK als nicht benötigt klassifiziert worden.

Die Abweichungsanalyse erfolgte zum einen anhand des Prozentsatzes an Operationen, bei denen der „Bestellalgorithmus GRH“ zu viele EK vorgeschlagen hätte, und zum anderen anhand der durchschnittlichen Anzahl der zu viel prognostizierten EK.

Außerdem stützt sich die Beurteilung der Effizienz der Blutbereitstellungen auf die Crossmatch to Transfusion ratio (C:T ratio). Diese Kennzahl gibt für jede Eingriffsart das Verhältnis der Kreuzprobenanzahl zu der Anzahl an transfundierten EK an (92). In der Literatur (93-95) hat sich die Ansicht durchgesetzt, dass Kennzahlenwerte unter zwei auf eine effiziente Blutbestellpraxis hinweisen. Eine C:T ratio in Höhe von eins gibt das genaue Übereinstimmen der gekreuzten und transfundierten EK-Menge an und belegt eine optimale Blutbereitstellung. Bei dieser Kennzahl erfolgt die Einschätzung einer Bestellpraxis anhand der insgesamt vorbereiteten und transfundierten EK-Menge pro Eingriffsart und nicht pro einzelner Operation.

2.6 Ökonomische Analyse der Prozesse im Blutdepot

Neben der Erstellung eines EK-Bestellalgorithmus wurden die Kosten berechnet, die im Blutdepot durch die Anforderung von EK erzeugt werden. Dabei stand im Vordergrund, die Kosten verursachungsgerecht auf die prä- und postoperativ durchzuführenden Prozesse zu verteilen. Um dies zu erreichen, wurde der Schwerpunkt auf die Dokumentation und Analyse der nicht-ärztlichen Prozesse gelegt, die mit der Bereitstellung, Rückholung und Entsorgung von EK im Zusammenhang stehen.

Zuerst wurden diese Arbeitsschritte sowohl im August 2016 als auch im September 2016 begleitet und dokumentiert. Anschließend wurden die Prozesse identifiziert², die für die Blutbereitstellung und Blutrückholung elementar sind.

Dazu zählen folgende Prozesse:

- Verwalten der Konservenbestellung im Blutdepot,
- Durchführung der Blutgruppenbestimmung, des Antikörpersuchtests und der serologischen Verträglichkeitsprobe (Kreuzprobe),
- Lagerung und Ausliefern der Konserven,
- Rückholung, Qualitätskontrolle sowie eventuelle Vernichtung von Konserven.

Für diese Schritte erfolgten mehrfache händische Zeitmessungen. Die auf diese Weise berechnete Prozessdauer wurde um den Anteil der jeweiligen Maschinenlaufzeit gekürzt, so dass nur der personelle Zeitaufwand berücksichtigt wurde.

Für die Mitarbeiter, deren Tätigkeiten bei der Blutbereitstellung mit Zeitangaben festgehalten wurden, stellte die Abteilung für Personalangelegenheiten des Klinikums Großhadern die Bruttoarbeitskosten für die untersuchten Monate August und September des Jahres 2016 zur Verfügung. Um den personenbezogenen Anteil der Prozesskosten zu betonen, wurde keine Zuteilung von Gemeinkosten und Materialkosten auf die Prozessschritte vorgenommen.

Für die spätere Zusammenführung mit den gemessenen Prozessen wurden die Bruttoarbeitskosten pro Minute errechnet. Diese Berechnung erfolgte dabei anhand der Nettoarbeitszeiten.

Darauf aufbauend, konnten die Bruttoarbeitskosten pro Minute mit den gemessenen Arbeitsschritten in Beziehung gesetzt werden, um schließlich die personenbezogenen Kosten der analysierten Prozesse zu erhalten.

² Ich danke Herrn Dr. Wittmann, Oberarzt in der Abteilung für Transfusionsmedizin, Zelltherapeutika und Hämostaseologie für seine Unterstützung.

3. Ergebnisse

3.1 Häufigkeitsverteilung der durchgeführten Eingriffe

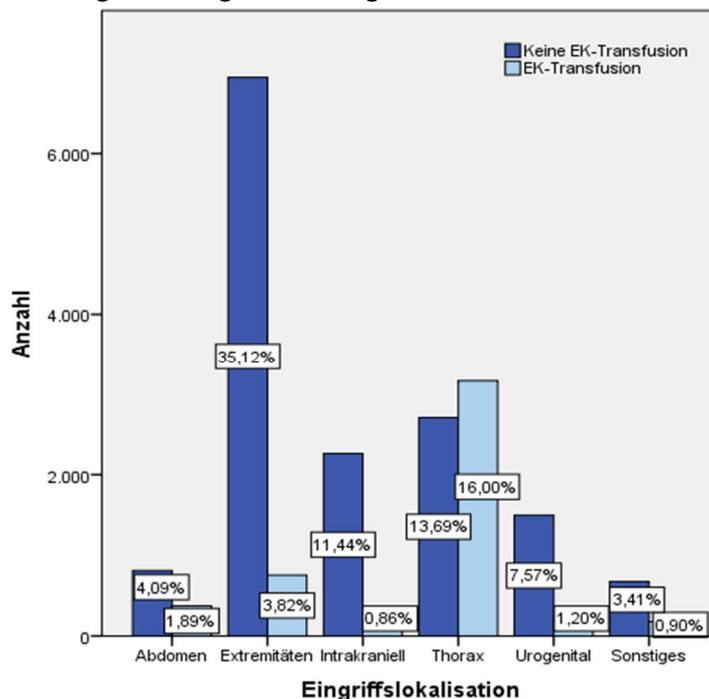
Der Datensatz, der für die Erstellung des „Bestellalgorithmus GRH“ eingesetzt wurde, umfasste 19.776 Operationen, die zwischen dem 1.1.2012 und 31.12.2015 an den Standorten Großhadern, Innenstadt und Augustinum durchgeführt wurden.

Am häufigsten wurden Eingriffe an den Extremitäten vorgenommen (38,94 %) (Abb.1). Mit deutlichem Abstand folgt der Eingriffsbereich Thorax, auf den 29,69 % der Eingriffe entfallen. Intrakranielle Eingriffe wurden am dritthäufigsten durchgeführt (12,30 %). Darauf folgen urogenitale Eingriffe (8,77 %), Eingriffe im Abdomen (5,98 %) und sonstige Eingriffe (4,31 %).

Operationen am Thorax waren am häufigsten mit einer EK-Transfusion verbunden. Dagegen benötigten Patienten, die an den Extremitäten operiert wurden, deutlich seltener eine EK-Transfusion. An der dritten Stelle des EK-Verbrauchs stehen Operationen im Abdomen.

Die transfundierten Patienten erhielten im Mittel 3,02 EK.

Abbildung 1: Durchgeführte Eingriffe mit und ohne EK-Transfusion

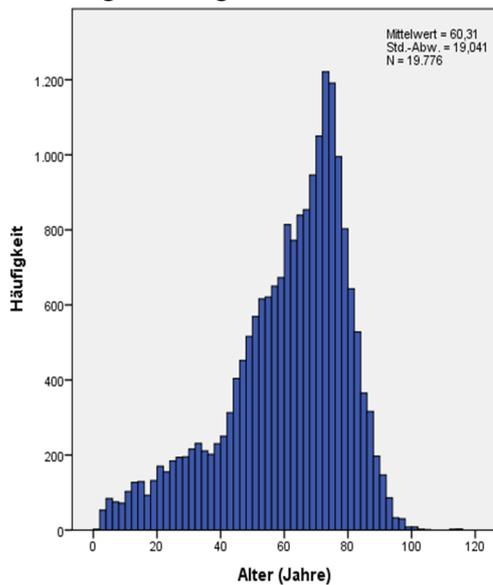


3.2 Einflussfaktoren des EK-Verbrauchs

3.2.1 Alter

Die Grenzen des Altersintervalls waren 1 Jahre und 115 Jahre. Es ergab sich ein Altersmittelwert von 60,31 Jahren. Aus der graphischen Darstellung der Häufigkeit des Patientenalters ließ sich ablesen, dass das Maximum, also der häufigste Alterswert, bei 73 Jahren lag (Abb. 2).

Abbildung 2: Histogramm Variable Alter



Die 14.897 nicht-transfunden Patienten waren im Mittel 58,64 Jahre alt (Abb. 3). Demgegenüber lag bei den 4.879 transfunden Patienten der MW bei 65,43 Jahren (Abb. 4). Bei beiden Gruppen trat das Alter von 73 Jahren am häufigsten auf.

Der Kruskal-Wallis-Test stellte fest, dass die Anzahl der transfunden EK statistisch hoch signifikant (p -Wert $< 0,001$) durch das Alter der Patienten mitbestimmt war.

Abbildung 3: Histogramm Variable Alter nicht-transfundierte Patienten

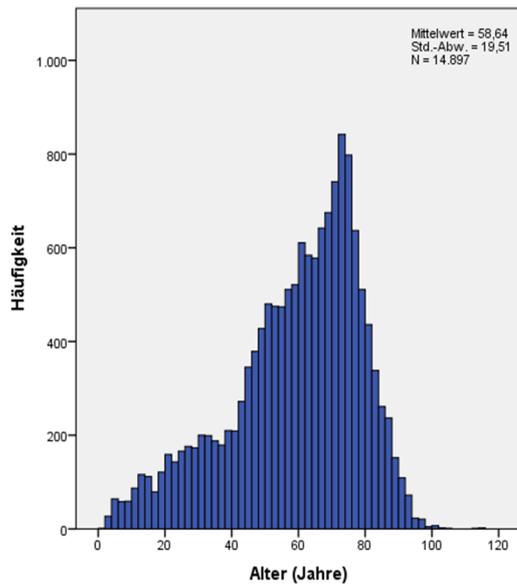
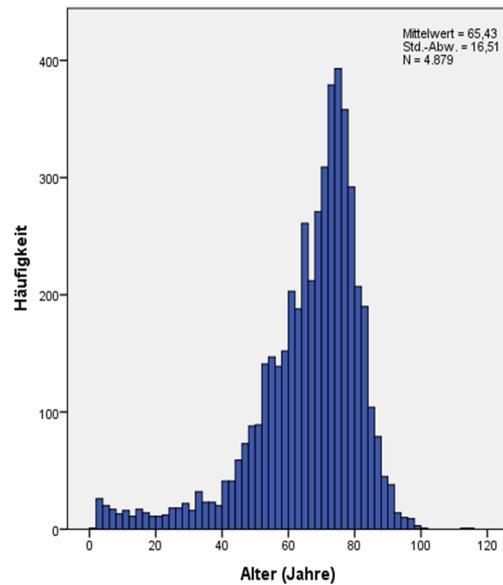


Abbildung 4: Histogramm Variable Alter transfundierte Patienten



3.2.2 ASA-Gesundheitsklassifikation

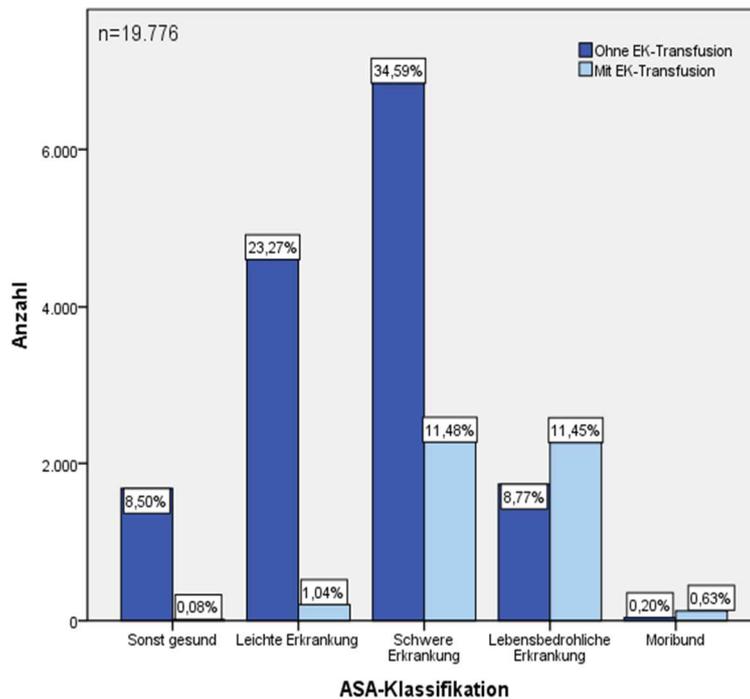
Unter den transfundierten Patienten (n=4.879) des überarbeiteten Datensatzes waren schwer Erkrankte (ASA 3) mit 46,53 % und lebensbedrohlich Erkrankte (ASA 4) mit 46,40 % annähernd zu gleichen Anteilen vertreten.

Im Durchschnitt erhielten die transfundierten Patienten 3,02 EK. Mit Ausnahme der ASA-Kategorie 2 stieg die durchschnittlich verabreichte EK-Menge mit der Schwere der Erkrankung an. Die größte Anzahl an EK, im Mittel 5,73 EK, wurde moribunden Patienten transfundiert.

Drei Viertel der 19.776 analysierten Patienten (n=14.897) benötigten keine EK-Transfusion. Von diesen Patienten stellten sonst Gesunde (ASA 1), Patienten mit leichter Allgemeinerkrankung (ASA 2) und Patienten mit schwerer Allgemeinerkrankung (ASA 3) gemeinsam einen Anteil von 88,08 %. Davon bildeten schwer erkrankte Patienten (ASA 3) mit 45,92 % die größte Patientengruppe.

Mit Hilfe des Kruskal-Wallis-Tests ließ sich nachweisen, dass zwischen dem Gesundheitszustand (ASA-Klassifikation) und dem EK-Verbrauch ein statistisch hoch signifikanter Zusammenhang (p-Wert < 0,001) bestand.

Abbildung 5: Absolute und relative Häufigkeiten für die Variable ASA-Gesundheitsklassifikation, mit und ohne EK-Transfusion



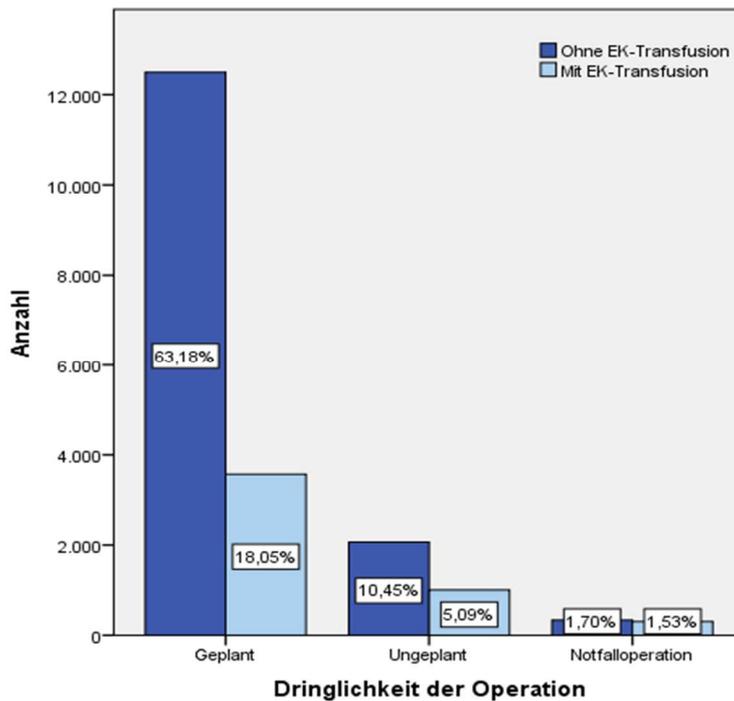
3.2.3 Dringlichkeit der Operation

Mit einem Anteil von 81,23 % war eine deutliche Mehrheit der Operationen definitionsgemäß geplant (2.1.3.2) (Abb.6). 15,54 % der übrigen Operationen wurden „ungeplant“ durchgeführt. Insgesamt lagen nur 3,23 % Notfalleingriffe vor. Bei allen drei Dringlichkeitskategorien überwog der Anteil an Operationen ohne EK-Transfusion. So benötigten 77,78 % der geplanten Operationen, 67,25 % der ungeplanten und 52,58 % der Notfalloperationen keine EK-Transfusion.

Bezogen auf die transfundierten Patienten wurden im Durchschnitt 3,02 EK transfundiert. Der durchschnittliche EK-Verbrauch war zwischen den einzelnen Dringlichkeitsstufen unterschiedlich. Geplante Operationen benötigten 2,51 EK, ungeplante Operationen 4,55 EK und Notfälle 4,00 EK.

Der p-Wert in Höhe von $p < 0,001$ im Rahmen des Kruskal-Wallis-Tests machte deutlich, dass die Dringlichkeit der Operation einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Höhe des EK-Verbrauchs hatte.

Abbildung 6: Absolute und relative Häufigkeiten für die Variable Dringlichkeit der Operation, mit und ohne EK-Transfusion



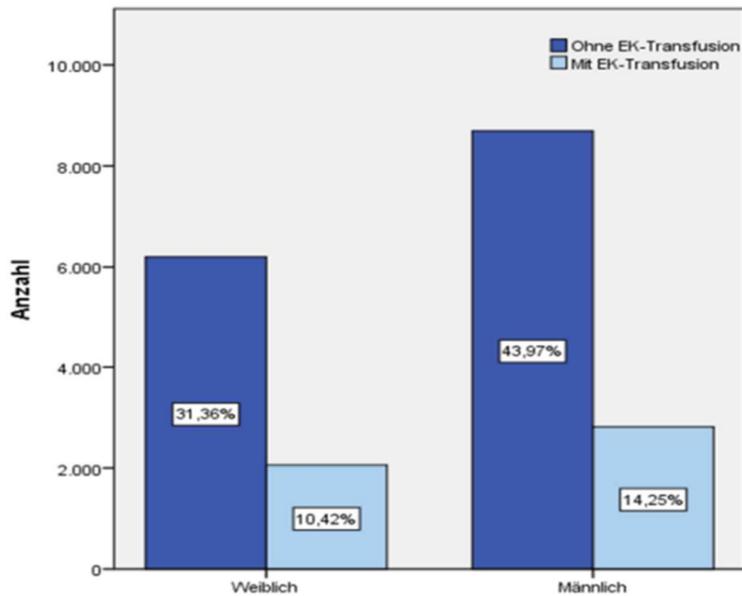
3.2.4 Geschlecht

Im vorliegenden Datensatz lag der Anteil der männlichen Patienten in Höhe von 58,22 % deutlich über dem Anteil der weiblichen Patienten in Höhe von 41,78 % (Abb. 7). Die transfundierten Patienten und die nicht-transfundierten Patienten zeigten jeweils keinen markanten Unterschied im Geschlechterverhältnis. Bei beiden Gruppen waren Männer mit 58 % und Frauen mit 42 % vertreten.

In Bezug auf die transfundierten Patienten wurden männlichen Patienten im Durchschnitt 3,18 EK und weiblichen Patienten im Durchschnitt 2,81 EK verabreicht.

Hinsichtlich des EK-Verbrauchs ließ sich zwischen männlichen und weiblichen Patienten kein statistisch signifikanter Unterschied feststellen ($p=0,796$).

Abbildung 7: Absolute und relative Häufigkeiten für die Variable Geschlecht, mit und ohne EK-Transfusion



3.2.5 Präoperative Hämoglobinkonzentration

Für die transfundierten Patienten wurde ein Mittelwert der präoperativen Hb-Werte von 11,66 g/dl nachgewiesen (Abb. 8). Der präoperative Hb-Wert der Patienten, die keine EK-Transfusion benötigt hatten, lag im Mittel bei 13,32 g/dl (Abb. 9).

Die Aufschlüsselung der transfundierten Patienten nach ansteigendem Hb-Wert in drei annähernd gleiche Teile, zeigte, dass der mittlere EK-Verbrauch in den einzelnen Gruppen unterschiedlich war. In der 1. Gruppe, im Bereich bis zu 10,99 g/dl, ließ sich ein durchschnittlicher EK-Verbrauch von 3,83 EK feststellen. Den Patienten der 2. Gruppe mit Werten zwischen 11,00 g/dl und 12,99 g/dl wurden im Mittel 2,89 EK transfundiert. In der 3. Gruppe, die Hb-Werte von 13,00 g/dl bis 17,90 g/dl einschloss, lag der Durchschnittsverbrauch bei 2,47 EK. Der Zusammenhang zwischen dem präoperativen Hb-Wert und dem Verbrauch von EK war statistisch hoch signifikant (p-Wert < 0,001).

Abbildung 8: Histogramm für die Variable Hb-Wert, Patienten mit EK-Transfusion

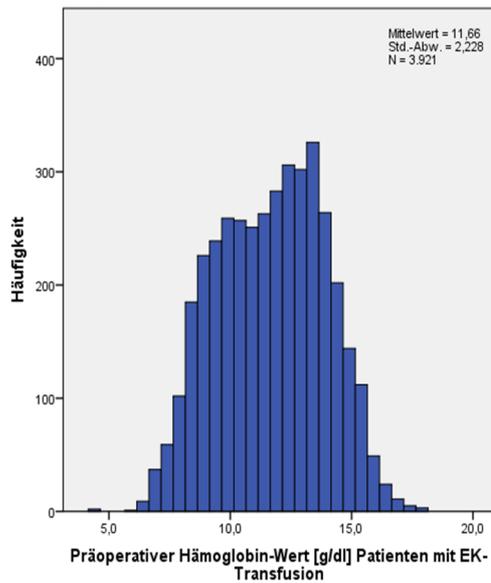
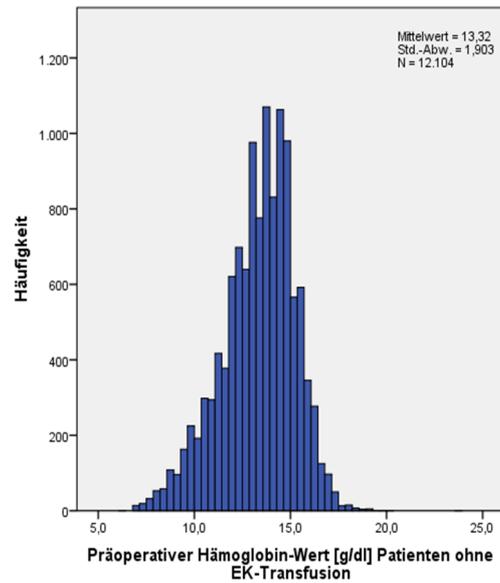


Abbildung 9: Histogramm für die Variable Hb-Wert, Patienten ohne EK-Transfusion



3.2.6 Körperoberfläche

Die 4.879 transfundierten Patienten hatten im Mittel eine Körperoberfläche von 1,84 m² (Abb. 10). Die meisten Transfusionspatienten wiesen eine Körperoberfläche von ungefähr 1,81 m² auf. In Bezug auf die nicht-transfundierten Patienten zeigte sich ein Mittelwert der Körperoberfläche bei 1,88 m² (Abb. 11). Auch bei dieser Patientengruppe war die Körperoberfläche von 1,81 m² am häufigsten.

Unter den Transfusionspatienten stieg der durchschnittliche EK-Verbrauch mit zunehmender Körperoberfläche an: ausgehend von 1,86 EK bis auf einen Durchschnittswert von 7,65 EK bei einer Körperoberfläche von mehr als 2,49 m².

Der Kruskal-Wallis-Test belegte einen statistisch hoch signifikanten Einfluss (p-Wert < 0,001) der Körperoberfläche auf den EK-Bedarf.

Abbildung 10: Histogramm für die Variable Körperoberfläche, mit EK-Transfusion

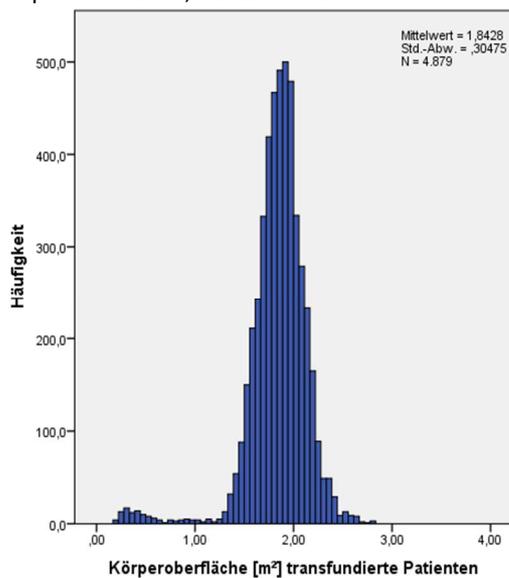
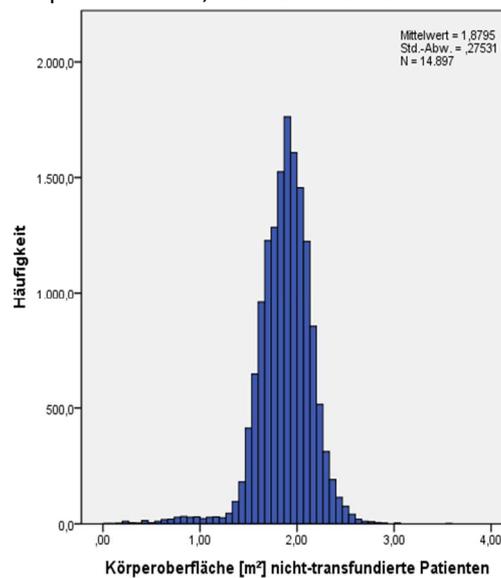


Abbildung 11: Histogramm für die Variable Körperoberfläche, ohne EK-Transfusion



3.3 EK-Verbrauch, Prognosemodell und Genauigkeit des „Bestalgorithms GRH“ bei verschiedenen Eingriffsarten

3.3.1 Bauchaortenaneurysma-Y-Stentgraft (BAA-Y-Stentgraft) und Thorakales Aortenaneurysma Stentgraft (TAA-Stentgraft)

3.3.1.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

Im Untersuchungszeitraum sind 263 Eingriffe durchgeführt worden. Mit einem Anteil von 81,75 % unterzogen sich vor allem männliche Patienten der Behandlung eines Aortenaneurysmas mittels Implantation von endovaskulären Stentprothesen (Tabelle 4). Das eindeutige Geschlechterverhältnis zeigte sich sowohl bei transfundierten Patienten als auch bei Patienten ohne Transfusion. Im Mittel waren die Patienten 70,70 Jahre alt. Bezogen auf die Mittelwerte, waren transfundierte Patienten mit 72,97 Jahren 3 Jahre älter als die Vergleichsgruppe der nicht-transfundierten Patienten.

Tabelle 4: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MW	SD
			n	%	n	%		
Gesamt		263	215	81,75	48	18,25	70,70	11,51
BAA-Y-Stentgraft	EK≥1	38	30	78,95	8	21,05	72,97	8,83
TAA-Stentgraft	EK=0	225	185	82,22	40	17,78	70,31	11,87

Für den Mittelwert der Körperoberfläche ließen sich nur kleine Unterschiede zwischen den beiden Patientengruppen in Höhe von 0,02 m² feststellen (Tabelle 5). Demgegenüber wiesen transfundierte Patienten mit einem Ausgangs-Hb-Wert von 11,24 g/dl einen deutlichen geringeren Wert auf als Patienten ohne Transfusionsbedarf mit einem Wert von 13,21 g/dl.

Tabelle 5: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF (m ²)		Hb-Wert (g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
			BAA-Y-Stentgraft	Gesamt	263	1,95
	EK≥1	38	1,93	0,21	11,24	2,19
TAA-Stentgraft	EK=0	225	1,95	0,22	13,21	1,95

Erwartungsgemäß benötigten Patienten mit nur leichter Allgemeinerkrankung (ASA 2) keine EK (Tabelle 6). Im Gegensatz dazu erhielten alle moribunden Patienten (ASA 5) eine Transfusion. Schwer erkrankte (ASA 3) und lebensbedrohlich erkrankte (ASA 4) Patienten stellten mit 92,11 % den Großteil der Transfusionspatienten. Von den insgesamt 263 durchgeführten Operationen waren 220 geplante Eingriffe (Tabelle 7).

Tabelle 6: ASA-Klassifikation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation									
			1		2		3		4		5	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
BAA-Y-Stentgraft	Gesamt	263	0	0,00	21	7,98	173	65,78	66	25,10	3	1,14
	EK≥1	38	0	0,00	0	0,00	16	42,11	19	50,00	3	7,89
TAA-Stentgraft	EK=0	225	0	0,00	21	9,33	157	69,78	47	20,89	0	0,00

Tabelle 7: Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3	
			n	%	n	%	n	%
BAA-Y-Stentgraft	Gesamt	263	220	83,65	28	10,65	15	5,70
	EK≥1	38	22	57,89	9	23,68	7	18,42
TAA-Stentgraft	EK=0	225	198	88,00	19	8,44	8	3,56

3.3.1.2 Poisson-Regression

Von den 6 ursprünglich berücksichtigten Faktoren ASA-Status (p-Wert: 0,013), Dringlichkeit der Operation (p-Wert < 0,001), Geschlecht (p-Wert: 0,319), Körperoberfläche (p-Wert: 0,005), Hb-Wert (p-Wert < 0,001) und Alter (p-Wert: 0,020) wies lediglich der Faktor Geschlecht keinen statistisch signifikanten Einfluss auf den Transfusionsbedarf auf. Von den verbleibenden 5 Variablen zeigten besonders der Hb-Wert und die Dringlichkeit der Operation mit p-Werten von

kleiner 0,001 hohe statistische Signifikanz. Patienten, deren Gesundheitszustand als ASA 2 klassifiziert worden war, benötigten keine EK und wurden daher aus der weiteren Untersuchung ausgeschlossen.

Der paarweise Vergleich der ASA-Kategorien zeigte, dass sich der EK-Bedarf zwischen allen Gesundheitszuständen signifikant unterschied (p-Werte < 0,015). Im Vergleich zu dem Gesundheitszustand ASA 3 erhöhte eine lebensbedrohliche Erkrankung (ASA 4) den Bedarf an EK um 1 EK (Tabelle 8). Für die Dringlichkeit der Operation ließ sich feststellen, dass der EK-Bedarf bei ungeplanten Operationen und Notfalloperationen jeweils signifikant (p-Werte < 0,001) von geplanten Operationen verschieden war. In Gegensatz dazu traten bei dem Vergleich von ungeplanten Operationen mit Notfalloperationen keine statistisch signifikanten Unterschiede auf.

Für die metrischen Variablen ließ sich festhalten, dass mit sinkendem Alter, mit steigender Körperoberfläche und mit steigendem Hb-Wert der Transfusionsbedarf sank. So führte der Anstieg des Hb-Werts um 1 g/dl zu einem Absinken des EK-Bedarfs um den Faktor 0,752, unter der Voraussetzung, dass die übrigen Variablen konstant waren.

Tabelle 8: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	5,959	1,629	13,382	1	0,000	387,164	15,898	9428,461
Dringl.Code=1	-1,274	0,377	11,445	1	0,001	0,280	0,134	0,585
Dringl.Code=2	-0,064	0,325	0,039	1	0,843	0,938	0,496	1,772
Dringl.Code=3	0					1		
ASACode=3	-1,447	0,492	8,635	1	0,003	0,235	0,090	0,618
ASACode=4	-0,713	0,362	3,885	1	0,049	0,490	0,241	0,996
ASACode=5	0					1		
Alter	0,025	0,011	5,438	1	0,020	1,025	1,004	1,047
KOF	-1,775	0,638	7,734	1	0,005	0,169	0,048	0,592
Hb-Wert	-0,286	0,075	14,385	1	0,000	0,752	0,648	0,871

Mit den Koeffizienten der statistisch signifikanten Faktoren (Tabelle 8) ließ sich die Regressionsgleichung bilden:

$$\lambda = \exp \left(5,959 + \begin{cases} -1,274 \text{ (Dringlichkeit 1)} \\ -0,064 \text{ (Dringlichkeit 2)} \\ 0 \text{ (Dringlichkeit 3)} \end{cases} + \begin{cases} -1,447 \text{ (ASA 3)} \\ -0,713 \text{ (ASA 4)} \\ 0 \text{ (ASA 5)} \end{cases} + 0,025 \times \text{Alter} - 1,775 \times \text{KOF} - 0,286 \times \text{Hb-Wert} \right).$$

3.3.1.3 Prognosentests

Von den insgesamt 88 Operationen, die zwischen 2012 und 2015 durchgeführt wurden und einem Drittel der Gesamtanzahl an Operationen entsprechen, mussten 7 Fälle aufgrund fehlender Hb-Werte von den Prognosentests ausgeschlossen werden.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

Bei 65 der 81 Operationen (80,25 %) hätte die Anzahl der transfundierten EK genau mit der Prognose, die auf Basis der Poisson-Regression erstellt wurde, übereingestimmt (Tabelle 9).

Tabelle 9: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusion	Mittelwert Prognose
BAA-Y-Stentgraft/TAA-Stentgraft	80,25 %	0,67 EK	0,44 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

Das Prognosemodell hätte in 69 von 81 Fällen keinen Transfusionsbedarf vorausgesagt. Dies wäre in 63 Fällen zutreffend gewesen (Tabelle 10). Für die Versorgung des Transfusionsbedarfs (Median) der verbleibenden 6 Operationen wären jeweils 5 EK im Blutdepot bestellt worden (incl. Operation mit Transfusionsbedarf 23 EK und Operation mit Transfusionsbedarf 12 EK). Aufgrund des Algorithmus wären im Blutdepot keine EK auf Abruf vorbereitet worden.

4 der 5 Prognosen in Höhe von 1 EK hätten mit dem Transfusionsbedarf übereingestimmt. Bei jeder Lieferung von 2 EK in den OP wäre der Transfusionsbedarf vollständig abgedeckt worden.

Tabelle 10: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	n	Anzahl Vorhersage	Abdeckung durch	Anzahl Vorhersage	Abdeckung durch	Anzahl Vorhersage	Abdeckung durch
		0 EK	0 EK	1 EK	1 EK	2 EK	2 EK
BAA-Y-Stentgraft	81	69	63/69	5	4/5	7	7/7
TAA-Stentgraft							

Test „Bestallgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Bei Anwendung des „Bestallgorithmus GRH“ hätten 91,36 % der Operationen des Testdatensatzes mit den benötigten EK versorgt werden können (Tabelle 11). Dabei wären bis zu 2 EK, in Abhängigkeit des Ergebnisses des Prognosemodells, in den OP geliefert worden. Da die 85 %-Menge bei 0 EK lag, wären keine zusätzlichen EK auf Abruf im Blutdepot bereitgestellt worden. Damit hätte die Abdeckung des Transfusionsbedarfs einzig auf den Vorhersagen des Prognosemodells beruht (Tabelle 11).

Dieses Vorgehen unterschied sich stark von den Vorgaben des Transfusionskataloges, der eine Bereitstellung von 2 EK für BAA-Y-Stentgraft-Operationen und 4 EK für TAA-Stentgraft-

Operationen vorsah. Damit lagen die Empfehlungen des Transfusionskataloges bei TAA-Stentgraft-Operationen mindestens 2 EK über den Vorgaben der neuen Bestellpraxis.

Tabelle 11: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %-Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus Gesamt	OP-Menge	Blutdepotmenge		
BAA-Y-Stentgraft	91,36 %	91,36 %	0,00 %	0 EK	2 EK/0 EK bzw.
TAA-Stentgraft					4 EK/0 EK

Abweichungsanalyse

Der Bestellalgorithmus hätte bei 9 von 81 Operationen (11,11 %) zu überhöhten EK-Bereitstellungen geführt (Tabelle 12). Diese hätten im Durchschnitt 2 EK über dem Transfusionsbedarf gelegen. Im Gegensatz dazu hatte die Anwendung des Transfusionskataloges bei 75 von 81 Operationen erhöhte EK-Bereitstellungen in Höhe von durchschnittlich 2 EK zur Folge.

Tabelle 12: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK-Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
BAA-Y-Stentgraft/TAA-Stentgraft	11,11 %	1,67 EK	0,35

3.3.2 Eingriffe abdominelle Aorta (infrarenal offen/suprarenal offen)

3.3.2.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

Im Untersuchungszeitraum 2012 bis 2015 haben sich 178 Patienten einem Eingriff an der abdominellen Aorta unterzogen (Tabelle 13). Die 105 transfundierten Patienten waren zu zwei Dritteln männlich und wiesen einen Altersmittelwert von 64,36 Jahren auf.

Tabelle 13: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			w	m	n	%	MW	SD
Eingriffe abdominelle Aorta Infrarenal offen/suprarenal offen	Gesamt	178	46	25,84	132	74,16	63,48	14,39
	EK≥1	105	35	33,33	70	66,67	64,36	14,84
	EK=0	73	11	15,07	62	84,93	62,21	13,71

Der präoperative Hb-Wert der Transfusionspatienten lag mit 12,64 g/dl um 1,72 g/dl unter dem entsprechenden Wert der Nicht-Transfundierte (Tabelle 14). Hinsichtlich der Körperoberfläche ließen sich nur geringe Unterschiede feststellen.

Tabelle 14: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF (m ²)		Hb-Wert (g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
	Gesamt	178	1,90	0,38	13,34	2,11
Eingriffe abdominelle Aorta infrarenal offen/suprarenal offen	EK \geq 1	105	1,88	0,38	12,64	2,23
	EK=0	73	1,94	0,37	14,36	1,43

Die 105 transfundierten Patienten waren zu 29,52 % schwer erkrankt (ASA 3) und zu 57,14 % lebensbedrohlich erkrankt (ASA 4) (Tabelle 15). Außerdem entfielen 13,33 % der abdominalen Eingriffe mit EK-Transfusion auf moribunde Patienten (ASA 5). Zwei Drittel der Operationen mit EK-Transfusion wurden als geplante durchgeführt (Tabelle 16). Der mit 19,05 % relativ hohe Anteil an Notfalloperationen mit EK-Transfusion stand in enger Beziehung zu dem schlechten Allgemeinzustand dieser transfundierten Patienten. So waren von den 20 transfundierten Notfallpatienten 12 als ASA 4 und 8 als ASA 5 eingestuft.

Tabelle 15: ASA-Klassifikation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation									
			1		2		3		4		5	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
	Gesamt	178	1	0,56	5	2,81	73	41,01	84	47,19	15	8,43
Eingriffe abdominelle Aorta infrarenal offen/suprarenal offen	EK \geq 1	105	0	0,00	0	0,00	31	29,52	60	57,14	14	13,33
	EK=0	73	1	1,37	5	6,85	42	57,53	24	32,88	1	1,37

Tabelle 16: Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3	
			n	%	n	%	n	%
	Gesamt	178	136	76,40	20	11,24	22	12,36
Eingriffe abdominelle Aorta infrarenal offen/suprarenal offen	EK \geq 1	105	71	67,62	14	13,33	20	19,05
	EK=0	73	65	89,04	6	8,22	2	2,74

3.3.2.2 Poisson-Regression

Die Variablen ASA-Klassifikation (p-Wert < 0,001), Körperoberfläche (p-Wert < 0,001), Hb-Wert (p-Wert < 0,001) und Alter (p-Wert: 0,001) zeigten einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Zahl der verabreichten EK.

Die Kategorien ASA 1 und ASA 2 wurden aufgrund nicht erfolgter EK-Transfusionen in der Auswertung nicht berücksichtigt (Tabelle 15). Der paarweise Vergleich der ASA-Kategorien zeigte, dass nur zwischen ASA 4 und ASA 5 kein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich des EK-Bedarfs bestand.

Die Körperoberfläche hatte einen ausgeprägten Effekt auf die Zahl der benötigten EK. Diese stieg mit einem zusätzlichen 1 m² an Körperoberfläche um den Faktor 2,860 an (Tabelle 17).

Im Gegensatz dazu führte ein anwachsender Hb-Wert zu einer geringeren Menge an benötigten EK. Eine Erhöhung von 1 g/dl senkte die Nachfrage nach EK um den Faktor 0,796.

Tabelle 17: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	3,310	0,5338	38,454	1	0,000	27,385	9,620	77,958
ASACode=3	-1,111	0,3007	13,654	1	0,000	0,329	0,183	0,593
ASACode=4	-0,024	0,2742	0,008	1	0,929	0,976	0,570	1,670
ASACode=5	0					1		
KOF	1,051	0,2249	21,839	1	0,000	2,860	1,841	4,444
Hb-Wert	-0,228	0,0245	86,545	1	0,000	0,796	0,759	0,835
Alter	-0,017	0,0048	11,877	1	0,001	0,983	0,974	0,993

Das Prognosemodell dieses Eingriffs lautete:

$$\lambda = \exp \left(3,310 + \begin{cases} -1,111 \text{ (ASA 3)} \\ -0,024 \text{ (ASA 4)} \\ 0 \text{ (ASA 5)} \end{cases} + 1,051 \times \text{KOF} - 0,228 \times \text{Hb-Wert} - 0,017 \times \text{Alter} \right).$$

3.3.2.3 Prognosentests

Für das Testen des Prognosemodells und des „Bestellalgorithmus GRH“ standen 59 Operationen, die einem Drittel des Gesamtdatensatzes dieser Eingriffsart entsprachen, zur Verfügung. Es erfolgte ein Ausschluss von 4 Operationen, da bei diesen keine Hb-Werte vermerkt waren.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

Nur bei 18,18 % der verbleibenden 55 Eingriffe hätte das Prognoseergebnis genau der Anzahl an transfundierten EK entsprochen (Tabelle 18).

Tabelle 18: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusionen	Mittelwert Prognosemodell
Eingriffe abdominelle Aorta infrarenal offen/ suprarenal offen	18,18 %	2,56 EK	2,93 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

Bei 13 Operationen hätte die gemäß dem Prognosemodell in den OP gelieferte EK-Menge bei 1 EK gelegen (Tabelle 19). Mit dieser Menge wäre der EK-Bedarf bei 12 Operationen ausreichend versorgt worden. Bei 40 von allen 55 analysierten Operationen hätte das Prognosemodell die in

dieser Arbeit definierte Maximalmenge, also 2 EK, für den OP angegeben (2.5.1). Dadurch wäre zum einen bei 24 Operationen der Transfusionsbedarf abgedeckt worden, und zum anderen wären bei 16 Operationen nur der erste Teil des Transfusionsbedarfs versorgt worden. Um den verbleibenden Transfusionsbedarf (Median) dieser 16 Eingriffe vollständig zu erfüllen, wären zusätzlich jeweils 3 EK aus dem Blutdepot angefordert worden. Aufgrund des Algorithmus wären im Blutdepot ausreichend EK auf Abruf vorbereitet worden.

Tabelle 19: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	n	Anzahl	Abdeckung	Anzahl	Abdeckung	Anzahl	Abdeckung
		Vorhersage 0 EK	durch 0 EK	Vorhersage 1 EK	durch 1 EK	Vorhersage 2 EK	durch 2 EK
Eingriffe abdomnielle Aorta	55	2	2/2	13	12/13	40	24/40

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Mit der neuen Bestellpraxis hätte man 87,27 % der Operationen ausreichend mit EK versorgen können (Tabelle 20). Dabei wäre der EK-Bedarf von 38 der 55 Testoperationen (69,09 %) allein auf Basis des Prognosemodells und von 10 weiteren Operationen durch Zuhilfenahme der „Blutdepotmenge“ abgedeckt worden. Entsprechend der 85 %-Menge wären bei den Patienten stets 5 EK vorbereitet worden. Eine Aufteilung dieser EK-Menge für die Lieferung in den OP und für die Bereithaltung im Blutdepot ergab sich durch das jeweilige Ergebnis des Prognosemodells. Dem gegenüber sah der Transfusionskatalog vor, dass bei jeder Operation dieser Eingriffsart 6 EK in den OP geschickt werden sollten.

Tabelle 20: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %- Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus Gesamt	OP- Menge	Blutdepot- menge		
Eingriffe abdominelle Aorta	87,27 %	69,09 %	18,18 %	5 EK	6 EK/0 EK

Abweichungsanalyse

Bei 47 der 55 (85,45 %) analysierten Operationen wären infolge des Bestellalgorithmus mehr EK bereitgestellt worden als für die Transfusionen benötigt wurden (Tabelle 21). Dabei hätte die Überversorgung des Transfusionsbedarfs im Durchschnitt 4 EK betragen. Der Transfusionskatalog hat bei 87,27 % der Fälle im Durchschnitt 5 EK zu viel empfohlen.

Tabelle 21: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK- Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt		C:T ratio
Eingriffe abdominelle Aorta infrarenal offen/ suprarenal offen	85,45 %		3,91 EK	1,95

3.3.3 Femoro-poplitealer (Fem-pop)/Femoro-cruraler (Fem-crur)/Femoro-femuraler (Fem-fem) cross over Bypass

3.3.3.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

197 Patienten haben sich in den Jahren 2012 bis 2015 einer fem-pop, fem-crur oder fem-fem cross over Bypassoperation unterzogen (Tabelle 22). 71,11 % der transfundierten Patienten waren männlich. Die Patienten mit EK-Transfusion waren im Mittel 73,98 Jahre alt.

Tabelle 22: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			w		m		MW	SD
			n	%	n	%		
Fem-pop/Fem-crur/Fem- fem cross over Bypass	Gesamt	197	64	32,49	133	67,51	70,08	10,31
	EK \geq 1	45	13	28,89	32	71,11	73,98	9,10
	EK=0	152	51	33,55	101	66,45	68,92	10,40

In Bezug auf die Hb-Konzentration vor der OP waren deutliche Unterschiede zwischen transfundierten und nicht-transfundierten Patienten festzustellen (Tabelle 23). Die Transfusionspatienten zeigten mit 10,41 g/dl einen Hb-Wert, der 2,43 g/dl unterhalb des Hb-Werts der Patienten ohne EK-Transfusion lag. Hinsichtlich der Körperoberfläche unterschieden sich die beiden Patientengruppen nur um 0,07 m².

Tabelle 23: KOF und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF (m ²)		Hb-Wert (g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
			Gesamt	197	1,89	0,23
Fem-pop/Fem-crur/Fem- fem cross over Bypass	EK \geq 1	45	1,84	0,24	10,41	1,78
	EK=0	152	1,91	0,23	12,84	1,90

In der Gruppe der transfundierten Patienten stellten Patienten mit schwerer Allgemeinerkrankung (ASA 3) mit 80,00 % den Hauptanteil und lebensbedrohlich erkrankte Patienten (ASA 4) mit 17,78 % den zweitgrößten Anteil (Tabelle 24). 77,78 % der Operationen mit EK-Transfusion waren geplant (Tabelle 25).

Tabelle 24: ASA-Klassifikation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation									
			1		2		3		4		5	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Fem-pop/Fem-	Gesamt	197	0	0,00	8	4,06	168	85,28	21	10,66	0	0,00
crur/Fem-fem	EK≥1	45	0	0,00	1	2,22	36	80,00	8	17,78	0	0,00
cross over Bypass	EK=0	152	0	0,00	7	4,61	132	86,84	13	8,55	0	0,00

Tabelle 25: Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3	
			n	%	n	%	n	%
Fem-pop/Fem-	Gesamt	197	174	88,32	15	7,61	8	4,06
crur/Fem-fem	EK≥1	45	35	77,78	6	13,33	4	8,89
cross over Bypass	EK=0	152	139	91,45	9	5,92	4	2,63

3.3.3.2 Poisson-Regression

Im Untersuchungszeitraum konnte für die Variablen Hb-Wert und Alter ein statistisch signifikanter Einfluss auf den EK-Bedarf nachgewiesen werden. Dabei lagen beide Faktoren deutlich über der Signifikanzschwelle von 0,05 (Tabelle 26).

Das negative Vorzeichen des Regressionskoeffizienten der Variable Hb-Wert belegte eine inverse Beziehung zwischen der Hb-Konzentration und dem EK-Verbrauch. Ein um 1 g/dl ansteigender Hb-Wert senkte den EK-Bedarf um den Faktor 0,675. Im Gegensatz dazu stieg mit wachsendem Alter der EK-Bedarf (Faktor 1,057).

Tabelle 26: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	-0,274	1,3451	0,042	1	0,839	0,760	0,054	10,614
Hb-Wert	-0,393	0,0722	29,668	1	0,000	0,675	0,586	0,777
Alter	0,055	0,0126	19,223	1	0,000	1,057	1,031	1,084

Das Prognosemodell für diesen Eingriff ergibt sich aus den Regressionskoeffizienten (B) der Tabelle 26:

$$\lambda = \exp(-0,274 - 0,393 \times \text{Hb-Wert} + 0,055 \times \text{Alter}).$$

3.3.3.3 Prognosentests

Der Datensatz zum Testen des Prognosemodells und des „Bestellalgorithmus GRH“ umfasste ursprünglich 66 Operationen, was einem Drittel des Gesamtdatensatzes dieser Eingriffsart

entsprach. 4 Eingriffe wurden ausgeschlossen, da zu diesen im Datensatz kein Hb-Wert vermerkt war.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

In 72,58 % der verbleibenden 62 Fälle hätte sich eine genaue Übereinstimmung zwischen Modellergebnis und EK-Verbrauch gezeigt (Tabelle 27).

Tabelle 27: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusionen	Mittelwert Prognose
Fem-pop/Fem-crur/Fem-fem cross over Bypass	72,58 %	0,23 EK	0,46 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

Detaillierte Informationen darüber, in welchem Umfang die jeweils aufgrund des Prognosemodells in den OP gelieferte EK-Menge den EK-Bedarf gedeckt hätte, finden sich in Tabelle 28. So hätten 41 von 42 Prognosen in Höhe von 0 EK mit dem nicht vorhandenen Transfusionsbedarf übereingestimmt. Bei weiteren 14 Eingriffen wären die Prognosen von 1 EK ausreichend gewesen. Bei 3 von 4 Operationen hätte das Prognosemodell mit der Lieferung von 2 EK in den OP ebenfalls den Transfusionsbedarf abgedeckt.

Tabelle 28: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	n	Anzahl Vorhersage		Abdeckung durch		Anzahl Vorhersage		Abdeckung durch	
		0 EK	1 EK	0 EK	1 EK	2 EK	2 EK		
Fem-pop/fem-crur/fem-fem/cross over Bypass	62	42	16	41/42	14/16	4	3/4		

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Sofern die Vorgaben der neuen Bestellpraxis befolgt worden wären, hätte man 95,16 % der Eingriffe ausreichend mit EK versorgen können (Tabelle 29). Gemäß den Regeln dieser Bestellpraxis wären zunächst, in Abhängigkeit des Prognosemodellergebnisses, bis zu 2 EK in den OP geliefert worden. Da die 85 %-Menge 1 EK betragen hatte, wäre nur im Falle einer Prognose von 0 EK eine Bereitstellung eines EK im Blutdepot für eine mögliche spätere Nutzung erfolgt.

Dem gegenüber sah der Transfusionskatalog vor, 2 EK vorzubereiten und in den OP zu schicken.

Tabelle 29: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %-Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus Gesamt	OP-Menge	Blutdepot-menge		
Fem-pop/Fem-crur/Fem-fem cross over Bypass	95,16 %	93,55 %	1,61 %	1 EK	2 EK/0 EK

Abweichungsanalyse

Die auf Grundlage des Prognosemodells und der 85 %-Menge bereitgestellte EK-Menge hätte bei 54 der 62 Operationen (87,10 %) über der benötigten EK-Menge gelegen (Tabelle 30). Der Transfusionsbedarf wäre im Durchschnitt um 1 EK übertroffen gewesen. Die Angaben des Transfusionskataloges haben mit einem Anteil von 93,55 % überhöhten EK-Bereitstellungen und durchschnittlich 2 EK zu viel bereitgestellten EK zu noch höheren Abweichungen geführt.

Tabelle 30: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK-Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
Fem-pop/Fem-crur/Fem-fem cross over Bypass	87,10 %	1,02 EK	1,71

3.3.4 Hemikolektomie rechts/links und Hartmann-Wiederanschluss

3.3.4.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

Die beiden Darmeingriffe „Hemikolektomie rechts/links“ und „Hartmann-Wiederanschluss“ wurden in den Jahren 2012 bis 2015 an 515 Patienten durchgeführt (Tabelle 31). Die insgesamt 47 Fälle mit EK-Transfusion verteilten sich zu 61,70 % auf weibliche und zu 38,30 % auf männliche Patienten. Im Mittel waren diese Patienten 65,94 Jahre alt.

Tabelle 31: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			w		m		MW	SD
			n	%	n	%		
	Gesamt	515	237	46,02	278	53,98	62,75	14,78
Hemikolektomie rechts/links	EK≥1	47	29	61,70	18	38,30	65,94	12,97
Hartmann-Wiederanschluss	EK=0	468	208	44,44	260	55,56	62,43	14,93

Transfundierte und nicht-transfundierte Patienten unterschieden sich deutlich in der Höhe der durchschnittlichen Hb-Konzentration (Tabelle 32). Der Hb-Wert von Patienten, die eine EK-

Transfusion erhalten hatten, lag bei 9,83 g/dl und damit 3,10 g/dl unter dem Hb-Wert der Patienten ohne EK-Transfusion.

Tabelle 32: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF (m ²)		Hb-Wert (g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
Hemikolektomie rechts/links Hartmann-Wiederanschluss	Gesamt	515	1,88	0,25	12,66	2,25
	EK≥1	47	1,85	0,22	9,83	1,92
	EK=0	468	1,89	0,25	12,93	2,09

Im vergleichsweise kleinen Patientenkollektiv der transfundierten Patienten hatten knapp die Hälfte, 48,94 %, eine schwere (ASA 3) und 25,53 % eine lebensbedrohliche Allgemeinerkrankung (ASA 4) (Tabelle 33). Demgegenüber wurden 19,15 % der Patienten mit EK-Transfusion als leicht erkrankt eingestuft. 63,83 % der Operationen mit EK-Transfusion wurden als geplante durchgeführt (Tabelle 34).

Tabelle 33: ASA-Klassifikation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation									
			1		2		3		4		5	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Hemikolektomie Hartmann- Wiederanschluss	Gesamt	515	19	3,69	197	38,25	273	53,01	24	4,66	2	0,39
	EK≥1	47	1	2,13	9	19,15	23	48,94	12	25,53	2	4,26
	EK=0	468	18	3,85	188	40,17	250	53,42	12	2,56	0	0,00

Tabelle 34: Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3	
			n	%	n	%	n	%
Hemikolektomie rechts/links Hartmann-Wiederanschluss	Gesamt	515	472	91,65	37	7,18	6	1,17
	EK≥1	47	30	63,83	13	27,66	4	8,51
	EK=0	468	442	94,44	24	5,13	2	0,43

3.3.4.2 Poisson-Regression

Nur den Einflussfaktoren Dringlichkeit der Operation (p-Wert: 0,024) und Hb-Wert (p-Wert < 0,001) konnte ein statistisch signifikanter Einfluss auf den EK-Verbrauch nachgewiesen werden.

Geplante Operationen erforderten bei sonst konstanten Variablen um den Faktor 0,447 weniger EK als ungeplante Operationen. Da zu 3 von 4 Notfalloperationen (Dringlichkeit 3) im Datensatz keine Hb-Werte erfasst worden waren bzw. keine EK-Transfusion erfolgt war, wurden diese 4 Fälle von der Poisson-Regression ausgeschlossen.

Das negative Vorzeichen des Regressionskoeffizienten der Variable Hb-Wert zeigte an, dass ein steigender Hb-Wert zu einem geringeren EK-Verbrauch führte. Demnach senkte ein um 1 g/dl angestiegener Hb-Wert den EK-Verbrauch um den Faktor 0,583 (Tabelle 35).

Tabelle 35: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	4,777	0,8619	30,721	1	0,000	118,772	21,931	643,220
Dringl.Code=1	-0,805	0,3565	5,099	1	0,024	0,447	0,222	0,899
Dringl.Code=2	0					1		
Hb-Wert	-0,540	0,0904	35,645	1	0,000	0,583	0,488	0,696

Das Prognosemodell für diese Eingriffsart lautete:

$$\lambda = \exp\left(4,777 + \begin{cases} -0,805 \text{ (Dringlichkeit 1)} \\ 0 \text{ (Dringlichkeit 2)} \end{cases} - 0,540 \times \text{Hb-Wert}\right).$$

3.3.4.3 Prognosentests

Zur Überprüfung des Prognosemodells und des „Bestellalgorithmus GRH“ standen 172 Eingriffe zur Verfügung. Die 11 Eingriffe, zu denen im Datensatz kein Hb-Wert erfasst war, wurden nicht für die Tests herangezogen.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

Bei 86,96 % der 161 verbleibenden Fälle hätte die Prognose, nicht das Ergebnis des Algorithmus, genau mit der EK-Transfusion übereingestimmt (Tabelle 36).

Tabelle 36: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusionen	Mittelwert Prognose
Hemikolektomie rechts/links Hartmann-Wiederanschluss	86,96 %	0,22 EK	0,16 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

Das Prognosemodell hätte bei 148 Eingriffen vorgeschlagen, keine EK in den OP zu liefern (Tabelle 37). In 137 Fällen hätte diese Vorhersage zugetroffen. Der Transfusionsbedarf (Median) der übrigen 11 Eingriffe wäre durch das Nachbestellen von jeweils 2 EK gedeckt worden. Aufgrund des Algorithmus wären im Blutdepot keine EK auf Abruf vorbereitet worden. Von den 12 Prognosen, die 1 EK für den OP vorsahen, hätten 10 zur Deckung des Transfusionsbedarfs geführt.

Tabelle 37: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	n	Anzahl		Abdeckung		Anzahl		Abdeckung	
		Vorhersage		durch		Vorhersage		durch	
		0 EK	0 EK	1 EK	1 EK	2 EK	2 EK	2 EK	2 EK
Hemikolektomie rechts/links Hartmann-Wiederanschluss	161	148	137/148	12	10/12	1		0/1	

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Da die 85 %-Menge bei 0 EK lag (Tabelle 38), wäre im Rahmen der neuen Bestellpraxis bei den vorliegenden Eingriffen die Bereitstellung der EK nur nach den Vorgaben des Prognosemodells erfolgt. Es wären also in Abhängigkeit des Modellergebnisses 0 EK bis maximal 2 EK in den OP geliefert worden. Dadurch wären 91,30 % der Operationen ausreichend mit EK versorgt worden. Der Transfusionskatalog sah dagegen vor, dass keine EK vorzubereiten waren.

Tabelle 38: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %- Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus gesamt	OP- Menge	Blutdepot- menge		
Hemikolektomie rechts/links Hartmann- Wiederanschluss	91,30 %	91,30 %	0,00 %	0 EK	0 EK/0 EK

Abweichungsanalyse

Der Bestellalgorithmus hätte bei 8 von 161 Operationen (4,97 %) EK-Mengen vorgegeben, die über dem Transfusionsbedarf lagen (Tabelle 39). Für diese 8 Operationen wären im Mittel 1 EK zu viel bereitgestellt worden. Der Transfusionskatalog sah für diese Eingriffsart keine präoperative Bereitstellung von EK vor.

Tabelle 39: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK- Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
Hemikolektomie rechts/links Hartmann-Wiederanschluss	4,97 %	1,00 EK	0,40

3.3.5 Leberresektion

3.3.5.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

In den Jahren 2012 bis 2015 erfolgten 442 Leberresektionen (Tabelle 40). Unter den transfundierten Patienten zeigte sich eine annähernde Gleichverteilung von weiblichem und männlichem Geschlecht. Hinsichtlich des Altersmittelwerts unterschieden sich transfundierte und nicht-transfundierte Patienten nur um 2 Jahre.

Tabelle 40: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			w		m		MW	SD
			n	%	n	%		
	Gesamt	442	204	46,15	238	53,85	56,32	16,86
Leberresektion	EK≥1	127	60	47,24	67	52,76	54,59	20,65
	EK=0	315	144	45,71	171	54,29	57,01	15,05

Patienten mit EK-Transfusion wiesen sowohl bei der Körperoberfläche als auch beim Hb-Wert niedrigere Werte als die Patienten auf, die keine EK-Transfusion erhalten hatten (Tabelle 41).

Tabelle 41: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF (m ²)		Hb-Wert (g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
				Gesamt	442	1,82
Leberresektion	EK≥1	127	1,73	0,43	11,78	2,30
	EK=0	315	1,85	0,28	13,49	1,67

Von den 127 transfundierten Patienten wiesen 88 eine schwere Allgemeinerkrankung (ASA 3) auf (Tabelle 42). Demgegenüber war nur ein Viertel der Transfusionspatienten geringfügig erkrankt (ASA 2). Mit Ausnahme von 2 Operationen waren alle Operationen mit EK-Transfusion geplant (Tabelle 43).

Tabelle 42: ASA-Klassifikation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation									
			1		2		3		4		5	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
	Gesamt	442	10	2,26	136	30,77	287	64,93	9	2,04	0	0,00
Leberresektion	EK≥1	127	0	0,00	32	25,20	88	69,29	7	5,51	0	0,00
	EK=0	315	10	3,17	104	33,02	199	63,17	2	0,63	0	0,00

Tabelle 43: Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3	
			n	%	n	%	n	%
	Gesamt	442	437	98,87	5	1,13	0	0,00
Leberresektion	EK≥1	127	125	98,43	2	1,57	0	0,00
	EK=0	315	312	99,05	3	0,95	0	0,00

3.3.5.2 Poisson-Regression

Bis auf den Einflussfaktor „Körperoberfläche“ konnte für alle berücksichtigten Variablen ein statistisch signifikanter Einfluss auf den EK-Verbrauch nachgewiesen werden (Tabelle 44).

Tabelle 44: Modelleffekte

	Wald-Chi- Quadrat	df	Sig.
Konstanter Term	172,109	1	0,000
Geschlecht	7,375	1	0,007
ASA	8,484	2	0,014
Dringlichkeit der OP	29,947	1	0,000
Hb-Wert	141,979	1	0,000
Alter	9,276	1	0,002

Da kein Patient der Kategorie ASA 1 eine EK-Transfusion erhalten hatte, wurde diese von der Poisson-Regression ausgeschlossen (Tabelle 42). Der paarweise Vergleich für die verbleibenden ASA Kategorien 2, 3 und 4 zeigte, dass zwischen den Kategorien ASA 2 und ASA 4 sowie ASA 3 und ASA 4 ein statistisch signifikanter Unterschied in Bezug auf den EK-Verbrauch bestand.

Der paarweise Vergleich für die Variable „Dringlichkeit der Operation“ konnte hinsichtlich des EK-Verbrauchs keinen Unterschied zwischen geplanten und ungeplanten Operationen feststellen. Dieses Ergebnis hat aufgrund der geringen Anzahl an ungeplanten Operationen (n=3) jedoch nur eine eingeschränkte Aussagekraft.

Ein Anstieg des Hb-Werts führte zu einem sinkenden EK-Bedarf (Tabelle 45). Ein um 1 g/dl gesteigener Hb-Wert verringerte den EK-Bedarf um den Faktor 0,708. Demgegenüber stieg mit einem zusätzlichen Lebensjahr der Bedarf an EK um den Faktor 1,011 an.

Tabelle 45: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	5,833	0,4332	181,329	1	0,000	341,506	146,103	798,244
Geschlecht: weiblich	-0,345	0,1272	7,375	1	0,007	0,708	0,552	0,908
Geschlecht: männlich	0					1		
ASACode=2	-0,378	0,2354	2,580	1	0,108	0,685	0,432	1,087
ASACode=3	-0,576	0,2113	7,440	1	0,006	0,562	0,371	0,850
ASACode=4	0					1		
Dringl.Code=1	-1,500	0,2741	29,947	1	0,000	0,223	0,130	0,382
Dringl.Code=2	0					1		
Hb-Wert	-0,346	0,0290	141,979	1	0,000	0,708	0,668	0,749
Alter	0,011	0,0035	9,276	1	0,002	1,011	1,004	1,018

Das Prognosemodell lässt sich aus den Regressionskoeffizienten (B) der Tabelle 45 bilden:

$$\lambda = \exp \left(5,833 + \begin{cases} -0,345 \text{ (weiblich)} \\ 0 \text{ (männlich)} \end{cases} + \begin{cases} -0,378 \text{ (ASA 2)} \\ -0,576 \text{ (ASA 3)} \\ 0 \text{ (ASA 4)} \end{cases} + \begin{cases} -1,500 \text{ (Dringlichkeit 1)} \\ 0 \text{ (Dringlichkeit 2)} \end{cases} - 0,346 \times \text{Hb-Wert} + 0,011 \times \text{Alter} \right)$$

3.3.5.3 Prognosentests

Für das Testen der Genauigkeit des Prognosemodells und des „Bestellalgorithmus GRH“ standen 147 Eingriffe zur Verfügung. Dabei war für 4 Patienten im zugrundeliegenden Datensatz kein Hb-Wert vermerkt, sie wurden daher von den Prognosentests ausgeschlossen.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

Dieser Prognosentest gab an, dass bei 31 von 143 Patienten die prognostizierte Menge genau mit der EK-Transfusionsmenge übereingestimmt hätte (Tabelle 46).

Tabelle 46: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusion	Mittelwert Prognose
Leberresektion	21,68 %	0,92 EK	1,26 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

27 von den 34 Prognosen in Höhe von 0 EK hätten den Bedarf zutreffend angegeben (Tabelle 47). Bei 79 Leberresektionen hätte das Prognosemodell 1 EK für den OP vorhergesagt. Dadurch wäre der EK-Bedarf von 63 Eingriffen gedeckt worden. Zur Versorgung des verbleibenden Transfusionsbedarfs (Median) der übrigen 16 Operationen wären im Blutdepot jeweils 2 EK angefordert worden. Aufgrund des Bestellalgorithmus läge 1 EK im Blutdepot auf Abruf bereit. 19 der 30 Vorhersagen in Höhe von 2 EK wären für den jeweiligen EK-Bedarf ausreichend gewesen. Das Prognosemodell hätte mit den übrigen 11 Vorhersagen in Höhe von 2 EK sichergestellt, dass der erste Teil des gesamten Transfusionsbedarfs abgedeckt wäre.

Tabelle 47: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	n	Anzahl Vorhersage		Abdeckung durch		Anzahl Vorhersage		Abdeckung durch	
		0 EK		0 EK		1 EK		1 EK	
		0 EK	0 EK	1 EK	1 EK	2 EK	2 EK		
Leberresektion	143	34	27/34	79	63/79	30	19/30		

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Die neue Bestellpraxis hätte zu einer ausreichenden EK-Versorgung bei 86,71 % der Operationen geführt (Tabelle 48). Da die 85 %-Menge bei 2 EK lag, wären für die Operationen dieser Eingriffsart stets 2 EK bereitgestellt worden. Die Verteilung dieser 2 EK auf OP und Blutdepot wäre in Abhängigkeit des Prognosemodellergebnisses erfolgt. Die auf Grundlage des Prognosemodells bestimmte EK-Menge („OP-Menge“) hätte den Bedarf von 76,22 % der Operationen gedeckt (Tabelle 48). Weitere 15 Operationen (10,49 %) wären durch das Zurückgreifen auf die „Blutdepotmenge“ ausreichend mit EK versorgt worden. Der Transfusionskatalog sah vor, stets 2 EK in den OP zu liefern, und stimmte bei dieser Eingriffsart in der Höhe der vorbereiteten EK mit der 85 %-Menge überein.

Tabelle 48: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %- Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus Gesamt	OP- Menge	Blutdepot- menge		
Leberresektion	86,71 %	76,22 %	10,49 %	2 EK	2 EK/0 EK

Abweichungsanalyse

Bei 111 von 143 Operationen hätten infolge der Vorgaben des Bestellalgorithmus überhöhte EK-Bereitstellungen vorgelegen (Tabelle 49). Dabei wären im Durchschnitt 2 EK zu viel vorbereitet worden. Das Vorgehen gemäß Transfusionskatalog hat zu denselben Abweichungen geführt.

Tabelle 49: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK-Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
Leberresektion	77,62 %	1,91	2,17

3.3.6 Lebertransplantation

3.3.6.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

Im Untersuchungszeitraum war bei 200 der insgesamt 226 durchgeführten Operationen eine EK-Transfusion erforderlich (Tabelle 50). Dies entspricht einer Transfusionswahrscheinlichkeit von 88,50 %. Es zeigten sich deutliche Unterschiede in der Operations- und Transfusionshäufigkeit zwischen männlichen und weiblichen Patienten. So entfielen zwei Drittel der Gesamtanzahl an Operationen und auch zwei Drittel der Operationen mit Transfusionen auf männliche Patienten.

Tabelle 50: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			w		m		MW	SD
			n	%	n	%		
	Gesamt	226	76	33,63	150	66,37	50,96	12,46
Leber-Tx	EK≥1	200	67	33,50	133	66,50	51,38	11,86
	EK=0	26	9	34,62	17	65,38	47,69	16,25

Transfundierte Patienten wiesen einen um 2,64 g/dl niedrigeren Hb-Wert auf als die Patienten ohne EK-Transfusion (Tabelle 51). Die Körperoberfläche der Transfusionspatienten war um 0,06 m² größer als die der nicht-transfundierten Patienten.

Tabelle 51: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF (m ²)		Hb-Wert (g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
	Gesamt	226	1,94	0,23	10,34	2,43
Leber-Tx	EK≥1	200	1,95	0,24	10,03	2,27
	EK=0	26	1,89	0,21	12,67	2,42

55,00 % der transfundierten Patienten wiesen eine schwere Allgemeinerkrankung (ASA 3) auf (Tabelle 52). Zusätzlich wurden 42,00 % als lebensbedrohlich erkrankt (ASA 4) eingestuft. In der großen Mehrzahl (90,50 %) waren Operationen mit EK-Transfusion definitionsgemäß ungeplant.

Tabelle 52: ASA-Klassifikation und Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation										Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Gesamt		226	0	0,00	2	0,88	131	57,96	88	38,94	5	2,21	6	2,65	202	89,38	18	7,96
Leber-Tx	EK≥1	200	0	0,00	2	1,00	110	55,00	84	42,00	4	2,00	4	2,00	181	90,50	15	7,50
	EK=0	26	0	0,00	0	0,00	21	80,77	4	15,38	1	3,85	2	7,69	21	80,77	3	11,54

3.3.6.2 Poisson-Regression

Die Parameter ASA-Code (p-Wert: 0,003), Geschlecht (p-Wert: 0,019), Hb-Wert (p-Wert < 0,001) und Körperoberfläche (p-Wert < 0,001) hatten einen statistisch signifikanten Einfluss auf den EK-Verbrauch.

Der paarweise Vergleich zwischen den ASA-Kategorien zeigte, dass sich der EK-Verbrauch nicht nach dem Gesundheitszustand bestimmte, sondern vielmehr durch die Schwere des Eingriffs selbst.

Das negative Vorzeichen des Regressionskoeffizienten der Variable Hb-Wert gab eine inverse Beziehung zwischen dem Hb-Wert und dem EK-Bedarf an (Tabelle 53). So ist ein um 1 g/dl gestiegener Hb-Wert, bei sonst konstanten Variablen, mit einem um den Faktor 0,883 absinkenden EK-Bedarf verbunden.

Demgegenüber führte ein Anstieg der Körperoberfläche um 1 m² zu einer Erhöhung des EK-Bedarfs um den Faktor 3,271.

Tabelle 53: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	-0,468	0,5345	0,768	1	0,381	0,626	0,220	1,785
ASACode=2	1,091	0,4839	5,082	1	0,024	2,977	1,153	7,685
ASACode=3	1,305	0,4104	10,107	1	0,001	3,686	1,649	8,239
ASACode=4	1,167	0,4119	8,022	1	0,005	3,211	1,432	7,198
ASACode=5	0					1		
Geschlecht: weiblich	0,193	0,0818	5,539	1	0,019	1,212	1,033	1,423
Geschlecht: männlich	0					1		
Hb-Wert	-0,124	0,0146	72,042	1	0,000	0,883	0,859	0,909
KOF	1,185	0,1508	61,808	1	0,000	3,271	2,434	4,396

Das Prognosemodell dieser Eingriffsart lautete:

$$\lambda = \exp \left(-0,468 + \begin{cases} 1,091 \text{ (ASA 2)} \\ 1,305 \text{ (ASA 3)} \\ 1,167 \text{ (ASA 4)} \\ 0 \text{ (ASA 5)} \end{cases} + \begin{cases} 0,193 \text{ (weiblich)} \\ 0 \text{ (männlich)} \end{cases} - 0,124 \times \text{Hb-Wert} + 1,185 \times \text{KOF} \right).$$

3.3.6.3 Prognosentests

Für das Überprüfen der Genauigkeit des Prognosemodells und des „Bestellalgorithmus GRH“ standen zunächst 75 Eingriffe zur Verfügung, wegen nicht dokumentiertem Hb-Wert musste ein Fall von den weiteren Tests ausgeschlossen werden.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

Nur bei 8,11 % der verbleibenden 74 Lebertransplantationen hätte die Prognose mit der EK-Transfusion genau übereingestimmt (Tabelle 54).

Tabelle 54: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusionen	Mittelwert Prognose
Leber-Tx	8,11 %	6,2 EK	7,0 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

Das Prognosemodell hätte für alle analysierten Lebertransplantationen (n=74) 2 EK für den OP bestimmt (Tabelle 55). Durch diese Menge wäre nur bei 24 Eingriffen der EK-Bedarf ausreichend gedeckt worden. Bei den übrigen Operationen hätte die in den OP gelieferte Menge von 2 EK demnach nur den ersten Teil der Gesamtanzahl an transfundierten EK ausgemacht. Zur Deckung des verbleibenden Transfusionsbedarfs (Median) dieser 50 Operationen wären zusätzlich jeweils 4 EK aus dem Blutdepot abgerufen worden. Aufgrund des Algorithmus wären im Blutdepot ausreichend EK auf Abruf vorbereitet worden.

Tabelle 55: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	Anzahl Vorhersage n	Abdeckung		Abdeckung		Abdeckung	
		0 EK	0 EK	1 EK	1 EK	2 EK	2 EK
Leber-Tx	74	0	0/74	0	0/74	74	24/74

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Hingegen hätten bei der Anwendung der neuen Bestellpraxis 63 Lebertransplantationen (85,14 %) ausreichend mit EK versorgt werden können (Tabelle 56). Die Abdeckung des Transfusionsbedarfs von 24 Eingriffen (32,43 %) hätte man zunächst mit der Menge erreicht, die dem Ergebnis des Prognosemodells bis maximal 2 EK („OP-Menge“) entsprochen hätte. Zusätzlich wären je nach Höhe der bereits in den OP gelieferten Menge weitere EK im Blutdepot

für eine spätere Nutzung vorbereitet worden. Zusammen mit dieser sog. „Blutdepotmenge“ hätte man weitere 39 Operationen (52,71 %) mit ausreichend EK versorgen können. Der Transfusionskatalog sah hingegen vor, dass stets 6 EK in den OP geliefert werden sollten. Mit dieser EK-Menge wäre im Zeitraum 2012 bis 2015 nur bei 66,67 % der Lebertransplantationen eine Bedarfsdeckung erreicht worden.

Tabelle 56: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %-Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus Gesamt	OP-Menge	Blutdepotmenge		
Leber-Tx	85,14 %	32,43 %	52,71 %	10 EK	6 EK/0 EK

Abweichungsanalyse

Bei 82,43 % der 74 Operationen hätte das Ergebnis des Bestellalgorithmus über dem Transfusionsbedarf gelegen (Tabelle 57). Bei diesen 61 Fällen wären im Durchschnitt 6 EK zu viel bereitgestellt worden. Da gemäß Transfusionskatalog nur 6 EK pro Operation bereitgestellt wurden, liegt der Anteil an Operationen mit überhöhter EK-Bereitstellung (55,41 %) und die Anzahl der durchschnittlich zu viel bereitgestellten EK (4 EK) deutlich unter Ergebnissen des „Bestellalgorithmus GRH“.

Tabelle 57: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK-Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
Leber-Tx	82,43 %	6,21 EK	1,61

3.3.7 Lungentransplantation

3.3.7.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

In den Jahren 2012 bis 2015 wurden 172 der 233 Lungentransplantationen mit einer EK-Transfusion durchgeführt. Dies entspricht einer Transfusionsquote von 73,82 % (Tabelle 58). Dabei zählten männliche und weibliche Patienten etwa zu gleichen Teilen zu den Transfusionspatienten. Patienten, die eine EK-Transfusion erhalten hatten, waren mit 47,27 Jahren im Mittel 10 Jahre jünger als die Patienten ohne EK-Transfusion.

Tabelle 58: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MW	SD
			n	%	n	%		
	Gesamt	233	127	54,51	106	45,49	49,75	12,95
Lungen-Tx	EK≥1	172	82	47,67	90	52,33	47,27	13,22
	EK=0	61	45	73,77	16	26,23	56,72	9,10

Patienten mit EK-Transfusion wiesen eine um 0,14 m² geringere Körperoberfläche auf als die Vergleichsgruppe der Patienten ohne EK-Transfusion (Tabelle 59). Auch beim Hb-Wert liegen die Transfusionspatienten mit einem Mittelwert von 12,11 g/dl unter dem Wert (14,06 g/dl) der Patienten, die keine EK-Transfusion erhalten hatten.

Tabelle 59: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF (m ²)		Hb-Wert (g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
	Gesamt	233	1,76	0,23	12,63	2,28
Lungen-Tx	EK≥1	172	1,72	0,23	12,11	2,30
	EK=0	61	1,86	0,20	14,06	1,49

Der Großteil (79,65 %) der transfundierten Patienten wies eine lebensbedrohliche Allgemeinerkrankung (ASA 4) auf (Tabelle 60). Zusätzlich litten in der Teilgruppe der transfundierten Patienten 19,19 % unter einer schweren Allgemeinerkrankung (ASA 3). Bis auf 4 Notfalloperationen waren alle Lungentransplantationen mit EK-Transfusion definitionsgemäß als ungeplant eingestuft.

Tabelle 60: ASA-Klassifikation und Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation										Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
	Gesamt	233	1	0,43	0	0,00	47	20,17	183	78,54	2	0,86	0	0,00	229	98,28	4	1,72
Lungen-Tx	EK≥1	172	1	0,58	0	0,00	33	19,19	137	79,65	1	0,58	0	0,00	168	97,67	4	2,33
	EK=0	61	0	0,00	0	0,00	14	22,95	46	75,41	1	1,64	0	0,00	61	100,00	0	0,00

3.3.7.2 Poisson-Regression

Bei den Variablen Dringlichkeit der Operation, Geschlecht, Alter und Hb-Wert lag der p-Wert unter 0,001. Somit war ein statistisch signifikanter Einfluss auf den EK-Verbrauch nachgewiesen.

Beim paarweisen Vergleich für den Einflussfaktor „Dringlichkeit der Operation“ ließ sich hinsichtlich des EK-Verbrauchs kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den ungeplanten- und den Notfalloperationen feststellen. Die Aussagekraft dieses paarweisen Vergleichs ist aufgrund von nur 3 durchgeführten Notfalloperationen stark eingeschränkt.

Weibliche Patienten benötigten bei sonst konstanten Variablen mehr EK (Faktor 1,356) als männliche Patienten (Tabelle 61).

Sowohl mit steigendem Alter als auch mit steigendem Hb-Wert sank die Zahl der benötigten EK. Der EK-Bedarf verringerte sich mit jedem zusätzlichen Lebensjahr um den Faktor 0,991 und mit jedem zusätzlichen g/dl um den Faktor 0,824.

Tabelle 61: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	2,751	0,3897	49,830	1	0,000	15,662	7,296	33,620
Dringl.Code=2	1,460	0,3603	16,419	1	0,000	4,305	2,125	8,723
Dringl.Code=3	0					1		
Geschlecht: weiblich	0,305	0,0762	15,990	1	0,000	1,356	1,168	1,574
Geschlecht: männlich	0					1		
Alter	-0,009	0,0027	10,899	1	0,001	0,991	0,986	0,996
Hb-Wert	-0,194	0,0182	114,190	1	0,000	0,824	0,795	0,854

Aus den Regressionskoeffizienten (B) der Tabelle 61 ergab sich das Prognosemodell:

$$\lambda = \exp\left(2,751 + \begin{cases} 1,460 \text{ (Dringlichkeit 2)} \\ 0 \text{ (Dringlichkeit 3)} \end{cases} + \begin{cases} 0,305 \text{ (weiblich)} \\ 0 \text{ (männlich)} \end{cases} - 0,009 \times \text{Alter} - 0,194 \times \text{Hb-Wert}\right).$$

3.3.7.3 Prognosentests

Für das Testen der Vorhersagegenauigkeit des Prognosemodells und des „Bestellalgorithmus GRH“ standen ursprünglich die Werte von 78 Operationen zur Verfügung. Die 4 Operationen, zu denen im Datensatz kein Hb-Wert vermerkt war, wurden von den weiteren Tests ausgeschlossen.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

Nur bei 8 Operationen entspräche die Prognosemenge genau der Transfusionsmenge (Tabelle 62).

Tabelle 62: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusionen	Mittelwert Prognose
Lungen-Tx	10,81 %	4,68 EK	4,90 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

Bei jeder der 74 analysierten Operationen wären gemäß dem Ergebnis des Prognosemodells 2 EK in den OP geliefert worden (Tabelle 63). Durch diese EK-Menge, hätten bereits 34 Operationen mit den benötigten EK versorgt werden können. Somit wäre bei den übrigen 40 Eingriffen durch die Lieferung von 2 EK erst ein Teil des Gesamtbedarfs an EK bereitgestellt gewesen. Zur Deckung des verbleibenden Transfusionsbedarfs (Median) dieser 40 Operationen hätten jeweils weitere 4 EK aus dem Blutdepot angefordert werden müssen. Aufgrund des Algorithmus wären im Blutdepot ausreichend EK auf Abruf vorbereitet worden.

Tabelle 63: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	Anzahl		Abdeckung		Anzahl		Abdeckung	
	Vorhersage		durch		Vorhersage		durch	
	n	0 EK	0 EK	1 EK	1 EK	2 EK	2 EK	
Lungen-Tx	74	0	0/74	0	0/74	74	34/74	

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Im Falle der Anwendung der neuen Bestellpraxis, wäre bei 87,84 % der Eingriffe der EK-Bedarf vollständig bedient worden (Tabelle 64). Dabei wären insgesamt maximal 8 EK für jeden Eingriff vorbereitet worden. In Abhängigkeit des Modellergebnisses wären bis zu 2 EK in den OP geschickt worden. Mit dieser sog. „OP-Menge“ hätte man den Transfusionsbedarf von 34 Operationen (45,95 %) abdecken können (Tabelle 64). Aus der Differenz der 85 %-Menge und der „OP-Menge“ ergäbe sich eine im Blutdepot bereitgestellte Reservemenge zwischen 6 und 8 EK. Durch Berücksichtigung der „Blutdepotmenge“ wären 31 weitere Eingriffe mit den benötigten EK versorgt worden.

Der Transfusionskatalog sah vor, dass für eine Single-Lungentransplantation 6 EK und für eine Doppel-Lungentransplantation 10 EK in den OP geliefert werden sollten. Mit 8 EK wäre der Transfusionsbedarf von 87,84 % der Single- und Doppellungentransplantationen ausreichend abgedeckt worden. Im Datensatz wurde aufgrund derselben OPS-Codierung keine Unterscheidung zwischen Single- und Doppellungentransplantationen getroffen.

Tabelle 64: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %-Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus gesamt	OP-Menge	Blutdepot- menge		
Lungen-Tx	87,84 %	45,95 %	41,89 %	8 EK	6 EK/0 EK bzw. 10 EK/0 EK

Abweichungsanalyse

Bei 59 von 74 Operationen hätte der Bestellalgorithmus zu einer Überversorgung des Transfusionsbedarfs geführt (Tabelle 65). Die bereitgestellte EK-Menge läge im Mittel 6 EK über der benötigten EK-Menge. Die Angaben gemäß Transfusionskatalog übertrafen in 81,08 % der Fälle den EK-Bedarf. Diese Operationen waren pro Fall im Durchschnitt um 6 EK überversorgt.

Tabelle 65: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK- Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
Lungentransplantation	79,73 %	5,73 EK	1,71

3.3.8 Majoramputationen

3.3.8.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

223 Patienten haben sich zwischen 2012 und 2015 einer Majoramputation³ unterzogen (Tabelle 66). Dabei erfolgten 41 der 69 Operationen mit EK-Transfusion (59,42 %) bei Männern. Im Durchschnitt waren die Transfusionspatienten 66,12 Jahre alt und damit ein Jahr jünger als Patienten, die keine EK-Transfusion benötigten.

Tabelle 66: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter	
			w		m		Jahre	
			n	%	n	%	MW	SD
	Gesamt	223	78	34,98	145	65,02	66,46	15,49
Majoramputationen	EK≥1	69	28	40,58	41	59,42	66,12	16,28
	EK=0	154	50	32,47	104	67,53	66,61	15,17

Im Mittel wiesen die transfundierten Patienten eine etwas größere Körperoberfläche auf als die Patienten ohne EK-Transfusion (Tabelle 67). Der Hb-Wert der Transfusionspatienten lag im Durchschnitt bei 9,37 g/dl und damit 1,34 g/dl unter dem entsprechenden Wert der nicht-transfundierten Patienten.

Tabelle 67: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF		Hb-Wert	
			(m ²)		(g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
	Gesamt	223	1,88	0,29	10,28	1,85
Majoramputationen	EK≥1	69	1,93	0,28	9,37	1,36
	EK=0	154	1,85	0,29	10,71	1,90

Von den 69 Patienten, die eine EK-Transfusion erhielten, waren 30 schwer allgemein (ASA 3) und 36 lebensbedrohlich (ASA 4) erkrankt (Tabelle 68). Knapp mehr als die Hälfte dieser Operationen wurden als geplant eingestuft (Tabelle 69). Die übrigen Operationen verteilten sich annähernd gleich auf definitionsgemäß ungeplante Operationen und auf Notfalloperationen.

Tabelle 68: ASA-Klassifikation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation									
			1		2		3		4		5	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
	Gesamt	223	3	1,35	14	6,28	129	57,85	74	33,18	3	1,35
Majoramputationen	EK≥1	69	0	0,00	2	2,90	30	43,48	36	52,17	1	1,45
	EK=0	154	3	1,95	12	7,79	99	64,29	38	24,68	2	1,30

³ Amputation und Exartikulation der unteren Extremität

Tabelle 69: Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3	
			n	%	n	%	n	%
	Gesamt	223	157	70,40	46	20,63	20	8,97
Majoramputationen	EK \geq 1	69	37	53,62	17	24,64	15	21,74
	EK=0	154	120	77,92	29	18,83	5	3,25

3.3.8.2 Poisson-Regression

Die Variablen ASA-Code (p-Wert: 0,010), Dringlichkeit der Operation (p-Wert: 0,012), Alter (p-Wert < 0,001) und Hb-Wert (p-Wert < 0,001) hatten einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Anzahl der transfundierten EK.

Die Fälle der ASA-Kategorien 1 und 5 wurden von der Poisson-Regression ausgeschlossen, da bei ihnen keine EK-Transfusion durchgeführt wurde bzw. im Datensatz kein Hb-Wert dokumentiert war. Der paarweise Vergleich für den Parameter ASA-Klassifikation konnte hinsichtlich des EK-Verbrauchs nur für das Paar ASA 3 und ASA 4 einen signifikanten Unterschied (p=0,003) feststellen. Im Vergleich zur Referenzkategorie der lebensbedrohlich Erkrankten (ASA 4) benötigten ASA 2 und ASA 3 Patienten weniger EK (Tabelle 70).

Für den Einflussfaktor Dringlichkeit der Operation zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied des EK-Verbrauchs nur zwischen geplanten Operationen und Notfalloperationen.

Sowohl ein steigendes Alter als auch ein steigender Hb-Wert führten zu einem sinkenden EK-Verbrauch.

Tabelle 70: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	5,250	0,8180	41,192	1	0,000	190,535	38,345	946,752
ASACode=2	-0,521	0,7704	0,457	1	0,499	0,594	0,131	2,689
ASACode=3	-0,734	0,2410	9,272	1	0,002	0,480	0,299	0,770
ASACode=4	0					1		
Dringl.Code=1	-0,849	0,2851	8,862	1	0,003	0,428	0,245	0,748
Dringl.Code=2	-0,589	0,3213	3,361	1	0,067	0,555	0,296	1,042
Dringl.Code=3	0					1		
Alter	-0,027	0,0065	16,907	1	0,000	0,974	0,961	0,986
Hb-Wert	-0,302	0,0797	14,322	1	0,000	0,740	0,633	0,865

Folgendes Prognosemodell ließ sich mit Hilfe der Regressionskoeffizienten (B) aus Tabelle 70 bilden:

$$\lambda = \exp \left(5,250 + \begin{Bmatrix} -0,521 \text{ (ASA 2)} \\ -0,734 \text{ (ASA 3)} \\ 0 \text{ (ASA 4)} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -0,849 \text{ (Dringlichkeit 1)} \\ -0,589 \text{ (Dringlichkeit 2)} \\ 0 \text{ (Dringlichkeit 3)} \end{Bmatrix} - 0,027 \times \text{Alter} - 0,302 \times \text{Hb-Wert} \right).$$

3.3.8.3 Prognosentests

Zur Überprüfung der Genauigkeit des Prognosemodells und des „Bestellalgorithmus GRH“ konnten die Daten von zunächst 74 Patienten herangezogen werden. Davon wurden 5 nicht berücksichtigt, da für sie im Datensatz kein Hb-Wert erfasst war.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

Bei 42 der verbleibenden 69 Patienten (60,87 %) hätten die Prognosen mit den EK-Transfusionen genau übereingestimmt (Tabelle 71).

Tabelle 71: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusionen	Mittelwert Prognose
Majoramputationen	60,87 %	0,75 EK	0,60 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

Bei 44 Operationen hätte das Prognosemodell vorhergesagt, dass keine EK benötigt werden. Dies hätte in 36 Fällen dem nicht vorhandenen Transfusionsbedarf entsprochen (Tabelle 72). Zur Deckung des Transfusionsbedarfs (Median) der übrigen 8 Operationen wären jeweils 1 EK im Blutdepot angefordert worden. Aufgrund des Algorithmus wären im Blutdepot ausreichend EK auf Abruf vorbereitet worden. Bei 17 Operationen wäre gemäß dem Prognosemodell 1 EK in den OP geliefert worden. Dadurch hätte bei 14 Eingriffen der Transfusionsbedarf gedeckt werden können. Die eine Hälfte der Prognosen in Höhe von 2 EK hätte den EK-Bedarf versorgt, die andere Hälfte hätte eine teilweise Abdeckung des Transfusionsbedarfs erreicht.

Tabelle 72: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	n	Anzahl Vorhersage 0 EK		Anzahl Vorhersage 1 EK		Anzahl Vorhersage 2 EK	
		Anzahl	Abdeckung durch	Anzahl	Abdeckung durch	Anzahl	Abdeckung durch
Majoramputationen	69	44	36/44	17	14/17	8	4/8

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Die Bereitstellung von maximal 2 EK, die der 85 %-Menge entsprachen, hätte bei 63 Transfusionen (91,30 %) den EK-Bedarf gedeckt (Tabelle 73). Die in den OP geschickte EK-Menge hätte gemäß dem jeweiligen Prognoseergebnisses 0 EK bis 2 EK betragen. Damit wäre der

Transfusionsbedarf von 54 Operationen ausreichend gedeckt worden. Im Blutdepot wären in Abhängigkeit des Prognoseergebnisses bis zum Erreichen der 85 %-Menge (2 EK) zusätzliche EK vorbereitet worden. Durch Zurückgreifen auf diese „Blutdepotmenge“ hätten 9 weitere Operationen mit den benötigten EK versorgt werden können (Tabelle 73).

Die neue Bestellpraxis und der Transfusionskatalog sahen dieselbe Menge (2 EK) bereitzustellender EK vor. Im Unterschied zur starren Vorgabe des Transfusionskatalogs, stets 2 EK in den OP zu liefern, ergab sich bei der neuen Bestellpraxis diese Menge immer aus dem Prognosemodell.

Tabelle 73: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %-Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus gesamt	OP-Menge	Blutdepot- menge		
Majoramputationen	91,30 %	78,26 %	13,04 %	2 EK	2 EK/0 EK

Abweichungsanalyse

Bei 57 Majoramputationen (82,61 %) hätte auf Grundlage des Bestellalgorithmus die bereitgestellte EK-Menge die Transfusionsmenge (Tabelle 74) übertroffen. Dabei läge der Unterschied zwischen diesen beiden EK-Mengen bei durchschnittlich 2 EK. Dieselben Abweichungen ergaben sich beim Vorgehen gemäß Transfusionskatalog.

Tabelle 74: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK-Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
Majoramputationen	82,61 %	1,82 EK	2,65

3.3.9 Nierentransplantation und Pankreastransplantation

3.3.9.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

Von insgesamt 378 Operationen waren 34 mit einer EK-Transfusion verbunden (Tabelle 75). Diese verteilten sich dabei annähernd zu gleichen Teilen auf weibliche und männliche Patienten. Im Mittel waren transfundierte Patienten 46,06 Jahre alt und damit 4 Jahre jünger als die Vergleichsgruppe der nicht-transfundierten Patienten.

Tabelle 75: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			w		m		MW	SD
			n	%	N	%		
Nieren-Tx/ Pankreas-Tx	Gesamt	378	130	34,39	248	65,61	49,85	16,32
	EK≥1	34	16	47,06	18	52,94	46,06	20,32
	EK=0	344	114	33,14	230	66,86	50,23	15,86

Die Körperoberfläche der Patienten mit EK-Transfusion lag bei 1,64 m² und damit deutliche 0,23 m² unter dem entsprechenden Wert der nicht-transfunden Patienten (Tabelle 76). Die Hb-Konzentration wies eine ähnliche Verteilung auf. So zeigte sich bei den transfunden Patienten mit 10,72 g/dl eine um 1,66 g/dl niedrigere Hb-Konzentration.

Tabelle 76: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF (m ²)		Hb-Wert (g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
			Gesamt	378	1,85	0,29
Nieren-Tx/ Pankreas-Tx	EK≥1	34	1,64	0,46	10,72	1,99
	EK=0	344	1,87	0,26	12,38	1,64

Bis auf 3 Patienten waren die Patienten, die eine EK-Transfusion erhalten hatten, alle schwer allgemein erkrankt (ASA 3, Tabelle 77). Der Großteil der Operationen mit EK-Transfusion, 79,41 %, wurde gemäß dem OP-Plan als ungeplant durchgeführt (Tabelle 78).

Tabelle 77: ASA-Klassifikation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation									
			1		2		3		4		5	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Nieren-Tx/ Pankreas-Tx	Gesamt	378	7	1,85	27	7,14	337	89,15	7	1,85	0	0,00
	EK≥1	34	0	0,00	2	5,88	31	91,18	1	2,94	0	0,00
	EK=0	344	7	2,03	25	7,27	306	88,95	6	1,74	0	0,00

Tabelle 78: Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3	
			n	%	n	%	n	%
Nieren-Tx/ Pankreas- Tx	Gesamt	378	106	28,04	269	71,16	3	0,79
	EK≥1	34	6	17,65	27	79,41	1	2,94
	EK=0	344	100	29,07	242	70,35	2	0,58

3.3.9.2 Poisson-Regression

Nur die Variablen Dringlichkeit der Operation (p-Wert: 0,009) und Hb-Wert (p-Wert < 0,001) wiesen einen statistisch signifikanten Einfluss auf den EK-Verbrauch auf.

Da im Datensatz für die Poisson-Regression nur eine Operation als Notfall (Dringlichkeit 3) kategorisiert war, erfolgte ein Ausschluss dieses Patienten von den weiteren Auswertungen. Der paarweise Vergleich konnte zwischen geplanten und ungeplanten Operationen hinsichtlich des EK-Verbrauchs keinen statistisch signifikanten Unterschied feststellen. Dies ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass bei den geplanten Eingriffen nur 4 EK-Transfusionen durchgeführt

wurden. Geplante Operationen benötigten bei gleichem Hb-Wert um den Faktor 0,311 weniger EK als ungeplante Operationen (Tabelle 79).

Wie zu erwarten, führte ein steigender Hb-Wert zu einem abnehmenden EK-Bedarf. Dieser ging bei einem Anstieg von 1 g/dl, falls der Faktor Dringlichkeit der Operation nicht geändert wurde, um den Faktor 0,711 zurück.

Tabelle 79: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	2,687	1,0007	7,211	1	0,007	14,691	2,067	104,432
Dringl.Code=1	-1,168	0,4439	6,918	1	0,009	0,311	0,130	0,743
Dringl.Code=2	0					1		
Hb-Wert	-0,341	0,0857	15,832	1	0,000	0,711	0,601	0,841

Das Prognosemodell für diese Eingriffsart lautete:

$$\lambda = \exp\left(2,687 + \begin{cases} -1,168 \text{ (Dringlichkeit 1)} \\ 0 \text{ (Dringlichkeit 2)} \end{cases} - 0,341 \times \text{Hb-Wert}\right).$$

3.3.9.3 Prognosentests

126 Eingriffe standen zur Überprüfung der Güte des Prognosemodells und des „Bestellalgorithmus GRH“ zur Verfügung. Davon wurden 8 wegen nicht dokumentierter Hb-Werte von den weiteren Tests ausgeschlossen.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

Im Rahmen dieses Prognosentests hätte bei den verbleibenden 118 Operationen in 93,22 % der Fälle die transfundierte mit der auf Basis des Modells prognostizierten EK-Menge genau übereingestimmt (Tabelle 80).

Tabelle 80: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusionen	Mittelwert Prognose
Nieren-Tx/ Pankreas-Tx	93,22 %	0,06 EK	0,21 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

Die dargelegte Deckung des EK-Bedarfs, die bei den analysierten Nieren- und Pankreastransplantationen vollständig durch die Ergebnisse des Prognosemodells erreicht worden wäre, ist in Tabelle 81 weiter aufgeschlüsselt. So hätten bei 108 von 112 Transplantationen die Vorhersagen von 0 EK dem nicht vorhandenen EK-Bedarf entsprochen.

Außerdem hätte jede der 6 Prognosen, die 1 EK vorausgesagt hatten, für eine ausreichende Deckung des EK-Bedarfs gesorgt.

Tabelle 81: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	Anzahl		Abdeckung		Anzahl		Abdeckung	
	n	Vorhersage	durch	Vorhersage	durch	Vorhersage	durch	
		0 EK	0 EK	1 EK	1 EK	2 EK	2 EK	
Nieren-Tx/ Pankreas-Tx	118	112	108/112	6	6/6	0	0/0	

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Die bereits sehr hohe Abdeckung (93,22 %) des EK-Bedarfs der verschiedenen Operationen, die sich aus der genauen Übereinstimmung von Prognose und transfundierter Menge ergab, hätte durch die neue Bestellpraxis, den „Bestellalgorithmus GRH“, nur geringfügig auf 96,61 % verbessert werden können (Tabelle 82). Da die 85 %-Menge bei 0 EK lag, ergäbe sich dabei die Versorgung der Eingriffe mit EK einzig aus den Vorschlägen des Prognosemodells, die 0 EK, 1 EK oder 2 EK betragen könnten. Somit würde aus dem Zusammenspiel des Prognoseergebnisses und der 85 %-Menge eine ausreichende Versorgung von 114 der 118 (96,61 %) Operationen erreicht werden.

Der Transfusionskatalog sah hingegen grundsätzlich eine Bereitstellung von 2 EK für den OP vor. Da die Prognosemodelle bei diesem Eingriff maximal 1 EK vorhergesagt hätten und die 85 %-Menge bei 0 EK lag, übertraf der Transfusionskatalog die Vorhersageergebnisse des Algorithmus bei jeder Operation um mindestens 1 EK.

Tabelle 82: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %- Menge	Transfusions- katalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus gesamt	OP- Menge	Blutdepot- menge		
Nieren-Tx/ Pankreas-Tx	96,61 %	96,61 %	0,00 %	0 EK	2 EK/0 EK

Abweichungsanalyse

Der Bestellalgorithmus, in diesem Fall nur das Prognosemodell, hätte bei 4 Operationen zu überhöhten EK-Bereitstellungen geführt (Tabelle 83). Die Abweichung der vorbereiteten EK-Menge von der transfundierten EK-Menge würde bei diesen 4 Fällen im Durchschnitt bei 1 EK liegen. Die Angabe des Transfusionskataloges hat bei allen Operationen außer einer (117/118) die benötigte EK-Menge überragt. Dadurch wurden bei diesen Fällen pro Operation im Durchschnitt 2 EK zu viel vorbereitet.

Tabelle 83: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK-Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
Nieren-Tx/ Pankreas-Tx	3,39 %	1,00 EK	0,86

3.3.10 Thorakoabdominelles Aortenaneurysma (TAAA) offen mit Herz-Lungen-Maschine (HLM)

3.3.10.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

Im Beobachtungszeitraum wurden 135 TAAA offen mit HLM operiert (Tabelle 84). Ein großer Anteil der Eingriffe, 75,56 %, erfolgte mit einer EK-Transfusion. Männliche Patienten stellten unter den Transfusionspatienten mit 56,86 % die Mehrheit. Transfundierte Patienten und Patienten, die keine EK-Transfusion benötigten, waren 62,79 bzw. 61,85 Jahre alt.

Tabelle 84: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			w		m		MW	SD
			n	%	n	%		
	Gesamt	135	51	37,78	84	62,22	62,56	13,06
TAAA offen mit HLM	EK≥1	102	44	43,14	58	56,86	62,79	12,62
	EK=0	33	7	21,21	26	78,79	61,85	14,53

Auch hinsichtlich der Körperoberfläche unterschieden sich die Patienten mit und ohne EK-Transfusion kaum (Tabelle 85). Die präoperative Hb-Konzentration der transfundierten Patienten war mit 12,97 g/dl relativ hoch.

Tabelle 85: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF (m ²)		Hb-Wert (g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
	Gesamt	135	1,95	0,20	13,26	2,15
TAAA offen mit HLM	EK≥1	102	1,93	0,21	12,97	2,24
	EK=0	33	1,99	0,18	14,10	1,62

Es fällt auf, dass 70,59 % der Patienten mit EK-Transfusion als lebensbedrohlich erkrankt (ASA 4) und 16,67 % als moribund (ASA 5) eingestuft wurden (Tabelle 86). Zwischen transfundierten und nicht-transfundierten Patienten bestanden hinsichtlich der Dringlichkeitsstufe Notfalloperation deutliche Unterschiede. So wurden 91,30 % der Notfalloperationen mit EK-Transfusion und nur 8,70 % dieser Operationen ohne EK-Transfusion durchgeführt (Tabelle 87).

Tabelle 86: ASA-Klassifikation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation									
			1		2		3		4		5	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
TAAA offen mit HLM	Gesamt	135	0	0,00	1	0,74	26	19,26	91	67,41	17	12,59
	EK \geq 1	102	0	0,00	1	0,98	12	11,76	72	70,59	17	16,67
	EK=0	33	0	0,00	0	0,00	14	42,42	19	57,58	0	0,00

Tabelle 87: Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3	
			n	%	n	%	n	%
TAAA offen mit HLM	Gesamt	135	83	61,48	29	21,48	23	17,04
	EK \geq 1	102	57	55,88	24	23,53	21	20,59
	EK=0	33	26	78,79	5	15,15	2	6,06

3.3.10.2 Poisson-Regression

Für die Variablen ASA-Code (p-Wert < 0,001), Körperoberfläche (p-Wert: 0,005) und Hb-Wert (p-Wert < 0,001) konnte ein statistisch signifikanter Einfluss auf die Anzahl der transfundierten EK festgestellt werden.

Die Werte der Exponentialfunktion $\text{Exp}(B)$ für die einzelnen ASA-Kategorien aus Tabelle 88 bestätigten die Erwartung, dass ein besserer Gesundheitszustand, bei sonst konstanten Variablen, zu einem geringeren EK-Bedarf führte. Dabei war der Wert für ASA 2 zu vernachlässigen, da im Datensatz nur ein Patient mit dieser Kategorie vorlag. Der paarweise Vergleich für die ASA-Klassifikation konnte hinsichtlich des EK-Verbrauchs nur zwischen den Kategorien ASA 3 und ASA 4 sowie ASA 3 und ASA 5 einen statistisch signifikanten Unterschied feststellen.

Die Körperoberfläche war mit dem EK-Verbrauch positiv korreliert. So erhöhte ein Anwachsen um 1 m² den EK-Verbrauch um den Faktor 2,502. Demgegenüber führte eine um 1 g/dl gestiegene Hb-Konzentration zu einem Absinken des EK-Verbrauchs um den Faktor 0,793.

Tabelle 88: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	2,833	0,6671	18,035	1	0,000	16,995	4,597	62,824
ASACode=2	-0,871	0,4685	3,458	1	0,063	0,418	0,167	1,048
ASACode=3	-1,495	0,2925	26,116	1	0,000	0,224	0,126	0,398
ASACode=4	-0,380	0,1493	6,473	1	0,011	0,684	0,510	0,916
ASACode=5	0					1		
KOF	0,917	0,3298	7,736	1	0,005	2,502	1,311	4,776
Hb-Wert	-0,232	0,0270	73,630	1	0,000	0,793	0,752	0,836

Das Prognosemodell für diese Eingriffsart lautete:

$$\lambda = \exp \left(2,833 + \begin{pmatrix} -0,871 \text{ (ASA 2)} \\ -1,495 \text{ (ASA 3)} \\ -0,380 \text{ (ASA 4)} \\ 0 \text{ (ASA 5)} \end{pmatrix} + 0,917 \times \text{KOF} - 0,232 \times \text{Hb-Wert} \right).$$

3.3.10.3 Prognosentests

Die Daten von 45 Fällen konnten genutzt werden, um das Prognosemodell und den neuen Bestellalgorithmus auf seine Güte hin zu untersuchen. Zunächst wurden 9 Fälle ausgeschlossen, da zu ihnen im Datensatz kein Hb-Wert erfasst war.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

Die Prognosemodelle hätten nur in 11,11 % der verbleibenden 36 Eingriffe den EK-Bedarf genau vorhergesagt (Tabelle 89).

Tabelle 89: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusionen	Mittelwert Prognose
TAAA offen mit HLM	11,11 %	4,33 EK	3,17 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

Bei 5 Operationen hätte das Prognosemodell 1 EK angegeben und damit jeweils den Transfusionsbedarf abgedeckt (Tabelle 90). Mit Vorhersagen in Höhe von 2 EK hätte das Prognosemodell bei 14 von 31 Eingriffen zur Bereitstellung der benötigten EK für den OP geführt. Damit hätten die Lieferungen von 2 EK bei den übrigen 17 Eingriffen nur einen Teil des jeweiligen gesamten Transfusionsbedarfs dargestellt. Der verbleibende Transfusionsbedarf (Median) dieser 17 Operationen wäre durch Nachbestellen von jeweils 3 EK aus dem Blutdepot versorgt worden. Aufgrund des Algorithmus wären im Blutdepot ausreichend EK vorbereitet worden.

Tabelle 90: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	Anzahl		Abdeckung		Anzahl		Abdeckung	
	n	Vorhersage	durch	Vorhersage	durch	Vorhersage	durch	
		0 EK	0 EK	1 EK	1 EK	2 EK	2 EK	
TAAA offen mit HLM	36	0	0/0	5	5/5	31	14/31	

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Bei Anwendung der neuen Bestellpraxis hätte man bei deutlich mehr Operationen eine Deckung des EK-Bedarfs erreichen können (Tabelle 91). Die Aufteilung der insgesamt bereitgestellten 6 EK auf OP und Blutdepot wäre in Abhängigkeit des Modellergebnisses erfolgt. Nur mit der in den OP geschickten EK-Menge („OP-Menge“) hätte man den Transfusionsbedarf von 19 Operationen erfüllen können. Durch Zurückgreifen auf die „Blutdepotmenge“ wäre die Versorgung von 13 weiteren Eingriffen mit den benötigten EK möglich gewesen (Tabelle 91). Bei 4 Fällen kam es zu einer EK-Unterdeckung.

Dagegen legte der Transfusionskatalog fest, dass stets 10 EK in den OP geliefert werden sollen. Daraus ergibt sich eine deutliche Abweichung in Höhe von 4 EK zwischen dem Vorschlag des Transfusionskataloges und der maximal vorbereiten Anzahl an EK im Rahmen der neuen Bestellpraxis. Die Befolgung der Empfehlung des Transfusionskataloges hätte dazu geführt, dass für 36 Testpatienten 144 EK mehr bereitgestellt worden wäre als bei Anwendung der neuen Bestellpraxis.

Tabelle 91: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %-Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus gesamt	OP-Menge	Blutdepot- menge		
TAAA offen mit HLM	88,89 %	52,78 %	36,11 %	6 EK	10 EK/0 EK

Abweichungsanalyse

32 der insgesamt 36 analysierten Testoperationen hätten bei Anwendung des Bestellalgorithmus überhöhte EK-Bereitstellungen aufgewiesen (Tabelle 92). Dabei wären Abweichungen in Höhe von durchschnittlich 4 EK aufgetreten. Der Vorschlag des Transfusionskataloges lag bei 33 Fällen über dem EK-Bedarf. Pro Fall wurden im Durchschnitt 8 EK zu viel präoperativ vorbereitet.

Tabelle 92: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK-Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
TAAA offen mit HLM	88,89 %	4,00 EK	1,38

3.3.11 Thrombektomie/Revisionen

3.3.11.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

91 der 651 durchgeführten Thrombektomien beziehungsweise Revisionen erfolgten mit EK-Transfusion (Tabelle 93). Im Untersuchungszeitraum überwog der Anteil der transfundierten Männer mit 54,95 % nur leicht. Transfundierte Patienten und Patienten, die keine EK-Transfusion benötigten, waren jeweils im Mittel 69 Jahre alt.

Tabelle 93: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			w		m		MW	SD
			n	%	n	%		
	Gesamt	651	265	40,71	386	59,29	68,81	13,39
Thrombektomie/Revisionen	EK≥1	91	41	45,05	50	54,95	68,69	13,75
	EK=0	560	224	40,00	336	60,00	68,83	13,34

Die Transfusionspatienten hatten mit 10,50 g/dl um 2,39 g/dl deutlich niedrigere Hb-Werte als Patienten ohne EK-Transfusion (Tabelle 94).

Tabelle 94: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF (m ²)		Hb-Wert (g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
	Gesamt	651	1,86	0,24	12,55	2,12
Thrombektomie/Revisionen	EK≥1	91	1,84	0,26	10,50	1,99
	EK=0	560	1,86	0,24	12,89	1,94

Die transfundierten Patienten dieser Eingriffsart wiesen in der Regel einen schlechten Gesundheitszustand auf (Tabelle 95). So waren 56,04 % schwer allgemein erkrankt (ASA 3) und 38,46 % lebensbedrohlich erkrankt (ASA 4). Von den 91 Operationen mit EK-Transfusion wurden gemäß OP-Plan 36 geplant, 39 ungeplant und 16 als Notfalloperation durchgeführt (Tabelle 96).

Tabelle 95: ASA-Klassifikation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation									
			1		2		3		4		5	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
	Gesamt	651	3	0,46	46	7,07	478	73,43	119	18,28	5	0,77
Thrombektomie/Revisionen	EK≥1	91	1	1,10	1	1,10	51	56,04	35	38,46	3	3,30
	EK=0	560	2	0,36	45	8,04	427	76,25	84	15,00	2	0,36

Tabelle 96: Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3	
			n	%	n	%	n	%
Thrombektomie/ Revisionen	Gesamt	651	373	57,30	207	31,80	71	10,91
	EK \geq 1	91	36	39,56	39	42,86	16	17,58
	EK=0	560	337	60,18	168	30,00	55	9,82

3.3.11.2 Poisson-Regression

Nur die metrischen Variablen Alter (p-Wert: 0,006), KOF (p-Wert < 0,001) und Hb-Wert (p-Wert < 0,001) hatten einen statistisch signifikanten Einfluss auf den EK-Verbrauch.

Die Körperoberfläche war positiv mit dem EK-Verbrauch korreliert. Eine um 1 m² gestiegene Körperoberfläche erhöhte den EK-Bedarf bei sonst konstanten Parametern um den Faktor 3,136. Im Gegensatz dazu wiesen das Patientenalter und der Hb-Wert eine inverse Beziehung zu dem EK-Verbrauch auf. Bei sonst konstanten Faktoren sank der EK-Bedarf um den Faktor 0,985 bei einem zusätzlichen Lebensjahr und um den Faktor 0,675 bei einem um 1 g/dl gestiegenen Hb-Wert (Tabelle 97).

Tabelle 97: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	2,557	0,8462	9,135	1	0,003	12,903	2,457	67,753
Alter	-0,015	0,0055	7,704	1	0,006	0,985	0,975	0,996
KOF	1,143	0,3253	12,347	1	0,000	3,136	1,658	5,933
Hb-Wert	-0,393	0,0363	117,473	1	0,000	0,675	0,628	0,725

Aus den Regressionskoeffizienten (B) der Tabelle 97 lässt sich folgendes Prognosemodell bilden:

$$\lambda = \exp(2,557 - 0,015 \times \text{Alter} + 1,143 \times \text{KOF} - 0,393 \times \text{Hb-Wert}).$$

3.3.11.3 Prognosentests

Die Daten von 217 Patienten standen zur Testung des Prognosemodells und des „Bestellalgorithmus GRH“ zur Verfügung. Davon wurden 16 Fälle ausgeschlossen, da zu diesen im Datensatz kein Hb-Wert dokumentiert war.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

Bei 153 der verbleibenden 201 Operationen hätte die Prognose mit der EK-Transfusion genau übereingestimmt (Tabelle 98). Dies entspräche einer hohen Prognosegenauigkeit von 76,12 %.

Tabelle 98: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit	Mittelwert	Mittelwert
	Prognosemodell	Transfusionen	Prognose
Thrombektomie/Revisionen	76,12 %	0,24 EK	0,40 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

Bei 146 von 151 Operationen hätte das Ergebnis des Prognosemodells in Höhe von 0 EK mit dem nicht gegebenen Transfusionsbedarf genau übereingestimmt (Tabelle 99). Die Lieferung von 1 EK hätte in 37 von 45 Fällen dazu geführt, dass der EK-Bedarf gedeckt wäre. Um dem verbleibenden Transfusionsbedarf (Median) der übrigen 8 Operationen zu entsprechen, wären jeweils 2 EK im Blutdepot bestellt worden. Aufgrund des Algorithmus wären im Blutdepot keine EK auf Abruf vorbereitet worden. Mit den Vorhersagen in Höhe von 2 EK wären 4 Operationen mit den benötigten EK versorgt worden. Bei einer einzigen Operation hätte die Lieferung von 2 EK in den OP bedeutet, dass nur ein Teil des gesamten Transfusionsbedarfs abgedeckt wäre.

Tabelle 99: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	n	Anzahl		Abdeckung		Anzahl		Abdeckung	
		Vorhersage		durch		Vorhersage		durch	
		0 EK	0 EK	1 EK	1 EK	2 EK	2 EK		
Thrombektomie/ Revisionen	201	151	146/151	45	37/45	5	4/5		

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Eine deutliche Steigerung dieser Bedarfsdeckung auf 93,03 % hätte durch die Anwendung der neuen Bestellpraxis erreicht werden können (Tabelle 100). Da die 85 %-Menge bei 0 EK lag, ergäbe sich die Abdeckung des EK-Bedarfs der Operationen nur durch das Prognoseergebnis, das 0 EK, 1 EK oder 2 EK betragen könnte.

Dagegen sah der Transfusionskatalog vor, für jeden Eingriff 2 EK in den OP zu liefern. Da gemäß dem Prognosemodell nur bei 5 Eingriffen 2 EK vorbereitet worden wären, übertraf der Transfusionskatalog die Vorhersagen des Prognosemodells in 196 Fällen ($n_{\text{Testdatei}}=201$). Der Vorschlag des Transfusionskataloges hätte dazu geführt, dass zum einen der EK-Bedarf bei 96 % der Fälle abgedeckt worden wäre, zum anderen aber die in den OP gelieferte Menge insgesamt 368 EK über dem EK-Bedarf gelegen hätte.

Tabelle 100: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %-Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus gesamt	OP-Menge	Blutdepot- menge		
Thrombektomie/ Revisionen	93,03 %	93,03 %	0,00 %	0 EK	2 EK/0 EK

Abweichungsanalyse

Der Bestellalgorithmus hätte bei 34 der 201 durchgeführten Testoperationen zu überhöhten EK-Bereitstellungen geführt (Tabelle 101). Bei diesen 34 Operationen wären im Durchschnitt 1 EK zu viel vorbereitet worden. Die EK-Bereitstellung gemäß Transfusionskatalog hat in 93,53 % der Fälle den EK-Bedarf übertroffen. Die durchschnittliche Abweichung lag pro Fall bei 2 EK.

Tabelle 101: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK-Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
Thrombektomien/Revisionen	16,92 %	1,09 EK	1,12

3.3.12 Aorto-coronarer Bypass (ACB) nicht voroperiert/Re-Operation (Re-OP)

3.3.12.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

In den Jahren 2012 bis 2015 haben sich 2.374 Patienten einer ACB-Operation, nicht voroperiert oder als Re-OP, unterzogen. Annähernd bei der Hälfte der Patienten wurde eine Transfusion durchgeführt (Tabelle 102). 80,96 % aller Operationen und 69,39 % der Operationen mit EK-Transfusion entfielen auf männliche Patienten.

Bezogen auf den Mittelwert waren die Patienten, die eine EK-Transfusion erhielten, mit 70,24 Jahren 4 Jahre älter als die Vergleichsgruppe der nicht-transfunden Patienten.

Tabelle 102: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MW	SD
		n	%	n	%			
Gesamt		2.374	1.922	80,96	452	19,04	68,00	9,78
ACB nicht voroperiert/Re-OP	EK≥1	1.137	789	69,39	348	30,61	70,24	9,48
	EK=0	1.237	1.133	91,59	104	8,41	65,93	9,61

Im Vergleich zu den transfunden Patienten wiesen die nicht-transfunden Patienten mit 2,03 m² eine um 0,12 m² größere Körperoberfläche auf (Tabelle 103). Patienten, die eine Transfusion erhalten haben, zeigten im Mittel einen Hb-Wert von 12,62 g/dl, der 1,88 g/dl geringer war als der entsprechende Wert der nicht-transfunden Patienten.

Tabelle 103: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF (m ²)		Hb-Wert (g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
			Gesamt	2.374	1,97	0,20
ACB nicht voroperiert/Re-OP	EK \geq 1	1.137	1,91	0,21	12,62	1,86
	EK=0	1.237	2,03	0,19	14,50	1,36

98,59 % der Patienten, die mindestens 1 EK erhalten haben, fielen in die ASA-Klassen 3 oder 4 (Tabelle 104). Dabei überwogen die ASA 4 Patienten mit einem Anteil von 52,59 % nur gering. Jeweils 12 Patienten waren nur leicht erkrankt (ASA 2) oder moribund (ASA 5). 88,75 % der Operationen waren definitionsgemäß geplant (Tabelle 105).

Tabelle 104: ASA-Klassifikation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation									
			1		2		3		4		5	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
ACB nicht voroperiert/Re-OP	Gesamt	2.374	1	0,04	12	0,51	1.253	52,78	1.096	46,17	12	0,51
	EK \geq 1	1.137	0	0,00	7	0,62	523	46,00	598	52,59	9	0,79
	EK=0	1.237	1	0,08	5	0,40	730	59,01	498	40,26	3	0,24

Tabelle 105: Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3	
			n	%	n	%	n	%
ACB nicht voroperiert/Re-OP	Gesamt	2.374	2.107	88,75	181	7,62	86	3,62
	EK \geq 1	1.137	982	86,37	105	9,23	50	4,40
	EK=0	1.237	1.125	90,95	76	6,14	36	2,91

3.3.12.2 Poisson-Regression

Die Variablen ASA-Klassifikation (p-Wert < 0,001), Geschlecht (p-Wert < 0,001), Alter (p-Wert: 0,002) und Hb-Wert (p-Wert < 0,001) hatten einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Menge der transfundierten EK.

Im Vergleich zur Kategorie ASA 5 benötigen die Patienten der Kategorien ASA 4, ASA 3 und ASA 2 in abnehmender Reihenfolge weniger EK. So benötigen beispielsweise schwer erkrankte Patienten (ASA 3) um den Faktor 0,311 weniger EK als ASA 5 Patienten. Der paarweise Vergleich für die Variable ASA-Code zeigte bei der Gegenüberstellung von ASA 2 und ASA 5, ASA 3 und ASA 4, ASA 3 und ASA 5 sowie ASA 4 und ASA 5 einen statistisch signifikanten Unterschied hinsichtlich des EK-Verbrauchs.

Weibliche Patienten hatten im Vergleich zu männlichen Patienten einen um den Faktor 1,385 höheren EK-Bedarf (Tabelle 106). Auch mit jedem zusätzlichen Lebensjahr stieg der EK-Bedarf um den Faktor 1,008 an. Im Gegensatz dazu führt eine Zunahme des Hb-Wertes um 1 g/dl zu einer Abnahme der benötigten EK in Höhe des Faktors 0,734.

Tabelle 106: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	4,456	0,273	265,555	1	0,000	86,156	50,410	147,248
ASACode=2	-1,761	0,529	11,075	1	0,001	0,172	0,061	0,485
ASACode=3	-1,168	0,176	44,186	1	0,000	0,311	0,221	0,439
ASACode=4	-0,837	0,172	23,786	1	0,000	0,433	0,309	0,606
ASACode=5	0	0,000				1		
Geschlecht: weiblich	0,326	0,063	26,742	1	0,000	1,385	1,224	1,567
Geschlecht: männlich	0	0,000				1		
Alter	0,008	0,003	9,172	1	0,002	1,008	1,003	1,014
Hb-Wert	-0,309	0,014	485,275	1	0,000	0,734	0,714	0,755

Mit Hilfe der Regressionskoeffizienten (B) aus Tabelle 106 ließ sich nachfolgendes Prognosemodell bilden:

$$\lambda = \exp \left(4,456 + \begin{cases} -1,761 \text{ (ASA 2)} \\ -1,168 \text{ (ASA 3)} \\ -0,837 \text{ (ASA 4)} \\ 0 \text{ (ASA 5)} \end{cases} + \begin{cases} 0,326 \text{ (weiblich)} \\ 0 \text{ (männlich)} \end{cases} + 0,008 \times \text{Alter} - 0,309 \times \text{Hb-Wert} \right).$$

3.3.12.3 Prognosentests

Von 791 Operationen, die einem Drittel der zwischen 2012 und 2015 erfolgten ACB-Eingriffe entsprachen, wurden 268 aufgrund fehlender Hb-Werte ausgeschlossen. Ein Großteil dieser Operationen wurde in der Klinik Augustinum durchgeführt. Da nur in seltenen Fällen eine Übertragung der an der Klinik Augustinum erhobenen Hb-Werte in die Datenbank der Anästhesie des Klinikums Großhadern erfolgt, liegen sie nicht für eine Auswertung vor. Anhand der verbleibenden 523 Eingriffe konnte das Vorhersagemodell und der „Bestellalgorithmus GRH“ auf ihre Genauigkeit überprüft werden.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

Eine genaue Übereinstimmung zwischen Prognose und Anzahl der transfundierten EK wäre nur bei 34,23 % der Fälle aufgetreten (Tabelle 107).

Tabelle 107: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusionen	Mittelwert Prognose
ACB nicht voroperiert/Re-OP	34,23 %	1,12 EK	1,17 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

85 der 106 Prognosen (80,19 %) in Höhe von 0 EK hätten mit dem nicht bestehenden Transfusionsbedarf übereingestimmt. Bei mehr als der Hälfte der 523 Eingriffe hätte das Prognosemodell 1 EK für den OP vorhergesagt (Tabelle 108). In 211 Fällen (73,26 %) wäre diese prognostizierte EK-Menge für eine Deckung des Transfusionsbedarfs ausreichend gewesen. Die prognostizierte Menge von 1 EK hätte bei 77 Prognosen nicht den benötigten EK entsprochen. Da der verbleibende Transfusionsbedarf (Median) bei 1 EK läge, wären jeweils 1 EK aus dem Blutdepot nachbestellt worden. Diese EK-Menge wäre aufgrund des Algorithmus im Blutdepot auf Abruf vorbereitet gewesen. Von 129 Prognosen in Höhe von 2 EK hätten 76 zu einer Versorgung mit den benötigten EK geführt. Die Lieferung von 2 EK in den OP hätte bei den übrigen 53 Operationen nur eine teilweise Abdeckung des Transfusionsbedarfs bedeutet.

Tabelle 108: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	Anzahl Vorhersage n	Abdeckung		Abdeckung		Abdeckung	
		durch 0 EK	durch 0 EK	durch 1 EK	durch 1 EK	durch 2 EK	durch 2 EK
ACB	523	106	85/106	288	211/288	129	76/129

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Bei Befolgung der neuen Bestellpraxis wären 84,32 % der Operationen ausreichend mit EK versorgt worden (Tabelle 109). Die neuen Bestellvorgaben hätten vorgesehen, dass maximal 2 EK, was der 85 % Menge entsprach, vorbereitet werden. Daher ist es zunächst auffällig, dass bei Befolgung der neuen Bestellpraxis knapp 85 % der Fälle mit EK versorgt worden wären. Dies ist damit zu erklären, dass die 85 %-Menge auf Basis des Gesamtdatensatzes dieser Eingriffsart berechnet wurde, die Versorgung mit EK bei Anwendung der neuen Bestellpraxis aber anhand der Testdatei überprüft wurde, die einem Drittel der Gesamtdatei entspricht. Um bei der Testdatei eine Abdeckung in Höhe von mindestens 85 % zu erreichen, hätten mindestens 3 EK vorbereitet werden müssen.

Allein durch die EK-Menge, die auf Grundlage des Prognosemodells in den OP geschickt worden wäre (0 EK, 1 EK, 2 EK), hätte der Transfusionsbedarf von 372 Operationen (71,13 %) gedeckt werden können (Tabelle 106). Sofern man auch auf die „Blutdepotmenge“ zurückgegriffen hätte, wären 52 weitere Eingriffe mit den benötigten EK versorgt worden.

Der Transfusionskatalog sah vor, dass bei einer ACB-Re-OP 6 EK (3 EK für OP, 3 EK für Blutdepot) und bei einem „nicht voroperierten“ ACB-Eingriff 5 EK (3 EK für OP, 2 EK für Blutdepot) bereitgestellt werden sollten. Diese Mengenempfehlungen unterschieden sich erheblich von der Vorgabe der neuen Bestellpraxis, maximal 2 EK vorzubereiten. So wären bei Befolgung der

neuen Bestellpraxis in Bezug auf 523 Eingriffe 1743 Konserven⁴ weniger präoperativ vorbereitet worden als der Transfusionskatalog empfohlen hätte.

Tabelle 109: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %-Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus gesamt	OP- Menge	Blutdepot- menge		
ACB nicht voroperiert/ Re-OP	84,32 %	71,13 %	13,19 %	2 EK	3 EK/2 EK // 3 EK/3 EK

Abweichungsanalyse

351 Operationen, die einem Anteil von 67,11 % am Ein-Drittel-Datensatz entsprachen, hätten aufgrund des Bestellalgorithmus überhöhte EK-Bereitstellungen aufgewiesen (Tabelle 110). Unter diesen Fällen hätte sich eine durchschnittliche Überversorgung des Transfusionsbedarfs in Höhe von 2 EK ergeben. Die Angaben des Transfusionskataloges haben in 97,99 % der Fälle zu einer Überversorgung geführt. Dabei wurden im Durchschnitt 4 EK pro Fall zu viel vorbereitet.

Tabelle 110: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK-Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
ACB Re-OP/nicht voroperiert	67,11 %	1,73 EK	1,78

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

3.3.13.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

In den Jahren 2012 bis 2015 wurde der Eingriff „AKE/MKE nicht voroperiert“ an 2.225 Patienten durchgeführt (Tabelle 111). In Bezug auf die transfundierten Patienten war das Geschlechterverhältnis mit 51,70 % männlichen und 48,30 % weiblichen Patienten annähernd ausgeglichen. Demgegenüber überwog der männliche Anteil bei den Nicht-Transfundierte mit 73,24 %.

Der Mittelwert des Patientenalters lag bei den transfundierten Patienten (69,01 Jahre) 3 Jahre über dem entsprechenden Wert der Vergleichsgruppe.

⁴ Es wurde näherungsweise davon ausgegangen, dass 2/3 der Operationen bei nicht voroperierten Patienten und 1/3 der Operationen als Re-OP vorgenommen wurden.

Tabelle 111: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			w		m		MW	SD
			n	%	n	%		
	Gesamt	2.225	855	38,43	1.370	61,57	67,43	12,69
AKE/MKE nicht voroperiert	EK≥1	1.205	582	48,30	623	51,70	69,01	12,16
	EK=0	1.020	273	26,76	747	73,24	65,56	13,06

In Bezug auf die Körperoberfläche wiesen die Patienten, die eine Transfusion erhielten, mit 1,85 m² eine 0,10 m² kleinere Körperoberfläche auf als die Nicht-Transfundierte (Tabelle 112). Zwischen diesen Patientengruppen ließen sich bei den Mittelwerten der Hb-Konzentration deutliche Unterschiede feststellen. So lag der Hb-Wert der transfundierten Patienten um 2,08 g/dl unter dem Hb-Wert der Patienten, die ohne EK-Transfusion operiert wurden.

Tabelle 112: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF (m ²)		Hb-Wert (g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
				Gesamt	2.225	1,90
AKE/MKE nicht voroperiert	EK≥1	1.205	1,85	0,23	12,12	1,93
	EK=0	1.020	1,95	0,21	14,20	1,49

Für den Gesamtdatensatz dieses Eingriffs war zu erkennen, dass über 95,00 % der Operationen auf Patienten mit Gesundheitszustand ASA 3 bzw. ASA 4 entfielen (Tabelle 113). Dabei überwog die Kategorie 3 mit 1.174 Patienten zu 1.016 ASA 4 Patienten. Bei transfundierten Patienten war das Verhältnis umgekehrt. In der Kategorie der lebensbedrohlich Erkrankten (ASA 4) wurden 623 Patienten, in der Kategorie der „nur“ schwer Erkrankten (ASA 3) 559 Patienten operiert. Sowohl bei den Patienten mit EK-Transfusion als auch bei den Patienten ohne EK-Transfusion waren mehr als 90 % der Operationen geplant (Tabelle 114).

Tabelle 113: ASA-Klassifikation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation									
			1		2		3		4		5	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
	Gesamt	2.225	2	0,09	15	0,67	1.174	52,76	1.016	45,66	18	0,81
AKE/MKE nicht voroperiert	EK≥1	1.205	1	0,08	4	0,33	559	46,39	623	51,70	18	1,49
	EK=0	1.020	1	0,10	11	1,08	615	60,29	393	38,53	0	0,00

Tabelle 114: Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3	
			n	%	n	%	n	%
AKE/MKE nicht voroperiert	Gesamt	2.225	2.113	94,97	83	3,73	29	1,30
	EK \geq 1	1.205	1.112	92,28	67	5,56	26	2,16
	EK=0	1.020	1.001	98,14	16	1,57	3	0,29

3.3.13.2 Poisson-Regression

Nur der Gesundheitszustand gemäß ASA (p-Wert: 0,001) und der Hb-Wert (p-Wert < 0,001) haben im Untersuchungszeitraum einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Anzahl der transfundierten EK gezeigt.

Das negative Vorzeichen des Regressionskoeffizienten (B) von der Variable Hb-Wert bedeutete, dass ein steigender Hb-Wert zu einem sinkenden EK-Bedarf geführt hat (Tabelle 115). Sofern die übrigen Einflüsse konstant gehalten wurden, führte ein Anstieg um 1 g/dl zu einem um den Faktor 0,744 niedrigeren Bedarf an EK.

Der paarweise Vergleich der einzelnen ASA-Kategorien gab Aufschluss über Unterschiede hinsichtlich des EK-Bedarfs. So bestand ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen ASA 2 und ASA 4, ASA 2 und ASA 5, ASA 3 und ASA 4, ASA 3 und ASA 5 sowie ASA 4 und ASA 5. Die Tatsache, dass bei jedem paarweisen Vergleich von ASA 1 kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich des EK-Verbrauchs nachgewiesen werden konnte, ist auf die sehr geringe Anzahl von Patienten mit ASA 1 (n=2) zurückzuführen. Diese Stichprobengröße war zu klein, um Unterschiede hinsichtlich des EK-Bedarfs als statistisch signifikant nachzuweisen. Der Vergleich des EK-Verbrauchs von leicht erkrankten Patienten (ASA 2) mit schwer erkrankten Patienten (ASA 3) konnte keinen statistisch signifikanten Unterschied aufzeigen. Auch dieses Ergebnis ist vor dem Hintergrund der geringen Anzahl von 15 Patienten mit ASA 2 nur von geringer Aussagekraft.

Tabelle 115: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	4,615	0,186	614,673	1	0,000	100,993	70,120	145,459
ASACode=1	-,921	1,012	,828	1	,363	,398	,055	2,895
ASACode=2	-2,419	1,012	5,720	1	,017	,089	,012	,646
ASACode=3	-,584	0,155	14,146	1	,000	,558	,411	,756
ASACode=4	-,540	0,151	12,837	1	,000	,583	,433	,783
ASACode=5	0	0				1		
Hb-Wert	-,296	0,012	608,803	1	0,000	,744	,726	,761

Mit den Regressionskoeffizienten (B) der Variablen aus Tabelle 115 ließ sich das folgende Prognosemodell bilden:

$$\lambda = \exp \left(4,615 + \begin{matrix} -0,921 \text{ (ASA 1)} \\ -2,419 \text{ (ASA 2)} \\ -0,584 \text{ (ASA 3)} \\ -0,540 \text{ (ASA 4)} \\ 0 \text{ (ASA 5)} \end{matrix} - 0,296 \times \text{Hb-Wert} \right).$$

3.3.13.3 Prognosentests

Von den ursprünglichen 742 Operationen wurden 192 aufgrund nicht dokumentierter Hb-Werte ausgeschlossen. Folglich ließen sich das Prognosemodell und der „Bestellalgorithmus GRH“ anhand von 550 Eingriffen auf ihre Vorhersagegenauigkeit testen.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

Nur bei knapp einem Viertel (24,55 %) der Fälle hätte eine genaue Übereinstimmung von Prognose und EK-Transfusionsmenge festgestellt werden können (Tabelle 116).

Tabelle 116: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusionen	Mittelwert Prognose
AKE/MKE (Nicht voroperiert)	24,55 %	1,45 EK	1,49 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

Bei 29 von 36 Operationen wäre die Prognose, keine EK für den OP bereit zu stellen, zutreffend (Tabelle 117). Das Prognosemodell hätte in 338 von 550 Fällen vorgesehen, dass 1 EK in den OP geliefert wird. Mit dieser EK-Menge wäre bereits der Bedarf von 248 Operationen gedeckt worden. Zur Deckung des verbleibenden EK-Bedarfs (Median) der übrigen 90 Eingriffe hätten jeweils 1 EK aus dem Blutdepot zusätzlich angefordert werden müssen. Aufgrund des Algorithmus wären im Blutdepot ausreichend EK vorbereitet worden. Gemäß dem Prognosemodell wären in 176 Fällen 2 EK für den OP bestimmt worden. Dadurch hätten 91 Eingriffe mit den benötigten EK versorgt werden können. Zusätzlich wäre bei den übrigen 85 Eingriffen ein Teil des gesamten Transfusionsbedarfs abgedeckt worden.

Tabelle 117: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	n	Anzahl 0 EK		Anzahl 1 EK		Anzahl 2 EK	
		Vorhersage	Abdeckung durch	Vorhersage	Abdeckung durch	Vorhersage	Abdeckung durch
AKE/MKE (nicht voroperiert)	550	36	29/36	338	248/338	176	91/176

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

In den Jahren 2012 bis 2015 wären bei Befolgung der neuen Bestellpraxis 86,91 % der Operationen mit den benötigten EK beliefert worden. Entsprechend der 85 %-Menge wären insgesamt 3 EK vorbereitet worden. Die „OP-Menge“ hätte den Transfusionsbedarf von 368 Operationen gedeckt (Tabelle 118). Je nach Prognoseergebnis wären 1 bis 3 EK im Blutdepot für eine eventuell spätere Nutzung vorbereitet worden. Durch Zurückgreifen auf diese „Blutdepotmenge“ hätten 110 weitere Eingriffe mit den benötigten EK versorgt werden können.

Im Gegensatz dazu gab der Transfusionskatalog für diese Eingriffsart höhere EK-Mengen an. Danach sollten 3 EK für den OP und 2 EK im Blutdepot bereitgestellt werden (Tabelle 118).

Tabelle 118: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %-Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus gesamt	OP-Menge	Blutdepot- menge		
AKE/MKE (Nicht voroperiert)	86,91 %	66,91 %	20,00 %	3 EK	3 EK/2 EK

Abweichungsanalyse

Der Bestellalgorithmus hätte bei 426 von 550 Operationen EK-Bereitstellungen empfohlen, die über der benötigten EK-Menge lagen (Tabelle 119). Im Durchschnitt wären dabei 2 EK pro Fall zu viel vorbereitet worden. Die EK-Bereitstellung gemäß Transfusionskatalog lag in 93,82 % Fälle über dem EK-Bedarf. Diese Fälle haben durchschnittlich eine Abweichung von 4 EK aufgewiesen.

Tabelle 119: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK-Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
AKE/MKE nicht voroperiert	77,45 %	2,35 EK	2,07

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

3.3.14.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

62 der insgesamt 83 Patienten, die sich dem Eingriff AKE oder MKE als Re-OP unterzogen hatten, waren männlich. Auch bei den transfundierten Patienten entfielen annähernd Dreiviertel (73,02 %) der Eingriffe auf männliche Patienten (Tabelle 120). Der Mittelwert des Alters lag bei Patienten, die eine Transfusion erhalten hatten, bei 70,84 Jahren und damit 11 Jahre über dem Wert der Vergleichsgruppe ohne EK-Transfusion.

Tabelle 120: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)		
			m		w		MW	SD	
			n	%	n	%			
		Gesamt	83	62	74,70	21	25,30	68,19	11,81
AKE/MKE Re-OP	EK≥1	63	46	73,02	17	26,98	70,84	10,29	
	EK=0	20	16	80,00	4	20,00	59,85	12,66	

Ein deutlicher Unterscheid bestand bei dem Mittelwert der präoperativen Hb-Konzentration. Patienten, denen EK transfundiert wurden, hatten mit 11,53 g/dl einen um 2,45 g/dl deutlich niedrigeren Hb-Wert als die Nicht-Transfundierten (Tabelle 121). Die Körperoberfläche war bei den Transfusionspatienten um 0,10 m² kleiner als bei den Patienten ohne EK-Transfusion.

Tabelle 121: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF (m ²)		Hb-Wert (g/dl)		
			MW	SD	MW	SD	
		Gesamt	83	1,91	0,18	11,99	2,08
AKE/MKE Re-OP	EK≥1	63	1,89	0,18	11,53	2,01	
	EK=0	20	1,99	0,14	13,98	0,88	

Im Untersuchungszeitraum 2012 bis 2015 wurden keine Patienten mit Gesundheitszustand ASA 1, ASA 2 oder ASA 5 operiert (Tabelle 122). Bei den Transfusionspatienten überwogen lebensbedrohlich erkrankte Patienten (ASA 4) mit einem Anteil von 71,43 %. Ein gegenteiliges Verhältnis bestand bei den Patienten, die keine Transfusion erhalten hatten. So waren 60,00 % dieser Patienten der ASA-Klassifikation 3 zugeteilt.

Es wurden keine Patienten als Notfalloperation (Dringlichkeit 3) operiert. Von den 63 Operationen mit EK-Transfusion, wurden 53 als geplant dokumentiert (Tabelle 123). Alle 20 Operationen ohne EK-Transfusion waren geplant.

Tabelle 122: ASA-Klassifikation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation										
			1		2		3		4		5		
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	
		Gesamt	83	0	0,00	0	0,00	30	36,14	53	63,86	0	0,00
AKE/MKE Re-OP	EK≥1	63	0	0,00	0	0,00	18	28,57	45	71,43	0	0,00	
	EK=0	20	0	0,00	0	0,00	12	60,00	8	40,00	0	0,00	

Tabelle 123: Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n		Dringlichkeit der Operation					
				1		2		3	
				n	%	n	%	n	%
	Gesamt	83	73	87,95	10	12,05	0	0,00	
AKE/MKE Re-OP	EK≥1	63	53	84,13	10	15,87	0	0,00	
	EK=0	20	20	100,00	0	0,00	0	0,00	

3.3.14.2 Poisson-Regression

4 der ursprünglich 6 berücksichtigten Einflussfaktoren haben einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Anzahl der transfundierten EK gezeigt. Dabei sind die Faktoren Geschlecht, ASA-Code und Hb-Wert mit einem p-Wert von 0,001 und der Faktor Alter mit einem p-Wert von 0,002 deutlich unter dem Signifikanzniveau von 0,05.

Weibliche Patienten wiesen einen um den Faktor 1,766 höheren EK-Bedarf als männliche Patienten auf (Tabelle 124). Im Vergleich der kodierten Gesundheitszustände ASA 3 und ASA 4 zeigten Patienten mit einer schweren Allgemeinerkrankung (ASA 3) einen statistisch signifikant niedrigeren EK-Verbrauch als Patienten mit einer lebensbedrohlichen Erkrankung (ASA 4). Demgegenüber sank bei sonst konstanten Faktoren der EK-Bedarf bei einem Anstieg des Hb-Wertes um 1 g/dl Hb-Wert um den Faktor 0,848. Mit steigendem Alter erhöhte sich der EK-Bedarf. So bewirkte der Altersanstieg von einem Jahr bei sonst unveränderten Variablen einen um den Faktor 1,032 erhöhten EK-Bedarf.

Tabelle 124: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	1,038	1,019	1,039	1	0,308	2,824	0,384	20,799
Geschlecht: weiblich	0,569	0,166	11,680	1	0,001	1,766	1,274	2,447
Geschlecht: männlich	0	0,000				1		
ASACode=3	-0,657	0,201	10,708	1	0,001	0,519	0,350	0,768
ASACode=4	0	0,000				1		
Hb-Wert	-0,165	0,049	11,313	1	0,001	0,848	0,771	0,934
Alter	0,032	0,010	9,941	1	0,002	1,032	1,012	1,053

Die Regressionskoeffizienten (B) der in Tabelle 124 vorliegenden statistisch signifikanten Variablen ergeben folgendes Prognosemodell:

$$\lambda = \exp \left(1,038 + \begin{cases} 0,569 \text{ (weiblich)} \\ 0 \text{ (männlich)} \end{cases} + \begin{cases} -0,657 \text{ (ASA 3)} \\ 0 \text{ (ASA 4)} \end{cases} - 0,165 \times \text{Hb-Wert} + 0,032 \times \text{Alter} \right).$$

3.3.14.3 Prognosentests

Der Datensatz, der für das Testen der oben stehenden Formel und des „Bestellalgorithmus GRH“ gebildet wurde, umfasste 28 Operationen. Die 8 Fälle, für die kein Hb-Wert dokumentiert worden war, wurden von den Tests ausgeschlossen.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

Nur für ein Viertel der verbleibenden Eingriffe hätte die jeweilige Prognose genau mit der transfundierten EK-Menge übereingestimmt (Tabelle 125).

Tabelle 125: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusionen	Mittelwert Prognose
AKE/MKE (Re-OP)	25,00 %	3,20 EK	4,38 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

In Bezug auf die insgesamt 20 Operationen hätte das Prognosemodell bis auf eine Operation stets 2 EK für den OP vorhergesagt (Tabelle 126). Von diesen 19 Vorhersagen hätten 8 den Transfusionsbedarf abgedeckt. Die übrigen 11 Vorhersagen in Höhe von 2 EK hätten die erste Tranche des gesamten Transfusionsbedarfs an EK dargestellt. Bei diesen 11 Operationen wären zur Deckung des verbleibenden Transfusionsbedarfs (Median) jeweils 2 EK im Blutdepot nachbestellt worden. Aufgrund des Algorithmus wären im Blutdepot ausreichend EK vorbereitet worden.

Tabelle 126: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	n	Anzahl Vorhersage 0 EK	Abdeckung durch 0 EK	Anzahl Vorhersage 1 EK	Abdeckung durch 1 EK	Anzahl Vorhersage 2 EK	Abdeckung durch 2 EK
AKE/MKE (Re-OP)	20	1	1/1	0	0/0	19	8/19

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

9 Operationen (45,00 %) wären durch die sog. „OP-Menge“ (0 EK, 1 EK, 2 EK) mit den benötigten EK versorgt worden (Tabelle 127). In Abhängigkeit dieser für den OP bestimmten EK-Menge wären zusätzlich 3 bis 5 EK im Blutdepot für eine spätere Nutzung getestet worden. Sofern diese „Blutdepotmenge“ berücksichtigt worden wäre, hätte der Transfusionsbedarf von 8 weiteren Operationen gedeckt werden können. Somit hätten bei Befolgung dieses Bestellalgorithmus 85,00 % der Eingriffe ausreichend mit EK beliefert werden können (Tabelle 127). Die gemäß der neuen Bestellpraxis vorbereitete EK-Anzahl (5 EK) hätte sich von der im Transfusionskatalog vorgeschlagenen Menge unterschieden. Der Transfusionskatalog schlug für diesen Eingriff vor,

3 EK in den OP zu schicken und 3 EK im Blutdepot für einen möglichen späteren Bedarf vorbereiten zu lassen.

Tabelle 127: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %-Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus gesamt	OP-Menge	Blutdepot-menge		
AKE/MKE (Re-OP)	85,00 %	45,00 %	40,00 %	5 EK	3 EK/3 EK

Abweichungsanalyse

Auf Grundlage des Bestellmodells hätte bei 16 von 20 Operationen die bereitgestellte EK-Menge über der benötigten EK-Menge gelegen (Tabelle 128). Diese Abweichung hätte im Durchschnitt 3 EK betragen. Die Angaben des Transfusionskataloges haben bei 17 Operationen die Anzahl der tatsächlich benötigten EK überragt. Bezogen auf diese Fälle lag die Überversorgung im Durchschnitt bei 4 EK.

Tabelle 128: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK-Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
AKE/MKE Re-OP	80,00 %	2,81 EK	1,56

3.3.15 Aorta Ascendens-Bogenersatz

3.3.15.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

Im Untersuchungszeitraum 2012 bis 2015 haben sich 142 Patienten dem herzchirurgischen Eingriff „Aorta Ascendens Bogenersatz“ unterzogen (Tabelle 129). 65,35 % der Transfusionspatienten und 92,68 % der nicht-transfunden Patienten waren männlich. Im Mittel waren die Patienten 63,09 Jahre alt, wobei die nicht-transfunden Patienten mit 59,51 Jahren 5 Jahre jünger waren als die Transfusionspatienten.

Tabelle 129: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			w		m		MW	SD
			n	%	n	%		
	Gesamt	142	38	26,76	104	73,24	63,09	13,10
Aorta Ascendens-Bogenersatz	EK≥1	101	35	34,65	66	65,35	64,54	12,60
	EK=0	41	3	7,32	38	92,68	59,51	13,76

Der Mittelwert des Hb-Wertes der transfundierten Patienten lag mit 13,15 g/dl sowohl im Normbereich für Frauen also auch im Normbereich für Männer (96). Demgegenüber zeigte der Hb-Wert der nicht-transfundierten Patienten mit 15,01 g/dl ein deutlich höheres Niveau (Tabelle 130). Patienten, die eine EK-Transfusion erhalten hatten, wiesen im Vergleich zu den nicht-transfundierten Patienten eine um 0,10 m² kleinere Körperoberfläche auf.

Tabelle 130: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF		Hb-Wert	
			(m ²)		(g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
	Gesamt	142	1,98	0,20	13,69	1,56
Aorta Ascendens-Bogenersatz	EK≥1	101	1,95	0,21	13,15	1,42
	EK=0	41	2,05	0,17	15,01	1,02

103 der 142 Patienten dieses Eingriffs waren sehr schwer erkrankt und wurden daher den Kategorien ASA 4 (61,27 %) und ASA 5 (11,27 %) zugeteilt (Tabelle 131). Bei den Patienten, denen EK transfundiert wurden, zeigte sich mit einem ASA 4 Anteil von 68,32 % und einem ASA 5 Anteil von 12,87 % eine ähnliche Verteilung. Der Großteil der nicht-transfundierten Patienten, 37 von 41, gehörten annähernd zu gleichen Teilen den ASA-Kategorien 3 (19 Patienten) und 4 (18 Patienten) an. 100 Operationen waren gemäß der Definition geplant, davon entfielen 66 auf Transfusionspatienten und 34 auf nicht-transfundiert Patienten (Tabelle 132). Die Mehrzahl der ungeplanten Operationen (82,61 %) und Notfalloperationen (84,21 %) wurden bei Transfusionspatienten durchgeführt.

Tabelle 131: ASA-Klassifikation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation									
			1		2		3		4		5	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Aorta	Gesamt	142	0	0,00	1	0,70	38	26,76	87	61,27	16	11,27
Ascendens-Bogenersatz	EK≥1	101	0	0,00	0	0,00	19	18,81	69	68,32	13	12,87
	EK=0	41	0	0,00	1	2,44	19	46,34	18	43,90	3	7,32

Tabelle 132: Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3	
			n	%	n	%	n	%
	Gesamt	142	100	70,42	23	16,20	19	13,38
Aorta Ascendens-Bogenersatz	EK≥1	101	66	65,35	19	18,81	16	15,84
	EK=0	41	34	82,93	4	9,76	3	7,32

3.3.15.2 Poisson-Regression

Für die Faktoren ASA-Klassifikation, Hb-Wert und Alter konnte jeweils ein statistisch signifikanter Einfluss auf die Anzahl der transfundierten EK festgestellt werden. Dabei zeigten ASA-Klassifikation und Hb-Wert mit jeweils p-Wert < 0,001 eine hohe Signifikanz. Sonst gesunde Patienten (ASA 1) sowie nur leicht erkrankte Patienten (ASA 2) wurden von der Berechnung des Prognosemodells ausgeschlossen, da sie keine EK-Transfusion erhalten hatten.

Die Signifikanz der Variable Alter lag mit einem p-Wert von 0,039 nur leicht über der Signifikanzschwelle von $p=0,05$. Ein um ein 1 Jahr höheres Alter bedeutete ein um den Faktor 1,011 gestiegenen EK-Bedarf (Tabelle 133). Mit steigendem Hb-Wert und sich verbesserndem Gesundheitszustand sank die Anzahl der benötigten EK. Beispielsweise führte ein um 1 g/dl gesteigener Hb-Wert zu einer Verringerung des EK-Bedarfs um den Faktor 0,667. Der jeweilige paarweise Vergleich der Kategorien 3 bis 5 der ASA-Klassifikation zeigte nur für das Paar ASA 4 und ASA 5 keinen statistisch signifikanten Unterschied hinsichtlich des EK-Bedarfs.

Tabelle 133: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI for Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	6,230	0,826	56,868	1	0,000	507,679	100,552	2563,231
ASACode=3	-0,933	0,244	14,600	1	0,000	0,393	0,244	0,635
ASACode=4	-0,798	0,186	18,488	1	0,000	0,450	0,313	0,648
ASACode=5	0					1		
Hb-Wert	-0,405	0,055	54,315	1	0,000	0,667	0,599	0,743
Alter	0,011	0,006	4,241	1	0,039	1,011	1,001	1,022

Aus den statistisch signifikanten Faktoren (Tabelle 133) ließ sich folgende Regressionsgleichung bilden:

$$\lambda = \exp \left(6,230 + \begin{cases} -0,933 \text{ (ASA 3)} \\ -0,798 \text{ (ASA 4)} \\ 0 \text{ (ASA 5)} \end{cases} - 0,405 \times \text{Hb-Wert} + 0,011 \times \text{Alter} \right).$$

3.3.15.3 Prognosentests

Der Datensatz zur Überprüfung des Prognosemodells und des gesamten Bestellalgorithmus umfasste ursprünglich 47 Eingriffe. Davon mussten 8 Fälle ausgeschlossen werden, da kein Hb-Wert dokumentiert worden war.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

Lediglich bei 4 Operationen hätte die Vorhersage genau der tatsächlichen transfundierten EK-Menge entsprochen. Dies entspräche einem Anteil von 10,26 % an den verbleibenden 39 Operationen (Tabelle 134).

Tabelle 134: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusion	Mittelwert Prognose
Aorta Ascendens-Bogenersatz	10,26 %	2,59 EK	3,17 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

Bei 12 Operationen hätte das Prognosemodell jeweils 1 EK für den OP vorhergesagt. Diese EK-Menge hätte ausgereicht, um den Transfusionsbedarf von 10 Operationen zu decken (Tabelle 135). Bei zusätzlichen 27 Operationen wären 2 EK für den OP bereitgestellt worden, was gemäß der Konzeption des „Bestellalgorithmus GRH“ der Maximalmenge des Prognosemodells für den OP entspricht. Von diesen 27 Prognosen wären 11 ausreichend gewesen, um eine EK-Bedarfsdeckung zu erreichen. Somit hätte die Lieferung von 2 EK bei 16 Operationen nur einem ersten Teil des Gesamtbedarfs an EK entsprochen. Zur Deckung des verbleibenden Transfusionsbedarfs (Median) wären bei diesen 16 Operationen zusätzlich jeweils 2 EK aus dem Blutdepot angefordert worden. Aufgrund des Algorithmus wären diese 2 EK im Blutdepot vorbereitet gewesen.

Tabelle 135: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	Anzahl		Abdeckung		Anzahl		Abdeckung	
	Vorhersage		durch		Vorhersage		durch	
	n	0 EK	0 EK	1 EK	1 EK	2 EK	2 EK	
Aorta Ascendens-Bogenersatz	39	0	0/0	12	10/12	27	11/27	

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Die Befolgung der neuen Bestellpraxis hätte dazu geführt, dass 92,31 % der überprüften Operationen ausreichend mit EK versorgt worden wären (Tabelle 136). Entsprechend dieser Bestellvorgabe wäre insgesamt die EK-Menge des 85 %-Perzentils, 5 EK, für jede Operation reserviert worden. Davon wären je nach Ergebnis des Prognosemodells bis zu 2 EK in den OP geliefert worden und der Rest im Blutdepot für eine eventuell spätere Verwendung reserviert worden. Nur auf Grundlage der „OP-Menge“ (0 EK - 2 EK) wären 21 Operationen (53,85 %) mit den benötigten EK versorgt worden (Tabelle 133). Durch Zurückgreifen auf die „Blutdepotmenge“ hätte man bei 15 weiteren Eingriffen (38,46 %) eine Deckung des

Transfusionsbedarfs erreicht. Im Unterschied zum Bestellalgorithmus hätte der Transfusionskatalog 3 EK für den OP und 3 EK für das Lagern auf Abruf im Blutdepot vorgesehen.

Tabelle 136: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %-Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus gesamt	OP-Menge	Blutdepot-menge		
Aorta Ascendens-Bogenersatz	92,31 %	53,85 %	38,46 %	5 EK	3 EK/3 EK

Abweichungsanalyse

Bei Befolgung des Bestellalgorithmus hätten sich bei 33 von 39 Operationen überhöhte EK-Bereitstellungen ergeben (Tabelle 137). Dabei wären pro Fall 3 EK zu viel vorbereitet worden. Der Transfusionskatalog hat in 36 Fällen zu einer Überversorgung geführt, die im Durchschnitt bei 4 EK lag.

Tabelle 137: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK-Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
Aorta Ascendens-Bogenersatz	84,62 %	3,33 EK	1,93

3.3.16 Aorta Ascendens-Ersatz

3.3.16.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

Zwei Drittel der insgesamt 288 durchgeführten Operationen entfielen auf männliche Patienten (Tabelle 138). Davon erhielten 52,58 % eine Transfusion. Die entsprechende Statistik der weiblichen Patienten unterscheidet sich davon erheblich. So wurden 80 der 94 weiblichen Patienten mit einer Transfusion versorgt. Der Mittelwert des Alters lag bei diesem Eingriff bei 60,97 Jahren. Transfundierte Patienten waren dabei 5 Jahre älter als die Nicht-Transfundierten.

Tabelle 138: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MW	SD
			n	%	n	%		
	Gesamt	288	194	67,36	94	32,64	60,97	15,00
Aorta Ascendens-Ersatz	EK≥1	182	102	56,04	80	43,96	62,97	15,04
	EK=0	106	92	86,79	14	13,21	57,54	15,04

Transfusionspatienten wiesen im Vergleich zu der Vergleichsgruppe der Nicht-Transfundierten mit 1,88 m² eine um 0,20 m² kleinere Körperoberfläche auf (Tabelle 139). In Bezug auf das

Merkmal Hb-Wert ließ sich ein deutlicher Unterschied feststellen. Für Patienten, die keine Transfusion erhielten, konnte ein Wert von 14,61 g/dl nachgewiesen werden, der deutlich über dem Vergleichswert von 12,95 g/dl der Transfusionspatienten lag.

Tabelle 139: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF		Hb-Wert	
			(m ²)		(g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
Aorta	Gesamt	288	1,95	0,30	13,56	1,98
Ascendens-	EK≥1	182	1,88	0,29	12,95	1,90
Ersatz	EK=0	106	2,08	0,27	14,61	1,65

156 Patienten wurden entsprechend ihrer lebensbedrohlichen Allgemeinerkrankung als ASA 4 Patienten eingestuft (Tabelle 140). Zusätzlich wurden 110 Patienten mit einer schweren Allgemeinerkrankung (ASA 3) operiert. Damit zählten 92,36 % der Patienten dieses Herzeingriffs zu einer dieser beiden ASA-Kategorien.

75,82 %, also der Großteil der Eingriffe mit Transfusion, wurden als geplant eingestuft (Tabelle 141). Nur 7 nicht- transfundierte Patienten unterzogen sich einer gemäß OP-Plan nicht geplanten Operation bzw. Notfalloperation.

Tabelle 140: ASA-Klassifikation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation									
			1		2		3		4		5	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Aorta	Gesamt	288	0	0,00	2	0,69	110	38,19	156	54,17	20	6,94
Ascendens-	EK≥1	182	0	0,00	1	0,55	54	29,67	111	60,99	16	8,79
Ersatz	EK=0	106	0	0,00	1	0,94	56	52,83	45	42,45	4	3,77

Tabelle 141: Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3	
			n	%	n	%	n	%
Aorta Ascendens-Ersatz	EK≥0	288	237	82,29	23	7,99	28	9,72
	EK≥1	182	138	75,82	21	11,54	23	12,64
	EK=0	106	99	93,40	2	1,89	5	4,72

3.3.16.2 Poisson-Regression

Die 4 Variablen ASA-Code (p-Wert < 0,001), Dringlichkeit der Operation (p-Wert: 0,001), Hb-Wert (p-Wert < 0,001) und Alter (p-Wert < 0,001) haben einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Anzahl der transfundierten EK.

Im Datensatz, der für die Poisson-Regression herangezogen wurde, waren nur Patienten der ASA-Kategorien 3, 4 und 5 erfasst. Der paarweise Vergleich für die Kategorien 3 bis 5 der ASA-Klassifikation zeigte, dass hinsichtlich des EK-Bedarfs zwischen ASA 3 und ASA 4 bzw. ASA 3 und ASA 5 statistisch signifikante Unterschiede bestanden, nicht jedoch zwischen ASA 4 und ASA 5.

Patienten der Kategorie ASA 4 benötigten um den Faktor 1,206 mehr EK als moribunde Patienten (ASA 5), (Tabelle 142).

Der paarweise Vergleich stellte für den Einflussfaktor „Dringlichkeit der Operation“ zwischen den Kategorien „geplante Operation“ (Dringlichkeit 1) und „ungeplante Operation“ (Dringlichkeit 2) sowie zwischen „geplanter Operation“ und „Notfalloperation“ (Dringlichkeit 3) einen statistisch signifikanten Unterschied in Bezug auf den EK-Bedarf fest.

Ein steigender Hb-Wert ist mit einem sinkenden Blutbedarf verbunden (Tabelle 139). So zeigte sich bei einem Anstieg um 1 g/dl eine Abnahme des EK-Bedarfs um den Faktor 0,808. Bei sonst konstanten Faktoren ergibt sich aus einem Jahr Alterszuwachs ein mit der Rate von 1,012 gestiegener EK-Bedarf.

Tabelle 142: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	2,974	,363	66,972	1	,000	19,570	9,600	39,897
ASACode=3	-,368	,224	2,703	1	,100	,692	,446	1,073
ASACode=4	,188	,177	1,119	1	,290	1,206	,852	1,708
ASACode=5	0	,000				1		
Dringl.Code=1	-,100	,175	,327	1	,567	,905	,642	1,275
Dringl.Code=2	,532	,212	6,287	1	,012	1,702	1,123	2,579
Dringl.Code=3	0	,000				1		
Hb-Wert	-,213	,024	77,222	1	,000	,808	,771	,847
Alter	,011	,003	12,218	1	,000	1,012	1,005	1,018

Die Regressionskoeffizienten (B) der statistisch signifikanten Faktoren, Tabelle 142, bilden das Prognosemodell:

$$\lambda = \exp \left(2,974 + \left\{ \begin{array}{l} -0,368 \text{ (ASA 3)} \\ 0,188 \text{ (ASA 4)} \\ 0 \text{ (ASA 5)} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} -0,100 \text{ (Dringlichkeit 1)} \\ 0,532 \text{ (Dringlichkeit 2)} \\ 0 \text{ (Dringlichkeit 3)} \end{array} \right\} - 0,213 \times \text{Hb-Wert} + 0,011 \times \text{Alter} \right).$$

3.3.16.3 Prognosentests

Der Datensatz, der zum Testen des Prognosemodells und des Bestellalgorithmus eingesetzt wurde, entsprach mit 96 Eingriffen einem Drittel der Gesamtdatei. Aufgrund von nicht dokumentierten Hb-Werten mussten 18 Fälle von den weiteren Tests ausgeschlossen werden.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

Dieser Test, der die genaue Übereinstimmung von Prognose- und Transfusionsmenge misst, hätte mit 20,51 % einen niedrigen Wert ausgewiesen (Tabelle 143).

Tabelle 143: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit	Mittelwert	Mittelwert
	Prognosemodell	Transfusion	Prognose
Aorta Ascendens-Ersatz	20,51 %	2,21 EK	2,52 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

Von den 24 Vorhersagen des Prognosemodells für den OP in Höhe von 1 EK hätten 20 den jeweiligen Transfusionsbedarf abgedeckt (Tabelle 144). Bei 53 Fällen hätte das Prognosemodell 2 EK für den OP vorgesehen. Dadurch wären bei 27 Operationen die benötigten EK bereitgestellt worden. Für die übrigen 26 Fälle hätte diese Lieferung in Höhe von 2 EK nur einem ersten Teil des gesamten Transfusionsbedarfs entsprochen. Für die Abdeckung des verbleibenden Transfusionsbedarfs (Median) dieser 26 Operationen wären jeweils 2 EK zusätzlich im Blutdepot bestellt worden. Aufgrund des Algorithmus wären im Blutdepot ausreichend EK auf Abruf vorbereitet worden.

Tabelle 144: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	Anzahl		Abdeckung	Anzahl		Abdeckung	Anzahl	
	Vorhersage		durch	Vorhersage		durch	Vorhersage	
	n	0 EK	0 EK	1 EK	1 EK	2 EK	2 EK	
Aorta Ascendens-Ersatz	78	1	1/1	24	20/24	53	27/53	

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Bei Anwendung der neuen Bestellpraxis wären 88,46 % der Fälle ausreichend mit EK versorgt worden (Tabelle 145). Dies hätte man zum einen dadurch erreicht, dass in Abhängigkeit der Prognosemenge maximal 2 EK in den OP geliefert worden wären. Durch diese sog. „OP-Menge“, hätten 48 Eingriffe (61,54 %) mit den benötigten EK versorgt werden können.

Zum anderen wäre durch Zurückgreifen auf die „Blutdepotmenge“, die in Abhängigkeit der in den OP gelieferten Menge zwischen 3 EK und 5 EK lag, der Transfusionsbedarf von 21 weiteren Operationen (26,92 %) gedeckt worden. Im Gegensatz dazu sah der Transfusionskatalog eine andere Verteilung der 5 vorzubereitenden EK vor, 3 EK in den OP und 2 EK auf Abruf im Blutdepot.

Tabelle 145: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %-Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus gesamt	OP- Menge	Blutdepot- menge		
Aorta Ascendens- Ersatz	88,46 %	61,54 %	26,92 %	5 EK	3 EK/2 EK

Abweichungsanalyse

Infolge des Bestellalgorithmus wären für 66 von 78 Patienten EK-Mengen bereitgestellt worden, die über dem Transfusionsbedarf lagen (Tabelle 146). Die Abweichung zwischen diesen beiden EK-Mengen hätte durchschnittlich 4 EK betragen. Aufgrund der übereinstimmenden Anzahl an insgesamt vorzubereitenden EK hat der Transfusionskatalog zu denselben Abweichungen wie der „Bestellalgorithmus GRH“ geführt.

Tabelle 146: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK- Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
Aorta Ascendens-Ersatz	84,62 %	3,68 EK	2,27

3.3.17 Herztransplantation

3.3.17.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

In den Jahren 2012 bis 2015 haben sich 225 Patienten einer Herztransplantation unterzogen (Tabelle 147). Dabei stellten männliche Patienten mit 79,11 % den Großteil der Patienten. Diese eindeutige Verteilung der Geschlechter zeigte sich sowohl bei transfundierten als auch bei nicht-transfundierten Patienten. Bei Transfusionspatienten lag der Mittelwert des Alters mit 46,83 Jahren 3 Jahre unter dem entsprechenden Wert der Gruppe der nicht-transfundierten Patienten.

Tabelle 147: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MW	SD
			n	%	n	%		
	Gesamt	225	178	79,11	47	20,89	47,83	18,40
Herz-Tx	EK \geq 1	160	125	78,13	35	21,88	46,83	19,31
	EK=0	65	53	81,54	12	18,46	50,31	15,80

Die Gruppe der transfundierten Patienten wies mit 11,20 g/dl einen unter der Norm (96) liegenden Hb-Ausgangswert auf (Tabelle 148). Im Mittel ergab sich für alle Patienten eine

Körperoberfläche von 1,83 m². Transfundierte Patienten hatten mit 1,78 m² eine kleinere Körperoberfläche.

Tabelle 148: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF (m ²)		Hb-Wert (g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
			Gesamt	225	1,83	0,42
Herz-Tx	EK≥1	160	1,78	0,46	11,20	2,10
	EK=0	65	1,94	0,27	12,54	2,28

In Übereinstimmung mit der Art des Eingriffs litten von 225 Patienten 194 an einer lebensbedrohlichen Allgemeinerkrankung (ASA 4) (Tabelle 149). Außerdem waren 20 Patienten moribund, und zählten damit zu der Kategorie ASA 5. 72,16 % der ASA 4 Patienten und 75,00 % der ASA 5 Patienten erhielten eine Transfusion. Passend zu der hohen Anzahl an Patienten mit sehr schlechtem Gesundheitszustand, mussten 42 Eingriffe als „Notfalloperation“ durchgeführt werden (Tabelle 150). Geplante und ungeplante Operationen stellten jedoch mit 38,67 % und 42,67 % den überwiegenden Anteil der Eingriffe dar.

Tabelle 149: ASA-Klassifikation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation									
			1		2		3		4		5	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Gesamt		225	1	0,44	0	0,00	10	4,44	194	86,22	20	8,89
Herz-Tx	EK≥1	160	0	0,00	0	0,00	5	3,13	140	87,50	15	9,38
	EK=0	65	1	1,53	0	0,00	5	7,69	54	83,08	5	7,69

Tabelle 150: Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3	
			n	%	n	%	n	%
Gesamt		225	87	38,67	96	42,67	42	18,67
Herz-Tx	EK≥1	160	63	39,38	67	41,88	30	18,75
	EK=0	65	24	36,92	29	44,62	12	18,46

3.3.17.2 Poisson-Regression

Von den 6 ursprünglich berücksichtigten Parametern des Regressionsmodells zeigten nur zwei Faktoren Werte über der Signifikanzschwelle. Diese beiden unterschieden sich jedoch sehr stark in ihrer Signifikanz. So wies der Faktor Hb-Wert einen p-Wert von < 0,001, der Faktor Geschlecht einen p-Wert von 0,0498 auf. Die negativen Vorzeichen beider Regressionskoeffizienten (B) bedeuteten, dass ein steigender Hb-Wert eine sinkende EK-Bedarfsprognose nach sich zieht

und, dass im Vergleich der Geschlechter weibliche Patienten einen niedrigeren EK-Bedarf aufwiesen (Tabelle 151). So sank der EK-Bedarf bei weiblichen Patienten um den Faktor 0,738. Ein um 1 g/dl steigender Hb-Wert verringerte die Menge an transfundierten EK, bei sonst konstanten Variablen, um den Faktor 0,847.

Tabelle 151: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	2,964	0,272	118,424	1	0,000	19,376	11,361	33,044
Geschlecht: weiblich	-0,303	0,155	3,846	1	0,050	0,738	0,545	1,000
Geschlecht: männlich	0	0,000				1		
Hb-Wert	-0,166	0,025	44,314	1	0,000	0,847	0,806	0,889

Die Regressionskoeffizienten (B) der Tabelle 151 ergaben das Prognosemodell:

$$\lambda = \exp\left(2,964 + \begin{cases} -0,303 \text{ (weiblich)} \\ 0 \text{ (männlich)} \end{cases} - 0,166 \times \text{Hb-Wert}\right).$$

3.3.17.3 Prognosentests

Der Datensatz, der zur Überprüfung der Genauigkeit der Vorhersagen des Prognosemodells und des „Bestellalgorithmus GRH“ herangezogen wurde, umfasste ursprünglich 75 Eingriffe. Aufgrund fehlender Hb-Werte mussten 8 Fälle aus den Jahren 2012 bis 2015 von den Prognosentests ausgeschlossen werden.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

Von den verbleibenden 67 Fällen hätten nur 11 eine genaue Übereinstimmung zwischen Prognose und tatsächlicher Transfusionsmenge aufgewiesen. Dies hätte zu einer Quote der Übereinstimmung in Höhe von 16,42 % geführt (Tabelle 152).

Tabelle 152: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusionen	Mittelwert Prognose
Herz-Tx	16,42 %	3,34 EK	2,85 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

Bei 64 von 67 Operationen hätte das Prognosemodell 2 EK für den OP vorgesehen (Tabelle 153). Diese Prognosemenge wäre bei 32 Eingriffen ausreichend gewesen, um den Transfusionsbedarf zu decken. Bei den restlichen 32 Eingriffen hätte die Lieferung von 2 EK in den OP nur eine erste Tranche des gesamten Transfusionsbedarfs dargestellt. Um den verbleibenden Transfusionsbedarf (Median) dieser 32 Operationen zu decken, wären zusätzlich jeweils 2 EK im

Blutdepot bestellt worden. Aufgrund des Algorithmus wären im Blutdepot ausreichend EK auf Abruf vorbereitet worden.

Tabelle 153: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	Anzahl		Abdeckung		Anzahl		Abdeckung	
	n	Vorhersage	durch	Vorhersage	durch	Vorhersage	durch	
		0 EK	0 EK	1 EK	1 EK	2 EK	2 EK	
Herz-Tx	67	0	0/0	3	2/3	64	32/64	

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Die insgesamt vorbereitete EK-Menge, die 85 %-Menge, unterschied sich nicht von der bisherigen Vorgabe des Transfusionskatalogs, 6 EK präoperativ vorzubereiten, sondern ein Unterschied ergab sich bei der Aufteilung der bereitgestellten Konserven (Tabelle 154). In Abweichung zur Vorgabe des Transfusionskataloges, 3 EK in den OP zu liefern und 3 EK im Blutdepot auf Abruf vorzuhalten, würden bei Befolgung der neuen Bestellpraxis je nach Prognoseergebnis zunächst bis zu 2 EK in den OP geschickt. In Abhängigkeit dieser „OP-Menge“ wären im Blutdepot jeweils 4 bis 6 EK für diese Eingriffe vorbereitet worden. Bei Befolgung der neuen Bestellpraxis wären 85,07 % der Operationen zwischen den Jahren 2012 und 2015 ausreichend mit EK versorgt worden (Tabelle 154). Dabei wäre der Transfusionsbedarf von 34 Operationen (50,75 %) nur durch die „OP-Menge“ abgedeckt worden. Zusätzlich hätten bei Berücksichtigung der „Blutdepotmenge“ 23 weitere Eingriffe mit den benötigten EK versorgt werden können.

Tabelle 154: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %-Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus gesamt	OP-Menge	Blutdepot- menge		
Herz-Tx	85,07 %	50,75 %	34,32 %	6 EK	3 EK/3 EK

Abweichungsanalyse

54 von 67 Operationen hätten infolge des Bestellalgorithmus überhöhte EK-Bereitstellungen aufgewiesen (Tabelle 155). Dabei hätte die vorbereitete EK-Menge durchschnittlich 4 EK über der Transfusionsmenge gelegen. Da auch der Transfusionskatalog vorsah, insgesamt 6 EK vorzubereiten, ergaben sich dieselben Abweichungen.

Tabelle 155: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK- Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
Herz-Tx	80,60 %	4,24 EK	1,79

3.3.18 Herzkatheter interventionell (alle übrigen)

3.3.18.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

Im Rahmen der Eingriffsart „Herzkatheter interventionell (alle übrigen)“, die im Transfusionskatalog der Kinderkardiologie zugeordnet war, wurden vor allem Septumdefekte versorgt und perkutan-transluminale Gefäßinterventionen am Herz und den Koronargefäßen durchgeführt.

Im Untersuchungszeitraum 2012 bis 2015 gehörten 168 Herzkatheter-Operationen dieser Eingriffsart an (Tabelle 156). Bei der Mehrzahl der Operationen, 125, war keine EK-Transfusion nötig. Sowohl bei den transfundierten als auch bei den nicht-transfundierten Patienten sind männliche und weibliche Patienten annähernd zu gleichen Anteilen vertreten. Der auffällig hohe Mittelwert des Alters ergibt sich daraus, dass auch Erwachsene dieser Eingriffsart zugeteilt worden waren.

Tabelle 156: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MW	SD
			n	%	n	%		
Herzkatheter interventionell (alle übrigen)	Gesamt	168	89	52,98	79	47,02	42,05	30,55
	EK≥1	43	19	44,19	24	55,81	26,70	30,95
	EK=0	125	70	56,00	55	44,00	47,34	28,68

Die Körperoberfläche der Transfusionspatienten lag mit 0,92 m² deutlich unter dem Wert der nicht-transfundierten Patienten in Höhe von 1,63 m² (Tabelle 157). Auch hier ist zu beachten, dass zwei Drittel der nicht-transfundierten Patienten älter als 18 Jahre war. Demgegenüber unterschieden sich beide Patientengruppen in Bezug auf den Hb-Wert nur geringfügig. So wiesen in Hinblick auf den Mittelwert transfundierte Patienten einen Hb-Wert von 11,28 g/dl und nicht-Transfundierte einen Hb-Wert von 11,87 g/dl auf.

Tabelle 157: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF (m ²)		Hb-Wert (g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
			Herzkatheter interventionell (alle übrigen)	Gesamt	168	1,45
EK≥1	43	0,92		0,76	11,28	1,93
EK=0	125	1,63		0,50	11,87	2,31

Mit 41,67 % (ASA 3) und 39,29 % (ASA 4) war die Mehrheit der Patienten schwer oder lebensbedrohlich erkrankt (Tabelle 158). Bei den Transfusionspatienten wurden 58,14 % der

Patienten gemäß ihrem Gesundheitszustand als ASA 4 eingestuft. Bei den nicht-transfunden Patienten entfiel der Großteil der Operationen, 42,40 %, auf Patienten mit ASA 3.

70,24 % aller Operationen dieser Eingriffsart und 76,74 % der Operationen bei den Transfusionspatienten wurden als geplant eingestuft (Tabelle 159). Von den 9 Notfalloperationen waren nur zwei mit einer EK-Transfusion verbunden.

Tabelle 158: ASA-Klassifikation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation									
			1		2		3		4		5	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Herzkatheter	Gesamt	168	2	1,19	21	12,50	70	41,67	66	39,29	9	5,36
interventionell	EK≥1	43	0	0,00	1	2,33	17	39,53	25	58,14	0	0,00
(alle übrigen)	EK=0	125	2	1,60	20	16,00	53	42,40	41	32,80	9	7,20

Tabelle 159: Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3	
			n	%	n	%	n	%
Herzkatheter interventionell	Gesamt	168	118	70,24	41	24,40	9	5,36
(alle übrigen)	EK≥1	43	33	76,74	8	18,60	2	4,65
	EK=0	125	85	68,00	33	26,40	7	5,60

3.3.18.2 Poisson-Regression

Die Faktoren ASA-Klassifikation (p-Wert < 0,001), Dringlichkeit der Operation (p-Wert: 0,010) und Hb-Wert (p-Wert < 0,001) zeigten einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Menge der transfunden EK.

Da 31 von 32 Patienten der ASA-Klassifikationen 1, 2 und 5 keine EK-Transfusion erhalten hatten, wurden diese nicht in die Auswertung der Poisson-Regression mitaufgenommen. Der ASA 2 Patient mit EK-Transfusion musste von der Poisson-Regression ausgeschlossen werden, da kein Hb-Wert dokumentiert war.

Patienten mit schwerer Allgemeinerkrankung (ASA 3) benötigten im Vergleich zur Referenzkategorie ASA 4 weniger EK (Tabelle 160). Sofern die übrigen Faktoren konstant gehalten wurden, sank bei Patienten mit ASA 3 im Vergleich zu den Patienten der ASA 4 Kategorie der EK-Bedarf um den Faktor 0,212. Da der paarweise Vergleich einen p-Wert von 0,058 ergab, lag zwischen den ASA-Kategorien 3 und 4 nur ein tendenzieller aber kein statistisch signifikanter Unterschied in Bezug auf den EK-Verbrauch vor.

Der paarweise Vergleich für die Variable Dringlichkeit der Operation zeigte, dass hinsichtlich des EK-Verbrauchs der Patienten kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Ausprägungen der Variable Dringlichkeit der Operation bestand.

Demgegenüber sank mit steigendem Hb-Wert der EK-Bedarf. Sofern die übrigen Faktoren konstant gehalten wurden, verringerte sich der EK-Bedarf mit jedem zusätzlichen g/dl um den Faktor 0,765.

Tabelle 160: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	1,162	1,1986	0,940	1	0,332	3,197	0,305	33,494
ASACode=3	-1,549	0,3333	21,592	1	0,000	0,212	0,111	0,408
ASACode=4	0					1		
Dringl.Code=1	2,281	1,0229	4,972	1	0,026	9,785	1,318	72,653
Dringl.Code=2	1,466	1,0526	1,939	1	0,164	4,331	0,550	34,084
Dringl.Code=3	0					1		
Hb-Wert	-0,267	0,0733	13,305	1	0,000	0,765	0,663	0,884

Aus den Variablen der Tabelle 160 lässt sich das Prognosemodell für diese Eingriffsart bilden:

$$\lambda = \exp \left(1,162 + \begin{cases} -1,549 \text{ (ASA 3)} \\ 0 \text{ (ASA 4)} \end{cases} + \begin{cases} 2,281 \text{ (Dringlichkeit 1)} \\ 1,466 \text{ (Dringlichkeit 2)} \\ 0 \text{ (Dringlichkeit 3)} \end{cases} - 0,267 \times \text{Hb-Wert} \right).$$

3.3.18.3 Prognosentests

Der Datensatz für das Testen des vorliegenden Prognosemodells und des „Bestellalgorithmus GRH“ umfasste ursprünglich 56 Operationen, also ein Drittel der in den Jahren 2012 bis 2015 durchgeführten Operationen. Aufgrund fehlender Hb-Werte wurden 11 Fälle aus den Prognosentests ausgeschlossen.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

Eine genaue Übereinstimmung zwischen der Prognose und der EK-Transfusion hätte in 35,56 % der Fälle festgestellt werden können (Tabelle 161).

Tabelle 161: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusionen	Mittelwert Prognose
Herzkatheter interventionell (alle übrigen)	35,56 %	0,24 EK	0,83 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

Von 15 Prognosen in Höhe von 0 EK für den OP hätten 14 mit dem tatsächlich nicht vorhandenen Transfusionsbedarf übereingestimmt (Tabelle 162). Bei 22 Operationen wäre jeweils 1 EK in den OP geliefert worden, wodurch 20 Operationen ausreichend mit EK versorgt worden wären. Alle 8 Prognosen in Höhe von 2 EK hätten zu einer Abdeckung des EK-Bedarfs geführt.

Tabelle 162: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	n	Anzahl	Abdeckung	Anzahl	Abdeckung	Anzahl	Abdeckung
		Vorhersage	durch	Vorhersage	durch	Vorhersage	durch
		0 EK	0 EK	1 EK	1 EK	2 EK	2 EK
Herzkatheter							
interventionell	45	15	14/15	22	20/22	8	8/8
(alle übrigen)							

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Bei Anwendung der neuen Bestellpraxis wären 93,33 % der Operationen ausreichend mit EK versorgt worden (Tabelle 163). Diese Bedarfsdeckung hätte man allein mit der in den OP geschickten EK-Menge, die gemäß des Prognosemodells 0 EK bis maximal 2 EK betragen hätte, erreicht.

Aus dem Zusammenwirken von 85 %-Bereich und „OP-Menge“ ergab sich, dass nur bei Prognosen von 0 EK die 85 %-Menge zum Tragen kommt und dementsprechend 1 EK im Blutdepot vorbereitet worden wäre. In diesem Fall, Prognose = 0 EK, würden die neue Bestellpraxis und die Vorgabe des Transfusionskataloges, 1 EK auf Abruf im Blutdepot vorzubereiten, übereinstimmen.

Tabelle 163: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %-Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus gesamt	OP-Menge	Blutdepot- menge		
Herzkatheter					
interventionell	93,33 %	93,33 %	0,00 %	1 EK	0 EK/1 EK
(alle übrigen)					

Abweichungsanalyse

Die Anwendung des Bestellalgorithmus hätte bei 40 von 45 Eingriffen zu einer überhöhten Bereitstellung von EK geführt (Tabelle 164). Der durchschnittliche Unterschied zwischen vorbereiteter und benötigter EK-Menge hätte bei 1 EK gelegen. Der Transfusionskatalog hat in 84,44 % der Fälle Abweichungen in Höhe von 1 EK aufgewiesen.

Tabelle 164: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK-Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
Herzkathter interventionell (alle übrigen)	88,89 %	1,15 EK	4,82

3.3.19 Endokranielle Eingriffe

3.3.19.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

Im Untersuchungszeitraum erfolgten 2.433 Operationen, die gemäß ihrer OPS-Codierung zu den neurochirurgischen Eingriffen „Transspenoidale Eingriffe“, „OP n. Janetta“, „chronisch subdurales Hämatom“ und „Kraniotomie“ gezählt wurden (Tabelle 165). Da diese Eingriffe in ihrer OPS-Codierung übereinstimmten, wurden sie derselben Eingriffsart zugeteilt und als endokranielle Eingriffe bezeichnet. Nur 170 Fälle waren mit einer EK-Transfusion verbunden. Weibliche Patienten stellten bei der Gesamtzahl der Patienten mit 51,99 % und auch bei der Untergruppe der transfundierten Patienten mit 52,94 % die Mehrheit. Nicht-transfundierte Patienten waren im Mittel 3 Jahre älter als die Vergleichsgruppe der Patienten, die eine EK-Transfusion erhalten hatten.

Tabelle 165: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			w		m		MW	SD
			n	%	n	%		
Endokranielle Eingriffe	Gesamt	2.433	1.265	51,99	1.168	48,01	53,60	18,75
	EK≥1	170	90	52,94	80	47,06	51,41	24,86
	EK=0	2.263	1.175	51,92	1.088	48,08	53,77	18,20

Patienten ohne EK-Transfusion wiesen mit 1,85 m² im Vergleich zu transfundierten Patienten eine um 0,23 m² größere Körperoberfläche auf (Tabelle 166). Im Mittel hatten nicht-transfundierte Patienten einen Hb-Wert von 13,58 g/dl und überragten mit 2,85 g/dl deutlich die transfundierten Patienten auch bei diesem patientenindividuellen Faktor.

Tabelle 166: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF (m ²)		Hb-Wert (g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
Endokranielle Eingriffe	EK≥1	170	1,62	0,55	10,73	2,41
	EK=0	2.263	1,85	0,27	13,58	1,73

Mit 45,01 % litt der Großteil der operierten Patienten an einer schweren Allgemeinerkrankung (ASA 3, Tabelle 167). 37,03 % der Patienten waren nur leicht allgemein erkrankt (ASA 2). Transfundierte Patienten wiesen einen schlechteren Gesundheitszustand auf. So stellten unter diesen Patienten die Kategorie ASA 4 mit 54,12 % den größten Anteil und die Kategorie ASA 3 mit 31,76 % den zweitgrößten Anteil.

Bezogen auf die Gesamtheit der Patienten dieser Eingriffsart, wurde mit 77,56 % die Mehrheit der Operationen als geplante Operation durchgeführt (Tabelle 168). Bei den transfundierten Patienten zeigte sich eine weniger starke Konzentrierung auf eine bestimmte Operationsdringlichkeit gemäß OP-Plan. So erfolgten zusätzlich zu den 44,12 % geplanten Operationen 32,94 % ungeplante Operationen und 22,94 % sog. Notfalloperationen. Operationen an Patienten, die keine EK-Transfusion benötigten, waren in 80,07 % geplante Eingriffe.

Tabelle 167: ASA-Klassifikation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation									
			1		2		3		4		5	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Endokranielle Eingriffe	EK \geq 0	2.433	105	4,32	901	37,03	1.095	45,01	319	13,11	13	0,53
	EK \geq 1	170	4	2,35	15	8,82	54	31,76	92	54,12	5	2,94
	EK=0	2.263	101	4,46	886	39,15	1.041	46,00	227	10,03	8	0,35

Tabelle 168: Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3	
			n	%	n	%	n	%
Endokranielle Eingriffe	Gesamt	2.433	1.887	77,56	393	16,15	153	6,29
	EK \geq 1	170	75	44,12	56	32,94	39	22,94
	EK=0	2.263	1.812	80,07	337	14,89	114	5,04

3.3.19.2 Poisson-Regression

Bis auf den Einflussfaktor „Dringlichkeit der Operation“ ließ sich für die übrigen untersuchten Faktoren ein statistisch signifikanter Einfluss auf die Menge der transfundierten EK nachweisen. Hervorzuheben ist, dass die signifikanten Variablen durchgehend niedrige p-Werte von $\leq 0,001$ aufwiesen.

Die negativen Vorzeichen der Regressionskoeffizienten (B) von ASA 1 bis ASA 4 weisen darauf hin, dass jede dieser ASA-Kategorien im Vergleich zu ASA 5 einen geringeren EK-Bedarf erforderte (Tabelle 169). So hatten die Patienten mit ASA 4 bei sonst konstanten Faktoren einen

um den Faktor 0,733 verringerten EK-Bedarf. Der paarweise Vergleich für diese Variable zeigte, dass nur bei den Paaren ASA 2 und ASA 1, ASA 3 und ASA 1 sowie ASA 4 und ASA 5 kein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich des EK-Bedarfs bestand. Die Ergebnisse des paarweisen Vergleichs mit ASA Kategorie 1 sind nur eingeschränkt verwertbar, da lediglich 4 Patienten mit diesem Gesundheitszustand eine EK-Transfusion erhalten hatten.

Frauen hatten im Vergleich zu Männern einen um den Faktor 0,582 geringeren EK-Bedarf.

Mit steigendem Hb-Wert, steigendem Alter und steigender Körperoberfläche sank jeweils der EK-Bedarf. Mit einem Zuwachs des Hb-Werts um 1 g/dl verringerte sich der EK-Bedarf um den Faktor 0,745. Ein zusätzliches Lebensjahr verminderte den EK-Bedarf um den Faktor 0,989. Ein Anwachsen der Körperoberfläche um 1 m² bewirkte einen um den Faktor 0,454 geringeren EK-Bedarf.

Tabelle 169: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	5,479	0,5561	97,067	1	0,000	239,688	80,584	712,921
ASACode=1	-1,620	0,5388	9,045	1	0,003	0,198	0,069	0,569
ASACode=2	-3,031	0,5078	35,641	1	0,000	0,048	0,018	0,131
ASACode=3	-1,475	0,4234	12,135	1	0,000	0,229	0,100	0,525
ASACode=4	-0,311	0,4173	0,555	1	0,456	0,733	0,323	1,660
ASACode=5	0					1		
Geschlecht: weiblich	-0,541	0,1241	18,991	1	0,000	0,582	0,457	0,743
Geschlecht: männlich	0					1		
KOF	-0,790	0,1776	19,803	1	0,000	0,454	0,320	0,643
Hb-Wert	-0,294	0,0299	96,995	1	0,000	0,745	0,703	0,790
Alter	-0,011	0,0035	10,174	1	0,001	0,989	0,982	0,996

Anhand der Regressionskoeffizienten (B) aus Tabelle 169 ließ sich folgendes Prognosemodell errechnen:

$$\lambda = \exp \left(5,479 + \begin{pmatrix} -1,620 \text{ (ASA 1)} \\ -3,031 \text{ (ASA 2)} \\ -1,475 \text{ (ASA 3)} \\ -0,311 \text{ (ASA 4)} \\ 0 \text{ (ASA 5)} \end{pmatrix} + \begin{cases} -0,541 \text{ (weiblich)} \\ 0 \text{ (männlich)} \end{cases} - 0,790 \times \text{KOF} - 0,294 \times \text{Hb-Wert} - 0,011 \times \text{Alter} \right).$$

3.3.19.3 Prognosentests

Ursprünglich standen 811 Operationen für das Testen des Prognosemodells und des „Bestellalgorithmus GRH“ zur Verfügung. Um eine Verzerrung der jeweiligen

Prognoseergebnisse zu vermeiden, wurden die 56 Fälle von den Tests ausgeschlossen, bei denen kein Hb-Wert dokumentiert worden war.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

In 91,52 % der Fälle hätte die Prognose passend mit der erfolgten EK-Transfusion übereingestimmt (Tabelle 170).

Tabelle 170: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusionen	Mittelwert Prognose
Endokranielle Eingriffe	91,52 %	0,16 EK	0,18 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

Tabelle 171 gibt eine ausführliche Darstellung darüber, wie genau die Deckung des Transfusionsbedarfs durch die EK-Mengen wäre, die das Prognosemodell für den OP angegeben hätte. Das Prognosemodell hätte am häufigsten Vorhersagen in Höhe von 0 EK getroffen, die in 683 von 706 Fällen (96,74 %) mit dem tatsächlichen „Nicht-Bedarf“ übereinstimmten. 23 Prognosen in Höhe von 0 EK hätten nicht mit dem Transfusionsbedarf übereingestimmt. Zur Deckung des Transfusionsbedarfs (Median) hätten für diese Operationen jeweils 2 EK im Blutdepot nachbestellt werden müssen. Aufgrund des Algorithmus wären im Blutdepot keine EK auf Abruf vorbereitet worden. Von den 36 Prognosen in Höhe von 1 EK hätten 27 ausgereicht, um den Transfusionsbedarf zu decken. Bei 11 Eingriffen hätte die Bereitstellung von 2 EK für den OP zu einer ausreichenden Versorgung geführt.

Tabelle 171: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	n	Anzahl Vorhersage	Abdeckung durch	Anzahl Vorhersage	Abdeckung durch	Anzahl Vorhersage	Abdeckung durch
		0 EK	0 EK	1 EK	1 EK	2 EK	2 EK
Endokranielle Eingriffe	755	706	683/706	36	27/36	13	11/13

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Sofern man die neue Bestellpraxis angewandt hätte, wären 95,50 % der Fälle ausreichend mit EK versorgt worden (Tabelle 172). Aufgrund der Ergebnisse des Prognosemodells wären bis zu 2 EK in den OP geliefert worden. Allein durch die jeweilige „OP-Menge“ wäre der Transfusionsbedarf von 721 Operationen (95,50 %) gedeckt worden (Tabelle 172). Weitere EK wären im Blutdepot nicht vorbereitet worden. Dagegen sah der Transfusionskatalog vor, für die Eingriffsarten „Transphenoidale Eingriffe“ und „OP nach Janetta“ 2 EK und für die Eingriffsart „Kraniotomie“ 1 EK im Blutdepot vorzubereiten. Da das 85 %-Perzentil bei 0 EK lag, hängt die

Höhe der Abweichung zwischen den Vorgaben des Transfusionskataloges und den Vorhersagen des „Bestellalgorithmus GRH“ von den Ergebnissen des Prognosemodells ab.

Tabelle 172: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %- Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus gesamt	OP- Menge	Blutdepot- menge		
Endokranielle Eingriffe	95,50 %	95,50 %	0,00 %	0 EK	0 EK/2 EK, 0 EK/2 EK, 0 EK /0 EK, 0 EK/1 EK

Abweichungsanalyse

30 der 755 analysierten Operationen, was einem Anteil von 3,97 % entspricht, hätten infolge des Bestellalgorithmus eine Überversorgung des Transfusionsbedarfs aufgewiesen (Tabelle 173). Dabei wären pro Fall im Durchschnitt 1 EK zu viel bereitgestellt worden. Der Transfusionskatalog hat in 73,81 % der Operationen überhöhte Blutbereitstellungen zur Folge gehabt. Pro Fall lag die Abweichung im Durchschnitt bei 1 EK.

Tabelle 173: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK- Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
Endokranielle Eingriffe	3,97 %	1,17 EK	0,53

3.3.20 Hüft-Totalendoprothese (Hüft-TEP)

3.3.20.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

In den Jahren 2012 bis 2015 waren 144 der insgesamt 1.107 durchgeführten Hüft-TEP-Operationen mit einer EK-Transfusion verbunden (Tabelle 174). 58,45 % der Patienten waren weiblich. Auch unter den Transfusionspatienten stellten Frauen mit 64,58 % die Mehrheit.

Die Untergruppe der nicht-transfunden Patienten war im Mittel 69,27 Jahre alt und damit 4 Jahre jünger als die Transfusionspatienten.

Tabelle 174: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MW	SD
			n	%	n	%		
	Gesamt	1.107	460	41,55	647	58,45	69,72	15,49
Hüft-TEP	EK≥1	144	51	35,42	93	64,58	72,72	15,89
	EK=0	963	409	42,47	554	57,53	69,27	15,39

Mit einem Hb-Wert von 11,05 g/dl wiesen die Patienten, die eine EK-Transfusion erhalten hatten, einen um 2,29 g/dl niedrigeren Hb-Wert auf als die Patienten ohne EK-Transfusion (Tabelle 175).

Tabelle 175: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF (m ²)		Hb-Wert (g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
	Gesamt	1.107	1,85	0,25	13,04	1,84
Hüft-TEP	EK \geq 1	144	1,78	0,26	11,05	1,77
	EK=0	963	1,86	0,25	13,34	1,66

Bezogen auf die Gesamtheit der Patienten, waren 35,32 % leicht erkrankt (ASA 2) und 56,10 % schwer erkrankt (ASA 3) (Tabelle 176). Bei den Transfusionspatienten war die Aufteilung zwischen diesen beiden Gesundheitszuständen mit 16,67 % ASA 2 und 74,31 % ASA 3 Patienten deutlicher ausgeprägt.

Von den insgesamt 1.107 durchgeführten Operationen wurden 997 als geplant dokumentiert (Tabelle 177). Operationen mit EK-Transfusion waren zu 85,42 % geplant und zu 13,89 % ungeplant.

Tabelle 176: ASA-Klassifikation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation									
			1		2		3		4		5	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
	Gesamt	1.107	58	5,24	391	35,32	621	56,10	37	3,34	0	0,00
Hüft-TEP	EK \geq 1	144	2	1,39	24	16,67	107	74,31	11	7,64	0	0,00
	EK=0	963	56	5,82	367	38,11	514	53,37	26	2,70	0	0,00

Tabelle 177: Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3	
			n	%	n	%	n	%
	Gesamt	1.107	997	90,06	108	9,76	2	0,18
Hüft-TEP	EK \geq 1	144	123	85,42	20	13,89	1	0,69
	EK=0	963	874	90,76	88	9,14	1	0,10

3.3.20.2 Poisson-Regression

Die Variablen ASA-Klassifikation (p-Wert < 0,001), Dringlichkeit der Operation (p-Wert < 0,001), Hb-Wert (p-Wert < 0,001) und Alter (p-Wert: 0,034) hatten einen statistisch signifikanten Einfluss auf den EK-Verbrauch.

Im Datensatz für die Poisson-Regression (Zweidritteldatensatz) war nur ein ASA 1 Patient mit EK-Transfusion erfasst. Da aber für diesen Patienten kein Hb-Wert dokumentiert war, erfolgte ein Ausschluss dieser ASA-Kategorie. Die ASA-Kategorien 2 und 3 wiesen einen niedrigeren EK-Bedarf auf als die Referenzkategorie ASA 4 (Tabelle 178). Beispielsweise sank im Falle von sonst konstanten Variablen der EK-Bedarf bei ASA 2 um den Faktor 0,332. Die paarweisen Vergleiche der einzelnen ASA-Kategorien (2, 3 und 4) zeigten für alle Paare statistisch signifikante Unterschiede hinsichtlich des EK-Bedarfs.

Im Vergleich zu Notfalloperationen waren bei geplanten und bei ungeplanten Operationen weniger EK nötig.

Das negative Vorzeichen bei der Variable Hb-Wert sagt aus, dass der EK-Bedarf mit steigendem Hb-Wert abnahm. Bei einem Anstieg des Hb-Werts um 1 g/dl sank die Menge an benötigten EK um den Faktor 0,532, sofern die übrigen Variablen des Modells konstant gehalten wurden.

Der EK-Bedarf nahm auch bei einem Anstieg des Lebensalters ab. So konnte eine jährliche Abnahme um den Faktor 0,989 festgestellt werden.

Tabelle 178: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	9,656	0,8230	137,664	1	0,000	15615,757	3112,013	78358,234
ASACode=2	-1,102	0,3358	10,780	1	0,001	0,332	0,172	0,641
ASACode=3	-0,107	0,2424	0,196	1	0,658	0,898	0,559	1,445
ASACode=4	0					1		
Dringl.Code=1	-2,396	0,5327	20,238	1	0,000	0,091	0,032	0,259
Dringl.Code=2	-2,340	0,5789	16,336	1	0,000	0,096	0,031	0,300
Dringl.Code=3	0					1		
Hb-Wert	-0,631	0,0452	194,590	1	0,000	0,532	0,487	0,581
Alter	-0,012	0,0054	4,516	1	0,034	0,989	0,978	0,999

Folgendes Prognosemodell ließ sich aus den Regressionskoeffizienten (B) von Tabelle 178

bilden:

$$\lambda = \exp \left(9,656 + \begin{cases} -1,102 \text{ (ASA 2)} \\ -0,107 \text{ (ASA 3)} \\ 0 \text{ (ASA 4)} \end{cases} + \begin{cases} -2,396 \text{ (Dringlichkeit 1)} \\ -2,340 \text{ (Dringlichkeit 2)} \\ 0 \text{ (Dringlichkeit 3)} \end{cases} - 0,631 \times \text{Hb-Wert} - 0,012 \times \text{Alter} \right).$$

3.3.20.3 Prognosentests

Der Datensatz, der für das Testen des Prognosemodells und des „Bestellalgorithmus GRH“ gebildet wurde, umfasste Werte von 369 Operationen. Da bei 25 Operationen kein Hb-Wert dokumentiert worden war, erfolgte ein Ausschluss dieser Eingriffe.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

Bei 80,52 % der verbliebenen Operationen wäre eine genaue Übereinstimmung von Prognose und EK-Transfusion aufgetreten (Tabelle 179).

Tabelle 179: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusionen	Mittelwert Prognose
Hüft-TEP	80,52 %	0,34 EK	0,31 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

Von den 296 Vorhersagen des Prognosemodells, 0 EK in den OP zu liefern, wären 267 (90,20 %) zutreffend gewesen (Tabelle 180). Für die 29 Prognosen in Höhe von 0 EK, die nicht mit der Anzahl an benötigten EK übereinstimmten, hätten zur Deckung des Transfusionsbedarfs (Median) jeweils 2 EK aus dem Blutdepot angefordert werden müssen. Aufgrund des Algorithmus wären im Blutdepot keine EK auf Abruf vorbereitet worden. Von den 34 Prognosen, die 1 EK für den OP vorgesehen hätten, wären 25 ausreichend genau gewesen, den Transfusionsbedarf zu decken. 13 weitere Operationen wären aufgrund der prognostizierten EK-Menge in Höhe von 2 EK mit den benötigten EK versorgt worden. Somit wäre nur bei einem Eingriff die Lieferung von 2 EK in den OP als erste Tranche des gesamten Transfusionsbedarfs zu verstehen gewesen.

Tabelle 180: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	Anzahl Vorhersage		Abdeckung durch		Anzahl Vorhersage		Abdeckung durch	
	n	0 EK	0 EK	1 EK	1 EK	2 EK	2 EK	
Hüft-TEP	344	296	267/296	34	25/34	14	13/14	

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Wären die Regeln der neuen Bestellpraxis befolgt worden, hätten 88,66 % der Operationen mit den benötigten EK versorgt werden können (Tabelle 181). Da die 85 %-Menge bei 0 EK lag, wäre diese Abdeckung des Transfusionsbedarfs nur mit der in den OP geschickten EK-Menge, die gemäß dem Prognosemodell 0 bis 2 EK betragen könnte, erfolgt (Tabelle 181).

Der Transfusionskatalog sah vor, keine EK für den Eingriff Hüft-TEP vorzubereiten. 84,59 % der Operationen benötigten keine EK.

Tabelle 181: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %-Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus gesamt	OP-Menge	Blutdepot- menge		
Hüft-TEP	88,66 %	88,66 %	0,00 %	0 EK	0 EK/0 EK

Abweichungsanalyse

Der Bestellalgorithmus hätte bei 28 der 344 Operationen zu überhöhten EK-Bereitstellungen geführt (Tabelle 182). Zwischen vorbereiteter und transfundierter EK-Menge hätte sich im Durchschnitt eine Abweichung in Höhe von 1 EK ergeben. Da der Transfusionskatalog für diese Eingriffsart keine Vorbereitung von EK vorsah, traten keine übermäßigen EK-Bereitstellungen auf.

Tabelle 182: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK- Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
Hüft-TEP	8,14 %	1,21 EK	0,53

3.3.21 Hüft-Totalendoprothese-Wechsel (Hüft-TEP-Wechsel)

3.3.21.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

In den Jahren 2012 bis 2015 haben sich 299 Patienten der Eingriffsart „Hüft-TEP-Wechsel“ unterzogen (Tabelle 183). Davon waren 192 Operationen nicht mit einer EK-Transfusion verbunden. Mit 52,17 % weiblichen Patienten und 47,83 % männlichen Patienten war das Geschlechterverhältnis annähernd ausgeglichen. Diese Aufteilung der Patienten nach ihrem Geschlecht zeigte sich sowohl bei den Transfusionspatienten als auch bei den nicht-transfunden Patienten. Die Patienten, die eine EK-Transfusion erhalten hatten, waren mit einem Mittelwert von 73,54 Jahren 5 Jahre älter als die Vergleichsgruppe der nicht-transfunden Patienten.

Tabelle 183: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n		Geschlecht		Alter (Jahre)		
		n	n	m %	w %	MW	SD	
	Gesamt	299	143	47,83	156	52,17	70,71	12,60
Hüft-TEP-Wechsel	EK≥1	107	52	48,60	55	51,40	73,54	9,17
	EK=0	192	91	47,40	101	52,60	69,14	13,93

Die Patienten mit EK-Transfusion wiesen einen Hb-Wert von 10,55 g/dl auf. Damit lagen sie 1,81 g/dl unter dem Wert der nicht-transfunden Patienten (Tabelle 184). Die transfunden

und nicht-transfunden Patienten unterschieden sich hinsichtlich der Körperoberfläche nur geringfügig um 0,01 m².

Tabelle 184: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF (m ²)		Hb-Wert (g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
	Gesamt	299	1,89	0,25	11,69	2,17
Hüft-TEP-Wechsel	EK≥1	107	1,89	0,23	10,55	1,96
	EK=0	192	1,88	0,26	12,36	2,01

Zwei Drittel der Patienten wurden gemäß ihrer schweren Allgemeinerkrankung der ASA-Klasse 3 zugeteilt (Tabelle 185). Bei den Transfusionspatienten waren es 79,44 %. Die nicht-transfunden Patienten waren zu 33,33 % nur leicht erkrankt (ASA 2) und zu 58,85 % schwer erkrankt (ASA 3). Der Eingriff Hüft-TEP-Wechsel wurde insgesamt in 83,95 % der Fälle als geplante Operation durchgeführt.

Tabelle 185: ASA-Klassifikation und Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation										Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3		4		5		1		2		3	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
	Gesamt	299	5	1,67	80	26,76	198	66,22	16	5,35	0	0,00	251	83,95	40	13,38	8	2,68
Hüft-TEP-Wechsel	EK≥1	107	0	0,00	16	14,95	85	79,44	6	5,61	0	0,00	92	85,98	14	13,08	1	0,93
	EK=0	192	5	2,60	64	33,33	113	58,85	10	5,21	0	0,00	159	82,81	26	13,54	7	3,65

3.3.21.2 Poisson-Regression

Nur die beiden metrischen Faktoren „Alter“ und „Hb-Wert“ hatten im Untersuchungszeitraum für diese Eingriffsart einen statistisch signifikanten Einfluss auf den Transfusionsbedarf (Tabelle 186). Das positive Vorzeichen des Regressionskoeffizienten der Variable „Alter“ weist darauf hin, dass ein statistisch positiver Zusammenhang zwischen Alter und EK-Bedarf bestand (Tabelle 186). Mit jedem zusätzlichen Lebensjahr stieg der EK-Bedarf bei gleichzeitig unveränderten Hb-Wert um den Faktor 1,025. Demgegenüber sank der EK-Bedarf mit steigendem Hb-Wert. Bei gleichbleibendem Alter sank mit jedem zusätzlichen g/dl der EK-Bedarf um den Faktor 0,789.

Tabelle 186: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	0,746	0,6913	1,163	1	0,281	2,108	0,544	8,171
Alter	0,024	0,0078	9,801	1	0,002	1,025	1,009	1,040
Hb-Wert	-0,237	0,0381	38,748	1	0,000	0,789	0,732	0,850

Die Regressionskoeffizienten (B) aus Tabelle 186 bilden das Prognosemodell für diese Eingriffsart:

$$\lambda = \exp(0,746 + 0,024 \times \text{Alter} - 0,237 \times \text{Hb-Wert}).$$

3.3.21.3 Prognosentests

Per Zufallsstichprobe sind 100 Operationen, die im Zeitraum 2012 bis 2015 durchgeführt worden waren, ausgewählt worden, um das Prognosemodell und den „Bestellalgorithmus GRH“ auf ihre Vorhersagegenauigkeit zu testen. Von diesen 100 Eingriffen mussten 6 ausgeschlossen werden, da bei diesen keine Hb-Werte dokumentiert worden waren.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

Bei 36,17 % der Fälle hätte die Prognose der transfundierten EK-Menge entsprochen (Tabelle 187).

Tabelle 187: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusionen	Mittelwert Prognose
Hüft-TEP-Wechsel	36,17 %	0,84 EK	0,78 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

In 28 von 30 Eingriffen hätte die Vorhersage des Prognosemodells in Höhe von 0 EK für den OP mit der nicht erfolgten Transfusion übereingestimmt (Tabelle 188). Bei 39 von 58 Fällen wäre der Transfusionsbedarf durch die prognostizierten EK-Mengen von 1 EK, die direkt in den OP geliefert worden wären, gedeckt worden. Von den 58 Prognosen in Höhe von 1 EK hätten 19 den Transfusionsbedarf nicht gedeckt. Entsprechend dem verbleibenden Transfusionsbedarf (Median) wären zusätzlich jeweils 1 EK aus dem Blutdepot nachbestellt worden. Dieses EK wäre jeweils aufgrund des Algorithmus im Blutdepot auf Abruf vorbereitet gewesen. Demgegenüber wären 3 der 6 Prognosen, die 2 EK für den OP vorhersagten, ausreichend genau, um die benötigten EK bereitzustellen. Bei den übrigen 3 Vorhersagen hätte die Lieferung von 2 EK in den OP der ersten Tranche des Gesamttransfusionsbedarfs entsprochen.

Tabelle 188: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	n	Anzahl Vorhersage	Abdeckung durch	Anzahl Vorhersage	Abdeckung durch	Anzahl Vorhersage	Abdeckung durch
		0 EK	0 EK	1 EK	1 EK	2 EK	2 EK
Hüft-TEP-Wechsel	94	30	28/30	58	39/58	6	3/6

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Bei Anwendung der neuen Bestellpraxis hätten im Untersuchungszeitraum 90,43 % der Operationen ausreichend mit EK versorgt werden können (Tabelle 189). Dies erreichte man zum einen durch die vorhergesagte Menge des Prognosemodells, die bis zur Höhe von 2 EK in den OP geliefert würde. Mit dieser „OP-Menge“ wäre der Transfusionsbedarf von 70 Operationen (74,47 %) gedeckt worden (Tabelle 189). Zum anderen hätten durch die Einbeziehung der EK-Menge, die auf Abruf in der Blutbank vorbereitet worden wäre, weitere 15 Operationen (15,96 %) mit den benötigten EK beliefert werden können. Da die 85 %-Menge bei 2 EK lag, wären für jede Operation in den Jahren 2012 bis 2015 bei Beachtung dieser Bestellpraxis maximal 2 EK vorbereitet worden. In Übereinstimmung damit sah der Transfusionskatalog vor, 2 EK in der Blutbank auf Abruf vorzubereiten.

Tabelle 189: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %-Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus gesamt	OP- Menge	Blutdepot- menge		
Hüft-TEP- Wechsel	90,43 %	74,47 %	15,96 %	2 EK	0 EK/2 EK

Abweichungsanalyse

Bei 70 von 94 Hüft-TEP-Wechseln wären infolge des Bestellalgorithmus mehr EK vorbereitet worden als benötigt wurden (Tabelle 190). Diese Überversorgung hätte pro Fall bei 2 EK gelegen. Hinsichtlich der insgesamt vorzubereitenden EK-Menge stimmten „Bestellalgorithmus GRH“ und Transfusionskatalog überein. Es traten also dieselben Abweichungen auf.

Tabelle 190: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK- Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
Hüft-TEP-Wechsel	74,47 %	1,90 EK	2,38

3.3.22 Knie-Totalendoprothese-Wechsel (Knie-TEP-Wechsel)

3.3.22.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

Die Eingriffsart Knie-TEP-Wechsel umfasste im Untersuchungszeitraum 237 Operationen (Tabelle 191). Die insgesamt 36 Operationen mit EK-Transfusionen verteilten sich annähernd gleich auf weibliche Patienten (n=17) und auf männliche Patienten (n=19). Im Mittel waren transfundierte Patienten mit 70,94 Jahren 6 Jahre älter als Patienten, die keine EK-Transfusion erhalten hatten.

Tabelle 191: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter	
			m		w		(Jahre)	
			n	%	n	%	MW	SD
	Gesamt	237	117	49,37	120	50,63	66,25	16,58
Knie-TEP-Wechsel	EK \geq 1	36	19	52,78	17	47,22	70,94	15,33
	EK=0	201	98	48,76	103	51,24	65,41	16,69

Transfundierte Patienten wiesen im Durchschnitt einen Hb-Wert in Höhe von 10,28 g/dl auf (Tabelle 192). Dieser Wert lag um 2,25 g/dl unter dem Vergleichswert der nicht-transfunden Patienten.

Tabelle 192: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF		Hb-Wert	
			(m ²)		(g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
	Gesamt	237	1,93	0,23	12,15	2,23
Knie-TEP-Wechsel	EK \geq 1	36	1,89	0,27	10,28	1,75
	EK=0	201	1,93	0,22	12,53	2,13

Der Großteil der Patienten mit EK-Transfusion war schwer erkrankt (ASA 3) oder sogar lebensbedrohlich erkrankt (ASA 4, Tabelle 193). So wies der Gesundheitszustand ASA 3 einen Anteil von 61,11 % und ASA 4 einen Anteil von 22,22 % auf. 83,97 % aller Operationen dieser Eingriffsart und drei Viertel der Operationen, die mit einer EK-Transfusion verbunden waren, wurden definitionsgemäß als geplanter Eingriff dokumentiert (Tabelle 194).

Tabelle 193: ASA-Klassifikation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation									
			1		2		3		4		5	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
	Gesamt	237	6	2,53	80	33,76	139	58,65	12	5,06	0	0,00
Knie-TEP-Wechsel	EK \geq 1	36	0	0,00	6	16,67	22	61,11	8	22,22	0	0,00
	EK=0	201	6	2,99	74	36,82	117	58,21	4	1,99	0	0,00

Tabelle 194: Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3	
			n	%	n	%	n	%
	Gesamt	237	199	83,97	35	14,77	3	1,27
Knie-TEP-Wechsel	EK \geq 1	36	27	75,00	8	22,22	1	2,78
	EK=0	201	172	85,57	27	13,43	2	1,00

3.3.22.2 Poisson-Regression

Von den ursprünglich 6 berücksichtigten Einflussfaktoren konnte im Untersuchungszeitraum nur für die Variablen Dringlichkeit der Operation (p-Wert: 0,024) und Hb-Wert (p-Wert < 0,001) ein statistisch signifikanter Einfluss auf den EK-Verbrauch nachgewiesen werden.

Das negative Vorzeichen des Regressionskoeffizienten (B) der Variable Hb-Wert bedeutete, dass ein steigender Hb-Wert mit einem sinkenden EK-Verbrauch einherging. Demnach verringerte eine um 1 g/dl angestiegene Hb-Konzentration, sofern die andere Variable unverändert blieb, den EK-Verbrauch um den Faktor 0,669 (Tabelle 195).

Der paarweise Vergleich für die Variable Dringlichkeit der Operation zeigt, dass sich die Notfalloperationen hinsichtlich des EK-Verbrauchs nicht statistisch signifikant von den anderen Operationsdringlichkeiten unterschieden. Diese Ergebnisse sind jedoch nur eingeschränkt belastbar, da nur 3 Operationen als Notfall durchgeführt wurden. Der paarweise Vergleich zwischen geplanten und gemäß OP-Plan ungeplanten Eingriffen ergab einen Signifikanzwert von 0,05, also an der Grenze zur Signifikanz.

Tabelle 195: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	4,446	0,9566	21,602	1	0,000	85,286	13,081	556,063
Dringl.Code=1	-1,501	0,5859	6,560	1	0,010	0,223	0,071	0,703
Dringl.Code=2	-1,510	0,5945	6,453	1	0,011	0,221	0,069	0,708
Dringl.Code=3	0					1		
Hb-Wert	-0,401	0,0944	18,070	1	0,000	0,669	0,556	0,805

Das Prognosemodell für diesen Eingriff setzte sich aus den Regressionskoeffizienten (B) der Tabelle 195 zusammen:

$$\lambda = \exp \left(4,446 + \begin{cases} -1,501 \text{ (Dringlichkeit 1)} \\ -1,510 \text{ (Dringlichkeit 2)} \\ 0 \text{ (Dringlichkeit 3)} \end{cases} - 0,401 \times \text{Hb-Wert} \right).$$

3.3.22.3 Prognosentests

Der Datensatz für die Überprüfung des Prognosemodells und des „Bestellalgorithmus GRH“ umfasste ursprünglich 79 Operationen. Von diesen mussten 10 Fälle von der weiteren Untersuchung ausgeschlossen werden, da zu ihnen im Datensatz kein Hb-Wert dokumentiert war.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

In 78,26 % der verbleibenden 69 Fälle hätte die Prognose des Modells mit der Anzahl der transfundierten EK genau übereingestimmt (Tabelle 196).

Tabelle 196: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusionen	Mittelwert Prognose
Knie-TEP-Wechsel	78,26 %	0,54 EK	0,21 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

Bei 63 von 69 Eingriffen hätte das Prognosemodell 0 EK für den OP vorausgesagt (Tabelle 197). In 53 Fällen (84,13 %) hätten diese Angaben dem tatsächlichen nicht vorhandenen Transfusionsbedarf entsprochen. Für die 10 Operationen, bei denen die Prognosemenge in Höhe von 0 EK nicht ausreichend wäre, hätten jeweils 2 EK zur Deckung des verbleibenden EK-Bedarfs (Median) nachbestellt werden müssen. Davon wäre bereits 1 EK aufgrund des Algorithmus im Blutdepot auf Abruf vorbereitet gewesen. Bei 4 der 6 Prognosen in Höhe von 1 EK wären die benötigten EK bereitgestellt worden.

Tabelle 197: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	n	Anzahl	Abdeckung	Anzahl	Abdeckung	Anzahl	Abdeckung
		Vorhersage 0 EK	durch 0 EK	Vorhersage 1 EK	durch 1 EK	Vorhersage 2 EK	durch 2 EK
Knie-TEP-Wechsel	69	63	53/63	6	4/6	0	0/69

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Bei Anwendung der neuen Bestellpraxis wären 86,96 % der Eingriffe ausreichend mit EK versorgt worden (Tabelle 198). Gemäß dem Prognosemodell wären 0 EK bis 2 EK in den OP geliefert worden. Mit dieser sog. „OP-Menge“ hätte man eine Abdeckung des Transfusionsbedarfs von 57 Operationen erreicht. Da die 85 %-Menge bei 1 EK lag, wäre nur bei Prognoseergebnissen von 0 EK eine weitere Vorbereitung von 1 EK im Blutdepot für eine mögliche spätere Nutzung erfolgt. Durch Zurückgreifen auf diese „Blutdepotmenge“ hätte man bei 3 weiteren Eingriffen die benötigten EK bereitstellen können.

Der Transfusionskatalog sah für die Knie-TEP-Eingriffe vor, dass stets 2 EK auf Abruf im Blutdepot vorbereitet werden sollten.

Tabelle 198: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %- Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus gesamt	OP- Menge	Blutdepot- menge		
Knie-TEP- Wechsel	86,96 %	82,61 %	4,35 %	1 EK	0 EK/2 EK

Abweichungsanalyse

Die Anwendung des Bestellalgorithmus hätte bei 56 von 69 Operationen überhöhte EK-Bereitstellungen zur Folge gehabt (Tabelle 199). Die durchschnittliche Höhe dieser Abweichung hätte 1 EK betragen. Die Angaben des Transfusionskataloges lagen in 60 Fällen über dem EK-Bedarf. In Bezug auf diese Operationen wurden pro Fall im Durchschnitt 2 EK zu viel bereitgestellt.

Tabelle 199: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK- Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
Knie-TEP-Wechsel	81,16 %	1,00 EK	1,86

3.3.23 Hüft-, Femur-, Unterschenkel-, Ellenbogen-, Humerus- und Beckenfrakturen

3.3.23.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

Innerhalb der Jahre 2012 bis 2015 wurden 5.398 Hüft-, Femur-, Unterschenkel-, Ellenbogen-, Humerus- und Beckenfrakturen operiert, die sich hälftig auf männliche und weibliche Patienten aufteilten (Tabelle 200). Von den nicht-transfunden Patienten waren 50,67 % männlich. Nur 298 Operationen waren mit einer EK-Transfusion verbunden. Dabei stellten Frauen mit einem Anteil von 61,74 % den Großteil der transfunden Patienten.

Bezogen auf den Mittelwert zeigten sich beim Alter der verschiedenen Patientengruppen deutliche Unterschiede. So waren transfundierte Patienten mit 73,10 Jahren im Mittel 20 Jahre älter als die Patienten, die keine EK-Transfusion erhielten.

Tabelle 200: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MW	SD
			n	%	n	%		
Gesamt		5.398	2.698	49,98	2.700	50,02	54,00	23,64
Frakturen	EK≥1	298	114	38,26	184	61,74	73,10	18,62
	EK=0	5.100	2.584	50,67	2.516	49,33	52,89	23,43

Hinsichtlich der Körperoberfläche unterschieden sich transfundierte und nicht-transfundierte Patienten nur um 0,05 m², wobei nicht-transfundierte Patienten mit 1,83 m² eine geringfügig größere Körperoberfläche aufwiesen (Tabelle 201).

Patienten mit EK-Transfusion wiesen einen Hb-Wert in Höhe von 9,92 g/dl auf. Damit lag dieser Hb-Wert mit 3,07 g/dl deutlich unter dem Vergleichswert der nicht-transfunden Patienten.

Tabelle 201: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF (m ²)		Hb-Wert (g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
Gesamt		5.398	1,83	0,29	12,77	2,06
Frakturen	EK≥1	298	1,78	0,25	9,92	1,70
	EK=0	5.100	1,83	0,29	12,99	1,92

Im Vergleich zu den Patienten ohne EK-Transfusion zeigte ein Großteil der transfunden Patienten einen schlechteren Gesundheitszustand (Tabelle 202). So litten 68,79 % der Transfusionspatienten an einer schweren Allgemeinerkrankung (ASA 3), aber nur 26,59 % der Nicht-Transfunden. Die Operationen der Patienten mit EK-Transfusion waren im Vergleich zu den Patienten, denen keine Transfusion verabreicht wurde, zu einem größeren Anteil als ungeplant gemäß OP-Plan dokumentiert (Tabelle 203).

Tabelle 202: ASA-Klassifikation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation									
			1		2		3		4		5	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Gesamt		5.398	1.385	25,66	2.290	42,42	1.561	28,92	158	2,93	4	0,07
Frakturen	EK≥1	298	3	1,01	34	11,41	205	68,79	53	17,79	3	1,01
	EK=0	5.100	1.382	27,10	2.256	44,24	1.356	26,59	105	2,06	1	0,01

Tabelle 203: Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3	
			n	%	n	%	n	%
Gesamt		5.398	4.393	81,39	937	17,36	68	1,26
Frakturen	EK≥1	298	184	61,74	108	36,24	6	2,01
	EK=0	5.100	4.209	82,53	829	16,25	62	1,22

3.3.23.2 Poisson-Regression

Die kategorialen Variablen „Dringlichkeit der Operation“ und „ASA-Code“ sowie die metrischen Variablen „Alter“ und „Hb-Wert“ zeigten im Untersuchungszeitraum einen statistisch hoch

signifikanten Einfluss auf die Anzahl der transfundierten EK. Dabei lag der p-Wert jeweils unter 0,001.

Sofern eine Operation geplant war, also als Dringlichkeit 1 kodiert wurde, sank der EK-Bedarf im Vergleich zu Dringlichkeit 3 um den Faktor 0,922 (Tabelle 204). Im Gegensatz dazu stieg der EK-Bedarf um den Faktor 1,517, wenn der Eingriff nach der Nomenklatur des Klinikums Großhadern ungeplant war. Der paarweise Vergleich zeigte für die Einflussgröße „OP-Dringlichkeit“, dass nur zwischen geplanten und ungeplanten Operationen ein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich des EK-Bedarfs bestand.

Bei konstant gehaltenen Faktoren wiesen sonst gesunde Patienten (ASA 1) im Vergleich zur Referenzkategorie der moribunden Patienten (ASA 5) hinsichtlich der benötigten EK den größten Unterschied auf (Tabelle 204). So machte der EK-Bedarf der Patienten mit ASA 1 nur 0,30 % des EK-Bedarfs von Patienten mit ASA 5 aus. Selbst lebensbedrohlich erkrankte Patienten (ASA 4) hatten bei sonst unveränderten Variablen einen um 95,10 % geringeren EK-Bedarf als moribunde Patienten. Anhand der paarweisen Vergleiche konnten für alle ASA-Kombinationen statistisch signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) in Bezug auf die Anzahl der benötigten EK festgestellt werden.

Der positive Regressionskoeffizient der Variable Alter deutete auf einen positiven Zusammenhang zwischen Alter und EK-Bedarf hin. So stieg mit jedem zusätzlichen Lebensjahr der Verbrauch um den Faktor 1,016 an. Im Gegensatz dazu sank mit höherem Hb-Wert die Anzahl der benötigten EK. Der EK-Bedarf verringerte sich um den Faktor 0,592 mit jedem Zuwachs des Hb-Wertes in Höhe von 1 g/dl.

Tabelle 204: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	6,485	0,5481	139,974	1	0,000	655,339	223,811	1918,888
Dringl.Code=1	-0,081	0,4575	0,032	1	0,859	0,922	0,376	2,260
Dringl.Code=2	0,417	0,4545	0,841	1	0,359	1,517	0,622	3,697
Dringl.Code=3	0					1		
ASACode=1	-5,708	0,8403	46,141	1	0,000	0,003	0,001	0,017
ASACode=2	-4,645	0,5014	85,847	1	0,000	0,010	0,004	0,026
ASACode=3	-3,451	0,4813	51,418	1	0,000	0,032	0,012	0,081
ASACode=4	-3,023	0,4885	38,289	1	0,000	0,049	0,019	0,127
ASACode=5	0					1		
Alter	0,016	0,0033	22,654	1	0,000	1,016	1,009	1,023
Hb-Wert	-0,525	0,0280	351,790	1	0,000	0,592	0,560	0,625

Die Regressionskoeffizienten (B) aus Tabelle 204 ergaben das Prognosemodell:

$$\lambda = \exp \left(6,485 + \begin{matrix} -0,081 \text{ (Dringlichkeit 1)} \\ 0,417 \text{ (Dringlichkeit 2)} \\ 0 \text{ (Dringlichkeit 3)} \end{matrix} + \begin{matrix} -5,708 \text{ (ASA 1)} \\ -4,645 \text{ (ASA 2)} \\ -3,451 \text{ (ASA 3)} \\ -3,023 \text{ (ASA 4)} \\ 0 \text{ (ASA 5)} \end{matrix} + 0,016 \times \text{Alter} - 0,525 \times \text{Hb-Wert} \right).$$

3.3.23.3 Prognosentests

1.799 Operationen, ein Drittel des Gesamtdatensatzes dieser Eingriffsart, wurden als Testfälle herangezogen. Da zu 442 Eingriffen kein Hb-Wert dokumentiert war, wurden diese von den Prognosentests ausgeschlossen. Von den 442 Operationen wurden 285 am Standort Innenstadt, 155 am Standort Großhadern und 2 an der Klinik Augustinum durchgeführt.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

In 93,00 % der durchgeführten Operationen hätte die Transfusionsmenge mit der vom Prognosemodell vorgeschlagenen EK-Menge genau übereingestimmt (Tabelle 205).

Tabelle 205: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusionen	Mittelwert Prognose
Frakturen	93,00 %	0,15 EK	0,13 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

Bei 1.277 von 1.357 Operationen wären keine EK in den OP geliefert worden (Tabelle 206). Dies hätte in 1.221 Fällen (95,61 %) mit den nicht erfolgten Transfusionen übereingestimmt. 56 Prognosen in Höhe von 0 EK hätten nicht mit der Anzahl der benötigten EK übereingestimmt. Zur Deckung dieses EK-Bedarfs (Median) hätten jeweils 2 EK ausgereicht. Aufgrund des Algorithmus wären im Blutdepot keine EK auf Abruf vorbereitet gewesen. Von den 73 Prognosen in Höhe von 1 EK wären 55 (75,34 %) ausreichend genau gewesen, um eine Versorgung der Operationen mit den benötigten EK zu erreichen. 5 der 7 Vorhersagen in Höhe von 2 EK wären geeignet, um den Transfusionsbedarf zu decken.

Tabelle 206: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	n	Anzahl Vorhersage 0 EK		Anzahl Vorhersage 1 EK		Anzahl Vorhersage 2 EK	
		Anzahl	Abdeckung durch 0 EK	Anzahl	Abdeckung durch 1 EK	Anzahl	Abdeckung durch 2 EK
Frakturen	1.357	1.277	1.221/1.277	73	55/73	7	5/7

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Bei Anwendung der neuen Bestellpraxis hätten 94,40 % der Operationen ausreichend mit EK versorgt werden können (Tabelle 204). Da die 85 %-Menge bei 0 EK lag, wären keine EK im

Blutdepot zusätzlich vorbereitet worden. Somit wäre die Deckung des Transfusionsbedarfs allein durch die in den OP geschickte EK-Menge, die maximal 2 EK betragen hätte, erfolgt (Tabelle 207). Folglich wären bei strenger Befolgung der neuen Bestellpraxis für jede Operation 0 EK oder 1 EK oder 2 EK vorbereitet worden. Der Transfusionskatalog sah vor, je nach Art der Fraktur 0 EK oder 2 EK präoperativ testen zu lassen.

Tabelle 207: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %-Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus gesamt	OP-Menge	Blutdepot- menge		
Frakturen	94,40 %	94,40 %	0,00 %	0 EK	0 EK/0 EK, 0 EK/2 EK, 2 EK/0 EK

Abweichungsanalyse

42 der 1.357 „Testoperationen“ hätten bei Anwendung des Bestellalgorithmus überhöhte EK-Bereitstellungen aufgewiesen (Tabelle 208). Dabei hätte die Abweichung der vorbereiteten EK-Menge von der transfundierten EK-Menge im Mittel bei 1 EK gelegen. Dagegen hat der Transfusionskatalog in 50,04 % der analysierten Operationen mehr EK für die präoperative Testung vorgesehen als benötigt war. Im Durchschnitt wurden pro Fall 2 EK zu viel vorbereitet.

Tabelle 208: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK- Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
Frakturen	3,10 %	1,07 EK	0,43

3.3.24 Radikale Zystektomie (Ileumconduit/Neoblase)

3.3.24.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

Im Untersuchungszeitraum hatten sich 333 Patienten einer radikalen Zystektomie unterzogen (Tabelle 209). Dabei wurde nur bei 93 Eingriffen eine EK-Transfusion benötigt. Sowohl bei der Gesamtzahl der Patienten als auch bei den Transfusionspatienten stellten männliche Patienten die Mehrheit. Mit einem Mittelwert von 71,24 Jahren waren Patienten, die eine EK-Transfusion erhalten hatten, 6 Jahre älter als die Vergleichsgruppe der nicht-transfundierten Patienten.

Tabelle 209: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MW	SD
			n	%	n	%		
Radikale Zystektomie (Ileumconduit/ Neoblase)	Gesamt	333	239	71,77	94	28,23	66,93	13,66
	EK≥1	93	63	67,74	30	32,26	71,24	10,48
	EK=0	240	176	73,33	64	26,67	65,27	14,39

Die Hb-Konzentration bei Patienten ohne EK-Transfusion lag mit 12,75 g/dl nur 0,92 g/dl über der Hb-Konzentration der transfundierten Patienten (Tabelle 210).

Tabelle 210: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF (m ²)		Hb-Wert (g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
Radikale Zystektomie (Ileumconduit/Neoblase)	Gesamt	333	1,91	0,25	12,57	1,98
	EK≥1	93	1,89	0,22	11,83	2,48
	EK=0	240	1,92	0,27	12,75	1,85

62,46 % aller Patienten und knapp 70 % der transfundierten Patienten wiesen eine schwere Allgemeinerkrankung (ASA 3) auf (Tabelle 211). An einer leichten Allgemeinerkrankung (ASA 2) litten 32,73 % aller Patienten und 25,81 % der Transfusionspatienten. Bis auf eine Operation waren alle Eingriffe definitionsgemäß geplant (Dringlichkeit 1, Tabelle 212).

Tabelle 211: ASA-Klassifikation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation									
			1		2		3		4		5	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Radikale Zystektomie (Ileumconduit/ Neoblase)	Gesamt	333	12	3,60	109	32,73	208	62,46	4	1,20	0	0,00
	EK≥1	93	1	1,08	24	25,81	65	69,89	3	3,23	0	0,00
	EK=0	240	11	4,58	85	35,42	143	59,58	1	0,42	0	0,00

Tabelle 212: Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3	
			n	%	n	%	n	%
Radikale Zystektomie (Ileumconduit/ Neoblase)	Gesamt	333	332	99,70	1	0,30	0	0,00
	EK≥1	93	92	98,92	1	1,08	0	0,00
	EK=0	240	240	100,00	0	0,00	0	0,00

3.3.24.2 Poisson-Regression

Von den ursprünglich 6 berücksichtigten Variablen konnte nur für die Einflussfaktoren „Alter“ und „Hb-Wert“ ein statistisch signifikanter Einfluss auf den EK-Bedarf festgestellt werden (Tabelle 213).

Das negative Vorzeichen des Regressionskoeffizienten der Variable Hb-Wert zeigte die inverse Beziehung zwischen dieser Variable und dem EK-Bedarf (Tabelle 213). Ein um 1 g/dl gestiegener Hb-Wert verringerte den EK-Bedarf um den Faktor 0,727, bei sonst unveränderten Faktoren. Hingegen stieg der EK-Bedarf bei jedem zusätzlichen Lebensjahr um den Faktor 1,020 an, falls die übrigen beiden Faktoren der Regressionsgleichung gleichgehalten wurden.

Tabelle 213: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	2,085	0,8757	5,669	1	0,017	8,045	1,446	44,765
Hb-Wert	-0,320	0,0454	49,434	1	0,000	0,727	0,665	0,794
Alter	0,020	0,0086	5,168	1	0,023	1,020	1,003	1,037

Das Prognosemodell zu diesem Eingriff lautete:

$$\lambda = \exp(2,085 - 0,320 \times \text{Hb-Wert} + 0,020 \times \text{Alter}).$$

3.3.24.3 Prognosentests

Insgesamt standen ursprünglich 111 Operationen für die Testung des Prognosemodells und des „Bestellalgorithmus GRH“ zur Verfügung. Aufgrund nicht erfasster Hb-Werte mussten 8 Eingriffe von den Prognosentests ausgeschlossen werden.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

Nur in 53,40 % der Fälle hätte die Vorhersage des Prognosemodells der EK-Transfusion entsprochen (Tabelle 214).

Tabelle 214: Tests des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusionen	Mittelwert Prognose
Radikale Zystektomie (Ileumconduit/Neoblase)	53,40 %	0,77 EK	0,76 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

Für 46 von 51 Operationen hätte das Prognosemodell 0 EK für den OP vorhergesagt und dabei mit dem tatsächlich nicht vorhandenen Transfusionsbedarf übereingestimmt (Tabelle 215). Vorhersagen in Höhe von 1 EK hätten bei 31 weiteren Operationen den EK-Bedarf gedeckt. Bei 9 Operationen hätten die Prognosen in Höhe von 1 EK nicht ausgereicht, um den jeweiligen Transfusionsbedarf zu decken. Mit Nachbestellungen von jeweils 1 EK wäre der verbleibende Transfusionsbedarf (Median) gedeckt worden. Die aufgrund des Algorithmus im Blutdepot vorbereitete EK-Menge wäre dafür ausreichend gewesen. 9 der 12 Vorhersagen in Höhe von 2 EK hätten den Transfusionsbedarf der Operationen gedeckt. Bei den übrigen 3 Prognosen hätten die 2 EK die erste Tranche des Transfusionsbedarfs dargestellt.

Tabelle 215: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	n	Anzahl	Abdeckung	Anzahl	Abdeckung	Anzahl	Abdeckung
		Vorhersage 0 EK	durch 0 EK	Vorhersage 1 EK	durch 1 EK	Vorhersage 2 EK	durch 2 EK
Radikale Zystektomie (Ileumconduit/ Neoblase)	103	51	46/51	40	31/40	12	9/12

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Bei Anwendung der neuen Bestellpraxis wären 94,17 % der Operationen mit den benötigten EK versorgt worden (Tabelle 216). Im Gegensatz zum Transfusionskatalog, der in der Regel eine Bereitstellung von 4 EK im Blutdepot vorsah, wären im Sinne der neuen Bestellpraxis immer 2 EK vorbereitet worden. Die genaue Aufteilung dieser EK-Menge in Lieferung in den OP und in Vorhalten im Blutdepot für eine eventuell spätere Nutzung hätte sich nach dem jeweiligen Ergebnis des Prognosemodells gerichtet. Mit der in den OP geschickten EK-Menge wäre der Transfusionsbedarf von 86 Operationen abgedeckt worden (Tabelle 216). Bei Zurückgreifen auf die „Blutdepotmenge“ hätten zusätzlich 11 Eingriffe ausreichend mit EK versorgt werden können.

Tabelle 216: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %- Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus gesamt	OP- Menge	Blutdepot- menge		
Radikale Zystektomie (Ileumconduit/Neoblase)	94,17 %	83,50 %	10,67 %	2 EK	0 EK/4 EK

Abweichungsanalyse

Der Bestellalgorithmus hätte bei 84 der 103 Operationen zu überhöhten EK-Bereitstellungen geführt (Tabelle 217). Im Durchschnitt wären dabei 2 EK zu viel bereitgestellt worden. Die EK-Bereitstellung gemäß Transfusionskatalog lag in 95,15 % der Fälle über dem EK-Bedarf. Die Abweichung war im Durchschnitt sogar 4 EK pro Fall.

Tabelle 217: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK- Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
Radikale Zystektomie (Ileumconduit/Neoblase)	81,55 %	1,86 EK	2,61

3.3.25 Tumornephrektomie/Nephroureterektomie/Tumornephrektomie mit Cava- zapfen (+HLM)

3.3.25.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

Im Untersuchungszeitraum haben sich insgesamt 1.023 Patienten einer Nierenentfernung oder der Operation eines Nierentumors unterzogen (Tabelle 218). Von den 110 transfundierten Patienten war die Mehrheit, 70 Patienten, männlich. Die Patienten mit EK-Transfusion waren mit 63,57 Jahren im Mittel 4 Jahre älter als die Vergleichsgruppe der nicht-transfundierten Patienten.

Tabelle 218: Geschlecht und Alter

Operation	EK	n	Geschlecht				Alter (Jahre)	
			m		w		MW	SD
			n	%	n	%		
	Gesamt	1.023	634	61,97	389	38,03	60,73	14,48
Nephrektomien	EK≥1	110	70	63,64	40	36,36	63,57	18,26
	EK=0	913	564	61,77	349	38,23	60,39	13,93

Patienten, die eine EK-Transfusion erhalten hatten, hatten sowohl eine kleinere Körperoberfläche als auch einen mit 11,23 g/dl niedrigeren Hb-Wert als die Patienten ohne EK-Transfusion (Tabelle 219).

Tabelle 219: Körperoberfläche und Hb-Wert

Operation	EK	n	KOF (m ²)		Hb-Wert (g/dl)	
			MW	SD	MW	SD
	Gesamt	1.023	1,92	0,29	13,61	1,99
Nephrektomien	EK≥1	110	1,82	0,37	11,23	2,40
	EK=0	913	1,94	0,27	13,89	1,74

69,09 %, der Großteil der transfundierten Patienten, waren als ASA 3 eingestuft und galten als schwer erkrankt (Tabelle 220). 107 der 110 Patienten mit EK-Transfusion hatten sich einer definitionsgemäß geplanten Operation unterzogen (Tabelle 221).

Tabelle 220: ASA-Klassifikation

Operation	EK	n	ASA-Klassifikation									
			1		2		3		4		5	
			n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
	Gesamt	1.023	74	7,23	448	43,79	482	47,12	19	1,86	0	0,00
Nephrektomien	EK≥1	110	1	0,91	24	21,82	76	69,09	9	8,18	0	0,00
	EK=0	913	73	8,00	424	46,44	406	44,47	10	1,10	0	0,00

Tabelle 221: Dringlichkeit der Operation

Operation	EK	n	Dringlichkeit der Operation					
			1		2		3	
			n	%	n	%	n	%
Gesamt		1.023	1.007	98,44	14	1,37	2	0,20
Nephrektomien	EK \geq 1	110	107	97,27	2	1,82	1	0,91
	EK=0	913	900	98,58	12	1,31	1	0,11

3.3.25.2 Poisson-Regression

Für die Variablen ASA-Code (p-Wert < 0,001), Geschlecht (p-Wert: 0,032), Hb-Wert (p-Wert < 0,001) und Körperoberfläche (p-Wert: 0,027) konnte ein statistisch signifikanter Einfluss auf den EK- Bedarf nachgewiesen werden.

Da im Datensatz für die Poisson-Regression nur ein ASA 1 Patient mit EK-Transfusion dokumentiert war, wurde diese Gesundheitskategorie von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Im Vergleich zu lebensbedrohlich Erkrankten (ASA 4) benötigten sowohl ASA 2 als auch ASA 3 Patienten weniger EK. Die paarweisen Vergleiche für die ASA-Kategorien 2, 3 und 4 zeigten statistisch signifikante Unterschiede hinsichtlich des EK-Bedarfs.

Im Vergleich zu männlichen Patienten sank der EK-Bedarf bei weiblichen Patienten um den Faktor 0,684, sofern die übrigen Variablen nicht geändert wurden (Tabelle 222).

Sowohl bei einer kleiner werdenden Körperoberfläche als auch bei einem steigenden Hb-Wert sank der EK-Bedarf. So führte ein um 1 g/dl anwachsender Hb-Wert bei sonst gleich ausgeprägten Variablen zu einem um den Faktor 0,629 geringeren EK-Bedarf.

Tabelle 222: Poisson-Regression

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95 % Wald-KI für Exp(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Konstanter Term	4,488	0,6674	45,211	1	0,000	88,926	24,038	328,967
ASACode=2	-1,308	0,2915	20,120	1	0,000	0,270	0,153	0,479
ASACode=3	-0,929	0,2262	16,873	1	0,000	0,395	0,253	0,615
ASACode=4	0					1		
Geschlecht: weiblich	-0,380	0,1772	4,586	1	0,032	0,684	0,483	0,968
Geschlecht: männlich	0					1		
Hb-Wert	-0,463	0,0341	184,730	1	0,000	0,629	0,588	0,673
KOF	0,643	0,2906	4,891	1	0,027	1,902	1,076	3,361

Aus den Regressionskoeffizienten (B) der Tabelle 222 ließ sich folgendes Prognosemodell bilden:

$$\lambda = \exp \left(4,488 + \begin{pmatrix} -1,308 \text{ (ASA 2)} \\ -0,929 \text{ (ASA 3)} \\ 0 \text{ (ASA 4)} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -0,380 \text{ (weiblich)} \\ 0 \text{ (männlich)} \end{pmatrix} - 0,463 \times \text{Hb-Wert} + 0,643 \times \text{KOF} \right).$$

3.3.25.3 Prognosentests

Der Datensatz zum Testen des Prognosemodells und des „Bestellalgorithmus GRH“ umfasste ein Drittel des Gesamtdatensatzes dieses Eingriffs, 341 Operationen. Aufgrund fehlender Hb-Werte wurden 7 Fälle von den weiteren Tests ausgeschlossen.

Test Prognosemodell -keine Beschränkung-

In 81,14 % der verbleibenden 334 Fälle hätte eine genaue Übereinstimmung von Prognose und EK-Transfusion festgestellt werden können (Tabelle 223).

Tabelle 223: Test des Prognosemodells

Operation	Genauigkeit Prognosemodell	Mittelwert Transfusionen	Mittelwert Prognose
Nephrektomien	81,14 %	0,36 EK	0,34 EK

Test Prognosemodell -Mengen 0 EK bis 2 EK-

Bei 265 von 283 Operationen (93,64 %) hätte die Vorhersage des Prognosemodells, keine EK in den OP zu liefern, mit dem nicht vorhandenen Bedarf übereingestimmt (Tabelle 224). Zur Abdeckung des Transfusionsbedarfs (Median) der restlichen 18 Operationen mit Prognosen in Höhe von 0 EK hätten jeweils 3 EK aus dem Blutdepot angefordert werden müssen. Aufgrund des Algorithmus wären keine EK im Blutdepot auf Abruf vorbereitet gewesen. Bei 31 der 39 Vorhersagen in Höhe von 1 EK wäre der Transfusionsbedarf durch diese in den OP geschickte EK-Anzahl gedeckt worden. Das Prognosemodell hätte bei 12 Operationen 2 EK für den OP bestimmt. Davon wären 9 Vorhersagen geeignet, den Transfusionsbedarf abzudecken. Bei den verbleibenden 3 Operationen hätte die Lieferung von 2 EK in den OP nur die Versorgung des ersten Teils des Gesamtbedarfs bedeutet.

Tabelle 224: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“

Operation	Anzahl Vorhersage n	Anzahl 0 EK	Abdeckung durch 0 EK	Anzahl 1 EK	Abdeckung durch 1 EK	Anzahl 2 EK	Abdeckung durch 2 EK
Nephrektomien	334	283	265/283	39	31/39	12	9/12

Test „Bestellalgorithmus GRH“ und Vergleich mit Transfusionskatalog

Bei Anwendung der neuen Bestellpraxis wären 91,32 % der Operationen ausreichend mit EK versorgt worden (Tabelle 225). Da die 85 %-Menge bei 0 EK lag, wären, entsprechend dem Ergebnis des Prognosemodells, bis zu 2 EK in den OP geliefert worden und keine weiteren EK zusätzlich im Blutdepot vorbereitet worden. Somit wäre die Abdeckung des Transfusionsbedarfs von 305 Operationen (91,32 %) einzig mit der sog. „OP-Menge“ erfolgt (Tabelle 225).

Der Transfusionskatalog sah hingegen vor, dass bei Tumornephrektomien und Nephroureterektomien 2 EK auf Abruf in der Blutbank bereitliegen sollten. Es ist zu beachten, dass der Transfusionskatalog für Tumornephrektomien mit Cavazapfen 5 EK für den OP und 5 EK auf Abruf im Blutdepot vorschlug. Eine Unterscheidung dieser Eingriffe von den übrigen Tumornephrektomien war aufgrund derselben OPS-Codierung im Datensatz dieser Arbeit nicht möglich.

Tabelle 225: Genauigkeit des Bestellalgorithmus

Operation	Quoten der Bedarfsdeckung			85 %-Menge	Transfusionskatalog OP/Blutdepot
	Bestellalgorithmus gesamt	OP- Menge	Blutdepot- menge		
Nephrektomien	91,32 %	91,32 %	0,00 %	0 EK	0 EK/2 EK // 5 EK/5 EK

Abweichungsanalyse

Bei 34 von 334 Operationen hätte infolge des Bestellalgorithmus die bereitgestellte EK-Menge über der transfundierten EK-Menge gelegen (Tabelle 226). Dabei hätte die Abweichung zwischen diesen beiden EK-Mengen im Durchschnitt 1 EK betragen. Die Angaben des Transfusionskataloges lagen in 91,62 % der Fälle über dem EK-Bedarf. Pro Fall wurden durchschnittlich 2 EK zu viel vorbereitet.

Tabelle 226: Kennzahlen der Abweichungsanalyse

Operation	Anteil Operationen mit überhöhter EK-Bereitstellung	Durchschnittlich zu viele EK bereitgestellt	C:T ratio
Nephrektomien	10,18 %	1,12 EK	0,52

3.4 Ökonomische Parameter der Prozesse im Blutdepot

Um die jeweilige Dauer der Blutbereitstellung, Rückholung und Entsorgung von EK zu berechnen, wurden mehrere Messwerte berücksichtigt. Die Prozessdauer der Blutgruppenbestimmung und maschinellen Kreuzprobe ließ sich bei 4 medizinisch-technischen Laborassistenten dokumentieren (Tabelle 227a). Die Zeiterfassung der einzelnen Schritte der

Blutrückholung und Blutentsorgung, beispielsweise aufgrund der abgelaufenen Haltbarkeit, erfolgte bei 2 Mitarbeitern des medizinischen Transportdienstes. Für eine grundsätzliche Plausibilisierung der einzelnen Zeitmessungen standen früher erhobene Schätzwerte⁵ für die jeweilige Prozessdauer zur Verfügung. Dabei zeigten sich nur geringe Abweichungen. Tabelle 227b gibt für die verschiedenen dokumentierten Tätigkeiten eine Aufstellung der minutenbezogenen Bruttoarbeitskosten. Die durchschnittlichen Kosten der Blutbereitstellung lagen bei 0,50 € pro Minute. Die Bereitstellung eines EK, inklusive der personenbezogenen Kosten der Steuerstelle ergaben 5,11 € (Tabelle 228). Die Blutrückholung und Entsorgung erzeugten Kosten in Höhe von jeweils 0,41 € pro Minute. Verrechnet mit dem Zeitaufwand der Blutrückholung, ergaben sich Kosten in Höhe von 1,50 € pro EK. Basierend auf krankenhausinternen Daten wurde angenommen, dass 10 % der bereitgestellten EK vernichtet werden. Die Bereitstellung, Rückholung und Entsorgung eines EK erforderten 15 Minuten 33 Sekunden. Es ergaben sich personenbezogene Kosten der Blutbereitstellung, Rückholung und Entsorgung für 1 EK von 7,29 € (Tabelle 228).

Tabelle 227a: Prozesse Blutdepot und Nettoarbeitszeit

Mitarbeiter	Blutgruppenbestimmung	Maschinelle Kreuzprobe	Verwaltung Steuerstelle	Blutrückholung	Blutentsorgung	Nettoarbeitszeit (Jan.-Sept.) in Stunden	Nettoarbeitszeit pro Monat in Stunden
1	x	x	x			1.270,5	141,2
2	x	x	x			1.178,1	130,9
3	x	x	x			1.093,4	121,5
4	x	x	x			885,5	147,6
5				x	x	1.216,6	135,2
6				x	x	1.170,4	130,0
Durchschnitt						1.135,8	134,4

⁵ Erhoben von Herrn Dr. G. Wittmann, Oberarzt in der Abteilung für Transfusionsmedizin, Zelltherapeutika und Hämostaseologie.

Tabelle 227b: Kosten Prozesse Blutdepot

Mitarbeiter	Bruttoarbeitskosten	Bruttoarbeitskosten pro Stunde	Bruttoarbeitskosten pro Minute	Bruttoarbeitskosten Kreuzprobe, Blutgruppenbestimmung & Steuerstelle	Bruttoarbeitskosten Blutrückholung & Blutentsorgung
1	3.574,11 €	25,32 €	0,42 €	0,42 €	
2	4.823,16 €	36,85 €	0,61 €	0,61 €	
3	3.980,01 €	32,76 €	0,55 €	0,55 €	
4	3.781,05 €	25,62 €	0,43 €	0,43 €	
5	3.435,36 €	25,41 €	0,42 €		0,42 €
6	3.035,89 €	23,35 €	0,39 €		0,39 €
Durchschnitt	3.771,60 €	28,22 €	0,47 €	0,50 €	0,41 €

Tabelle 228: Bereitstellung eines EK - personenbezogene Prozesskosten pro Minute

Prozess	Prozessdauer in Minuten	Bruttokosten Mitarbeiter pro Minute	Kosten pro Prozess
Blutgruppenbestimmung	05:03	0,50 €	2,53 €
Kreuzprobe	02:40	0,50 €	1,33 €
Blutrückholung	03:40	0,41 €	1,50 €
Blutentsorgung (10 % der Fälle)	01:40	0,41 €	0,68 €
Verwaltung Steuerstelle	02:30	0,50 €	1,25 €
Summe			7,29 €

4. Diskussion

4.1 Qualität der neuen Bestellpraxis

4.1.1 Sicherstellung des EK-Bedarfs durch den „Bestellalgorithmus GRH“

Bei 90,06 % (MW) der hier erfassten Operationen hätten die einzelnen Vorhersagen der Prognosemodelle und die sie ergänzende 85 %-Menge, das 85 %-Perzentil, den jeweiligen EK-Bedarf abgedeckt. Die Höhe des Versorgungsgrades der einzelnen Eingriffsarten hätte sich von 84,32 % bei Aorto-Koronaren-Bypassoperationen bis hin zu 96,61 % bei Nieren- und Pankreastransplantationen erstreckt. Dabei wären auf Basis des neuen „Bestellalgorithmus GRH“ bei 13 Eingriffsarten für mindestens 90 % der Operationen die benötigten EK bereitgestellt worden.

Die große Bedeutung der „Blutdepotmenge“ zeigt sich darin, dass sie bei 15 Eingriffsarten benötigt wurde, um das selbst gesteckte Ziel zu erreichen, mindestens 85 % der Operationen mit den benötigten EK zu versorgen. Vor allem bei komplizierten Eingriffsarten, die durch eine hohe Variabilität des EK-Verbrauchs gekennzeichnet waren, wird eine zufriedenstellende EK-Versorgung der Operationen erst durch die Einbeziehung der „Blutdepotmenge“ möglich.

Da auf Basis des Bestellalgorithmus bei allen Eingriffsarten der EK-Bedarf von mindestens 84 % der Operationen gedeckt worden wäre, konnte zwar eine akzeptable, aber keine vollständige Versorgung des Transfusionsbedarfs aller Operationen sichergestellt werden. Mit verschiedenen Maßnahmen können solche Unterdeckungen ausgeglichen werden. Das wichtigste Instrument bei einem akuten Mehrbedarf an EK stellt dabei das EK-Notfalldepot im OP dar. Durch die Vorhaltung von 2 EK der Blutgruppe 0 Rh- ist gewährleistet, dass ein unerwarteter Mehrbedarf durch Konserven der „Universalspender-Blutgruppe“ ohne Zeitverzögerung versorgt werden kann. Im Fall, dass über die bereitgestellte EK-Menge, inklusive der „Reserve Notfalldepot“, hinaus ein weiterer Transfusionsbedarf bestehen sollte, werden im Blutdepot weitere EK ausgegeben. Diese EK werden durch den blutdepotinternen Transportdienst oder durch Rohrpost innerhalb von 3 Minuten vom Blutdepot in den OP geliefert.

Die Deckung des EK-Bedarfs wäre damit also zum einen mit Hilfe des „Bestellalgorithmus GRH“ bereits in hohem Maße erreicht worden, zum anderen durch die erwähnten Maßnahmen endgültig gesichert worden.

4.1.2 Sicherstellung des EK-Bedarfs durch die in den OP gelieferte EK-Menge

Der Anteil an präoperativ vorbereiteten EK, der in den OP geliefert wird, ist insofern von großer Bedeutung, da er zur ersten Bedarfsdeckung zur Verfügung steht. Diese EK-Menge wurde danach bewertet, ob sie für den tatsächlichen Transfusionsbedarf ausgereicht hätte.

Besonders bei Prognosen in Höhe von 0 EK sollte für einen effizienten Ablauf der OP tatsächlich kein Transfusionsbedarf bestehen. Dies traf für 92,12 % der Prognosen in Höhe von 0 EK zu.

Im Vergleich dazu konnten die Prognosen in Höhe von 1 EK in geringerem, aber immer noch zufriedenstellendem Umfang (80,60 %), den Transfusionsbedarf abdecken. Da die Abweichung bei nicht erfolgter Transfusion nur 1 EK betragen würde, sind diese Fälle unproblematisch. In 19 % der Fälle hätten die Prognosen in Höhe von 1 EK nicht ausgereicht. Sie hätten aber vor allem bei den Eingriffsarten mit geringem Transfusionsbedarf eine erste Tranche des Transfusionsbedarfs dargestellt.

Da die in den OP gelieferte Menge, die durch das Prognosemodell vorhergesagt wird, auf 2 EK beschränkt wurde, ist an die Bewertung der Genauigkeit dieser prognostizierten Menge ein besonderer Maßstab anzulegen. So ist der vergleichsweise hohe Anteil an Operationen (35,45 %), bei denen die in den OP gelieferte Menge nicht bedarfsdeckend war, zu relativieren. Es ist vielmehr positiv hervorzuheben, dass in diesen Fällen die Prognosemodelle 2 EK, also die Maximalmenge, für den OP vorhersagten. Dadurch wäre bereits ein erster Teil des gesamten Transfusionsbedarfs versorgt worden.

Ohne die Beschränkung der Prognosemenge auf 2 EK hätten zwar mehr Eingriffe mit den benötigten EK versorgt werden können, andererseits wären aber höhere Abweichungen zwischen den in den OP geschickten und den transfundierten EK aufgetreten.

4.1.3 Analyse der überhöhten Blutbereitstellungen

Die bisher analysierten Versorgungsquoten lassen keine genauen Rückschlüsse zu Häufigkeit und Ausmaß von überhöhten Blutbereitstellungen zu. Um diese möglichen Abweichungen umfassend zu beleuchten, wurden zwei Maßzahlen gebildet und analysiert: zum einen der Anteil von Operationen einer Eingriffsart, bei denen mehr EK bereitgestellt worden wären als für die Transfusion benötigt waren, zum anderen die Anzahl der dabei durchschnittlich zu viel bereitgestellten EK. Die Größe der beiden Kennzahlen hängt maßgeblich von der Höhe des 85 %-Perzentils (2.4.2) ab. Einerseits wiesen die Eingriffsarten einen hohen Anteil an Operationen mit Überversorgung auf, wenn das 85 %-Perzentil mindestens 1 EK betragen hatte. Andererseits

zeigte sich, dass, ausgehend von einer 85 %-Menge von 2 EK und mehr, die durchschnittliche mengenmäßige Überversorgung der Operationen anstieg.

Die Gegenüberstellung der Ergebnisse der beiden Kennzahlen lässt verschiedene Besonderheiten erkennen. Drei Eingriffsarten hätten zwar einen sehr hohen Anteil an Operationen mit übermäßigen Blutbereitstellungen aufgewiesen, jedoch hätte die Abweichung zwischen vorbereiteter und transfundierter EK-Menge im Durchschnitt nur 1 EK betragen (Tabellen 30, 164, 199). Danach sind für diese Eingriffsarten unter Einbeziehung beider Kennzahlergebnisse die Abweichungen nicht negativ einzuschätzen.

Auch die Eingriffsarten, die bei beiden Kennzahlen hohe Werte zeigten, bedürfen einer genaueren Betrachtung. Gemäß der Konzeption des Bestellalgorithmus beträgt die Überversorgung des EK-Bedarfs im OP maximal 2 EK. Eventuell zusätzlich vorbereitete EK lagern in Blutdepot auf Abruf. Diese Aufteilung der insgesamt präoperativ getesteten EK und die Begrenzung der für den OP vorhergesagten EK-Menge auf 2 bietet im Zusammenhang mit den geschilderten Abweichungen zwischen vorbereiteter und transfundierter EK-Menge einen großen Vorteil. So ermöglicht das Lagern von reservierten EK im Blutdepot auf Abruf, im Unterschied zur Bereitstellung für den OP, die nicht benötigten Konserven schneller dem allgemeinen Pool an Blutkonserven wieder zur Verfügung zu stellen. Es ist zu erwarten, dass dadurch für ein EK die Wahrscheinlichkeit der Transfusion steigt. Vor allem in Hinblick auf die begrenzte Haltbarkeit von EK ist dies positiv zu bewerten. Der Vorteil besteht allerdings unter der Voraussetzung, dass dem Blutdepot die Aufhebung der patienten-spezifischen Reservierung der EK möglichst schnell mitgeteilt wird.

4.1.4 Zielkonflikt zwischen der Sicherstellung der EK-Versorgung und der Genauigkeit des „Bestellalgorithmus GRH“

Unter einem Zielkonflikt versteht man eine Situation, in der das Erreichen von mindestens zwei Zielen nicht in gleichem Umfang erfolgen kann. Somit geht das Erreichen eines Ziels mit einer unzureichenden Erfüllung der anderen Ziele einher. Hier bestand der Zielkonflikt darin, einen Bestellalgorithmus zu erstellen, der einerseits für eine ausreichend hohe Versorgung des EK-Bedarfs, andererseits für eine möglichst präzise Übereinstimmung zwischen vorbereiteter und transfundierter EK-Menge sorgt.

Die Versorgung von mindestens 85 % der Operationen einer Eingriffsart mit den benötigten EK war als Hauptziel definiert worden. Da die Genauigkeit der einzelnen Prognosemodelle, die die Menge für den OP vorhersagten, aber nicht bei allen Eingriffsarten zufriedenstellend war,

erfolgte die Aufnahme der retrospektiv erhobenen 85 %-Menge (85 %-Perzentil) in den Bestellalgorithmus. Die Ausführungen im Kapitel 4.1.1 belegen, dass erst durch diese Unterstützung der Prognosemodelle bei 24 der 25 Eingriffsarten der Transfusionsbedarf von mindestens 85 % der Operationen gedeckt worden wäre. Jedoch hätte, wie in Kapitel 4.1.3 ausgeführt, diese Erweiterung des Bestellalgorithmus eine Erhöhung der durchschnittlichen Abweichung zwischen bereitgestellter EK-Menge und benötigter Menge zur Folge. Beispielsweise hätte das Prognosemodell nur 50,75 % der Herztransplantationen mit den erforderlichen EK versorgen können (Tabelle 154). Durch Hinzunahme der 85 %-Menge kam es zum einen zu einer Versorgung des EK-Bedarfs von 85 % der Herztransplantationen, zum anderen aber zu einer durchschnittlichen Überversorgung des Transfusionsbedarfs in Höhe von 4 EK.

Lediglich bei 10 Eingriffsarten trat der oben definierte Zielkonflikt nicht auf (3.3.3.3, 3.3.4.3, 3.3.9.3, 3.3.11.3, 3.3.18.3, 3.3.19.3, 3.3.20.3, 3.3.22.3, 3.3.23.3, 3.3.25.3). Dort konnte jeweils bei einem Großteil der Operationen (mindestens 86,96 %) der EK-Bedarf gedeckt werden, ohne dass die durchschnittliche Abweichung 1 EK überschritt.

Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass für die Sicherstellung der EK-Versorgung im gewünschten Umfang und damit für die Patientensicherheit überhöhte EK-Bereitstellungen auf Grundlage des Bestellalgorithmus akzeptiert werden müssen. Diese Abweichungen sind aber im Vergleich zu denen anderer Blutbereitstellungsverfahren zu sehen.

4.1.5 Vergleich des „Bestellalgorithmus GRH“ mit anderen Blutbereitstellungsverfahren

4.1.5.1 Vergleich des „Bestellalgorithmus GRH“ mit dem Transfusionskatalog des Klinikums der Universität München

Die im Dokumentationssystem der Klinik für Anaesthesiologie aufgeführten EK-Bestellungen waren wegen verschiedener Unschärfen bei deren Erfassung nicht für einen Vergleich mit den Ergebnissen des „Bestellalgorithmus GRH“ geeignet. Daher wurden für die Einschätzung der im Zeitraum 2012 bis 2015 erfolgten EK-Bestellungen die Vorgaben des Transfusionskataloges des Klinikums der Universität München benutzt.

Bei mehr als der Hälfte der Eingriffsarten (15 von 25) hätten die Vorgaben des Transfusionskataloges zum Teil deutlich über den Prognosen des „Bestellalgorithmus GRH“ gelegen. Das Befolgen des Transfusionskataloges hätte bei diesen Eingriffsarten einerseits zwar den Vorteil aufgewiesen, dass im Vergleich zum Bestellalgorithmus der EK-Bedarf von mehr Operationen hätte gedeckt werden können. Andererseits hätte der Transfusionskatalog je

Operation 1 bis 4 EK mehr empfohlen als der „Bestellalgorithmus GRH“. Da der Bestellalgorithmus mit weniger EK bei bereits 91 % der Operationen den EK-Bedarf decken konnte, erweist er sich gegenüber der bisherigen Bestellpraxis vor allem bei diesen 15 Eingriffsarten als überlegen. Diese Feststellungen werden unterstützt durch die Arbeiten von Welsby et al. (24) einerseits und Hayn et al. (25) andererseits, die bei einem ähnlichen Vorgehen durch Berücksichtigung bestimmter patientenindividueller Parameter ebenfalls eine Einsparung an vorzubereitenden EK feststellten. Ein weiter gehender Vergleich mit den hier vorgelegten Daten wurde nicht vorgenommen, da die Anzahl der Eingriffsarten und das jeweilige Patientenkollektiv deutlich geringer waren und keine Angaben zur C:T ratio vorlagen.

Für 8 Eingriffsarten stimmte die Empfehlung des Transfusionskataloges mit dem „Bestellalgorithmus GRH“ überein. Besonders im Zusammenhang mit diesen Eingriffsarten ist hervorzuheben, dass sich aber der „Bestellalgorithmus GRH“ vom Transfusionskatalog in einem bedeutenden Punkt unterscheidet. So war im Gegensatz zum Transfusionskatalog festgelegt worden (2.4.1), dass das Ergebnis des Prognosemodells, also die in den OP geschickte EK-Menge, maximal 2 EK beträgt. Ein zusätzlicher EK-Bedarf wird durch die im Blutdepot auf Abruf vorbereiteten EK oder durch die in Kapitel 4.1.1 beschriebenen Maßnahmen gedeckt. Ziel des „Bestellalgorithmus GRH“ war es, nur die tatsächlich benötigten EK in den OP zu liefern. Verschiedene Vorteile wären anhand dieses Vorgehens zu erreichen: geringeres Risiko einer unsachgemäßen Lagerung der EK und ein vermindertes Risiko des Überschreitens der erlaubten Lagerungstemperatur. Daher ist zu erwarten, dass die „EK-Verwurfsquote“ sinken wird. Zusätzlich ist davon auszugehen, dass diese enge Beschränkung der in den OP gelieferten EK-Menge bei gleichzeitiger Vorhaltung von getesteten EK im Blutdepot zu einem vermehrten Abrufen von im Blutdepot bereitgestellten EK führen wird. Da Operateur und Anästhesist während der Operation den Bedarf an EK genauer einschätzen können als vor der OP, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die nachträglich in den OP geschickten EK auch tatsächlich transfundiert werden.

Die Eingriffsart Lebertransplantationen war die einzige Ausnahme, da nur in diesem Fall die Prognose des Bestellalgorithmus die Vorgaben des Transfusionskataloges überragte. Mit den insgesamt bereitgestellten 10 EK („Bestellalgorithmus GRH“) wäre im Untersuchungszeitraum bei 85 % der Eingriffe der Transfusionsbedarf gedeckt worden. Die hohe Anzahl von 10 EK („Bestellalgorithmus GRH“) ist auf die starke Variabilität des EK-Verbrauchs zurückzuführen. Demgegenüber wären mit den vom Transfusionskatalog empfohlenen 6 EK nur 66,67 % der Operationen ausreichend mit EK versorgt worden. Da die Vorgabe des Transfusionskataloges

nur bei 66,67 % der Fälle den EK-Bedarf decken konnte und damit nicht die Mindestversorgung von 85 % der Operationen erreichte, wurde die Eingriffsart „Lebertransplantationen“ bei der ökonomischen Analyse der Abweichungen (4.2) nicht mit den übermäßigen Bereitstellungen des Transfusionskataloges verrechnet.

4.1.5.2 Vergleich des „Bestellalgorithmus GRH“ mit anderen Blutbereitstellungsverfahren anhand der Crossmatch-to-Transfusion-Ratio

Zusätzlich zu den erwähnten Kennzahlen lässt sich die Genauigkeit der Blutbereitstellung auch anhand der „Crossmatch-to-Transfusion-Ratio“ (C:T ratio) (2.5) bewerten. Da die Kennzahl „C:T ratio“ in der transfusionsmedizinischen Literatur weit verbreitet ist (97, 98), war ein Vergleich des „Bestellalgorithmus GRH“ mit anderen Blutbereitstellungsrichtlinien anhand dieser Maßzahl möglich.

Der „Bestellalgorithmus GRH“ hätte bei 11 Eingriffsarten zu einer definitionsgemäß effizienten Bestellpraxis (2.5) geführt. Bei weiteren 7 Eingriffsarten würden die Kennzahlergebnisse unter 1 liegen, also die insgesamt gekreuzte EK-Menge nicht ausreichen, um den Transfusionsbedarf vollständig zu decken. Es ist dabei zu beachten, dass entsprechend der Definition der C:T ratio diese Unterdeckung des Transfusionsbedarfs nicht durch einen Vergleich von bereitgestellter und benötigter EK-Menge je Operation (3.3), festgestellt wurde, sondern durch einen Vergleich von insgesamt pro Operationsart bereitgestellter und insgesamt pro Operationsart transfundierter EK-Menge.

Bei 6 der übrigen 7 Eingriffsarten hätte die EK-Bereitstellung gemäß dem „Bestellalgorithmus GRH“ das Zwei- bzw. Dreifache des Transfusionsbedarfs betragen. Das schlechteste Verhältnis hätte sich bei der Eingriffsart „Herzkatheter interventionell (alle übrigen)“ (C:T ratio: 4,82) ergeben. So standen aufgrund der Ergebnisse des „Bestellalgorithmus GRH“ in 84 % der Fälle EK-Bereitstellungen von 1 EK bzw. 2 EK einem nicht vorhandenen Transfusionsbedarf gegenüber. Die eingeschränkte Aussagekraft der C:T ratio zeigt sich besonders deutlich bei dieser Eingriffsart. Die C:T ratio gab an, dass etwa fünfmal mehr EK vorbereitet als benötigt wurden. Analysiert man jedoch die Abweichung zwischen diesen EK-Mengen pro Operation, zeigte sich eine durchschnittliche Überversorgung von nur 1 EK (3.3.18.3).

4.1.5.2.1 Vergleich des „Bestellalgorithmus GRH“ mit dem Blutbereitstellungsverfahren Maximum Surgical Blood Ordering Schedule

Unter einem *Maximum Surgical Blood Ordering Schedule* (MSBOS) versteht man eine Aufstellung, die bei verschiedenen Eingriffsarten die präoperativ durchzuführenden Bluttests

und die Anzahl der für eine Transfusion vorzubereitenden EK angibt. Zu diesen Tests zählen in der Regel die ABO-Blutgruppen- und Rhesusfaktorbestimmung, der Antikörpersuchtest und die serologische Verträglichkeitsprobe (Kreuzprobe). Die Empfehlungen eines MSBOS werden üblicherweise auf Basis von Vergangenheitswerten des EK-Verbrauchs einer Krankenhauseinheit oder auf Basis ärztlicher Expertise erstellt und sind daher nicht direkt auf andere Einrichtungen anwendbar.

Der Vergleich der Ergebnisse des „Blutbestellalgorithmus GRH“ mit Studienergebnissen zum MSBOS anhand der C:T ratio erfolgte hauptsächlich deswegen, weil der MSBOS in der Praxis etabliert ist (99, 100). Um einen aussagekräftigen Vergleich beider Blutbestellverfahren zu ermöglichen, wurden nur Studien berücksichtigt, bei denen für dasselbe medizinische Fachgebiet sowohl ein MSBOS als auch eine C:T ratio berechnet wurden. Diese Voraussetzungen waren vor allem bei orthopädischen Eingriffen erfüllt.

Die berücksichtigten Arbeiten (99-102), die die Auswirkungen eines MSBOS auf die Blutbereitstellung analysiert hatten, zeigen für orthopädische Eingriffe mit einer Ausnahme (99) eine C:T ratio von kleiner 2 (Tabelle 229). Auch der vorliegende „Bestellalgorithmus GRH“ weist für 3 orthopädische Eingriffsarten (Hüft-TEP, Hüft-TEP-Wechsel, Knie-TEP-Wechsel) gemeinsam eine effiziente Bestellpraxis auf. Mit einer C:T ratio von durchschnittlich 1,59 zeigte er unter diesen 4 Studien den zweitbesten Wert. Woodrum et al. legten in ihrer Arbeit (99) dar, dass die Einführung des MSBOS bei ihren Operationen die C:T ratio von 3,02 auf 2,53 gesenkt hatte. Trotz dieses deutlichen Rückgangs liegt dieser Wert immer noch über den Ergebnissen der anderen berücksichtigten Studien.

Mahar et al. stellten außerdem fest, dass der MSBOS bei Operationen von aortokoronaren Bypässen zu einer Abnahme der C:T ratio von 4,57 auf 1 führte (102). Demgegenüber bewirkte der „Bestellalgorithmus GRH“ bei dem vergleichbaren Eingriff „ACB Re-OP/nicht voroperiert“ in der vorliegenden Arbeit eine C:T ratio von 1,78. Somit konnte bei diesen Herzoperationen für den MSBOS eine optimale und für den Bestellalgorithmus eine effiziente Blutbereitstellung nachgewiesen werden.

Für Kolon- und Rektaloperationen konnten Woodrum et al. infolge der Anwendung des MSBOS zwar eine deutliche Abnahme der C:T ratio von 5,16 auf 3,25 errechnen (99). Jedoch lag damit keine definitionsgemäß effiziente Bestellpraxis vor. Der „Bestellalgorithmus GRH“ führte bei der zum Vergleich herangezogenen Eingriffsart Hemikolektomie zu einer C:T ratio von 0,40. Obwohl dieser Wert der Definition nach eine unzureichende Blutbereitstellung angibt, belegte der

Vergleich von bereitgestellter und transfundierter EK-Menge pro Operation, dass der „Bestellalgorithmus GRH“ bei 91,30 % der analysierten Operationen den Bedarf decken konnte. Eine Erklärung dieser Abweichung erfolgte in Kapitel 4.1.5.2.

Sowohl der Vergleich mit dem Benchmarkwert der C:T ratio (<2) als auch der Vergleich mit den Studienergebnissen zum MSBOS verdeutlichen, dass der „Bestellalgorithmus GRH“ für verschiedene Eingriffsarten eine im Sinne der Definition (2.6) effiziente EK-Bereitstellung gewährleistet hätte.

Die Aussagekraft des Vergleichs der Ergebnisse von MSBOS und dem „Bestellalgorithmus GRH“ ist aus verschiedenen Gründen eingeschränkt. Nur bei 2 (100, 102) von 4 Studien wurde die Anzahl an Patienten angegeben, für die der MSBOS angewendet wurde. Es zeigte sich, dass das Patientenkollektiv der vorliegenden Untersuchung deutlich größer war als das der beiden Vergleichsstudien. In einer Studie (101) erfolgte nur die Angabe der Anzahl der gekreuzten und transfundierten EK. Beide Größen lagen über den Vergleichswerten der vorliegenden Arbeit. Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist dadurch begrenzt, dass der Untersuchungszeitraum der vorliegenden Arbeit deutlich mehr Jahre umfasste als die übrigen analysierten Studien und auch dadurch, dass die jeweils für den Vergleich herangezogenen Eingriffsarten nicht vollständig übereinstimmten.

Tabelle 229: MSBOS und Crossmatch to Transfusion ratio

Studie	Doktorarbeit	Rogers	Woodrum et al.	Richardson et al.	Mahar et al.
Bestellpraxis	Bestellalgorithmus	MSBOS	MSBOS	MSBOS	MSBOS
Zeitraum	2012-2015	2003 -2004	2015- 2016	1994 - 1995	2009 - 2010
Patientenkollektiv	507	301	179.821*	1.885 gekreuzte & 770 transfundierte EK	85
Eingriffsgebiet	TEP-Eingriffe	Orthopädie	Orthopädie	Orthopädie	Orthopädie
C:T ratio	1,59	1,60	2,53	1,7	1

*Gesamtanzahl Patienten verschiedener Eingriffsgebiete von 8 Krankenhäusern

4.1.5.2.2 Vergleich des „Bestellalgorithmus GRH“ mit dem Blutbereitstellungsverfahren Surgical Blood Order Equation

Die *Surgical Blood Order Equation* (SBOE) stellt ein formelgestütztes Blutbestellverfahren dar. Dabei wird im Gegensatz zum MSBOS die Anzahl der bereitzustellenden EK anhand einer Formel berechnet, die sich aus patientenindividuellen Faktoren zusammensetzt.

Die hier berücksichtigten Studien (97, 103-105) (Tabelle 230) verwendeten dabei folgende SBOE:

Hb-Verlust - (präoperativer Hb - minimal akzeptierter Hb) = Anzahl zu bestellender EK.

Die Variable „Hb-Verlust“ gibt den aufgrund des Eingriffs verursachten Rückgang der Hb-Konzentration an (97).

Mit Ausnahme einer Studie (104) wurde in allen anderen übereinstimmend festgestellt, dass die Einführung der SBOE zu einer Abnahme der C:T ratio im Vergleich zu der bisher bestehenden Bestellpraxis führte.

In einer SBOE-Studie (105) mit Operationen von Oberschenkelfrakturen zogen die Autoren die Blutbestellungen als Vergleichsgruppe heran, die ohne Berücksichtigung einer Blutbestellrichtlinie erfolgten. Sie stellten infolge der Anwendung der SBOE ein deutliches Absinken der C:T ratio von 2,3 auf 1,5 fest. Der „Bestellalgorithmus GRH“ führte bei der vergleichbaren Eingriffsart „Frakturen“ zu einer C:T ratio von nur 0,43 (Tabelle 208). Obwohl dieser Wert auf eine Unterdeckung des EK-Bedarfs hinweisen könnte, war nur in geringem Maß eine unzureichende Versorgung der Operationen mit EK festzustellen. So wären infolge des „Bestellalgorithmus GRH“ bei 94,40 % dieser Operationen die benötigten EK bereitgestellt worden (Tabelle 207).

Zwei Arbeiten zeigten, dass die formelgebundene Bestellpraxis SBOE dem MSBOS überlegen ist (97, 103). Für Hüftoperationen lag die C:T ratio bei Anwendung der SBOE mit 0,83 deutlich unter dem entsprechenden Wert des MSBOS von 4,12 (97). Die Autoren weisen darauf hin, dass sich die „unzureichenden“ EK-Bereitstellungen, dargestellt durch die C:T ratio von 0,83, auf Transfusionen ausschließlich in der post-operativen Phase bezogen haben. Die Vorgaben des „Bestellalgorithmus GRH“ führten bei den Hüftoperationen zu einer C:T ratio von 0,53 (Hüft-TEP) bzw. 2,38 (Hüft-TEP-Wechsel). Trotz des niedrigen Kennzahlwertes war die Versorgung von Hüft-TEP-Operationen mit den benötigten EK bei Anwendung des Bestellalgorithmus in 88,66 % der Fälle ausreichend.

Im Gegensatz zu diesen Studienergebnissen, die alle eine C:T ratio unter 2 aufwiesen, konnte in einer weiteren Studie (104) nur für 4 von 12 orthopädischen Eingriffsarten ein Wert unter 2 festgestellt werden. Dazu zählen „Amputationen“, „die Behandlung von Oberschenkelfrakturen“, „die Fixierung von Brüchen mittels Kirschner-Draht“ und „die externe Fixierung von Frakturen“. Bei Anwendung des „Bestellalgorithmus GRH“ zeigte die C:T ratio bei Majoramputationen eine übermäßige Bereitstellung von EK (C:T ratio: 2,65) und bei Oberschenkelfrakturen eine Minderversorgung mit EK (C:T ratio: 0,43). Die Genauigkeitstests

des Algorithmus gaben aber an, dass bei beiden Eingriffsarten jeweils mindestens 90 % der Prognosen den EK-Bedarf decken konnten.

Insgesamt hatte die Einführung der oben genannten SBOE bei 3 der 4 analysierten Studien zu einer Absenkung der C:T ratio geführt. Dabei ergaben sich mehrheitlich Werte von unter 2. Dieselbe Tendenz zeigte sich auch beim „Bestellalgorithmus GRH“, der bei vergleichbaren Operationen eine C:T ratio unter 2 bewirkt hatte.

Auch für den Vergleich dieser Studienergebnisse mit dem „Bestellalgorithmus GRH“ sind verschiedene Einschränkungen zu berücksichtigen. Zum einen sind der Umfang der untersuchten Jahre und auch das Patientenkollektiv bei dem „Algorithmus GRH“ deutlich größer als bei den Vergleichsstudien. Zum anderen stimmten die zum Vergleich herangezogenen Eingriffsarten nur teilweise mit denen des Klinikums Großhadern überein.

Tabelle 230: SBOE und Crossmatch to Transfusion ratio

Studie	Doktorarbeit	Nuttall et al. (1998)	Nuttall et al. (2000)	Subramanian et al.	Kajja et al.
Bestellpraxis	Bestellalgorithmus	SBOE	SBOE	SBOE	SBOE
Zeitraum	2012-2015	Vor 1998	Jan. 1994 - Juli 1995	Jan. 2007 - Dez. 2007	12 Monate
Patientenkollektiv	1.864	60	182	487	124
Eingriffsgebiet	Orthopädische Eingriffe	Hüftoperation	Wirbelsäulenoperation	Orthopädische Eingriffe	Oberschenkelbruch
C:T ratio	0,43 - 2,65	0,83	1,0 bzw. 0,9	1,35 - 4,17	1,5

4.2 Ökonomische Vorteile des „Bestellalgorithmus GRH“

Ökonomische Aspekte spielen bei Bluttransfusionen eine nicht zu unterschätzende Rolle. Kosten entstehen unter anderem durch den Produktpreis, die Lagerhaltung von Blutkonserven, das präoperative Testen von Blutkonserven, die Verabreichung und die Nachsorge von Bluttransfusionen (106).

Die ökonomische Bedeutung der Abweichungen zwischen den Vorgaben des Transfusionskataloges und den Prognosen des „Bestellalgorithmus GRH“ zeigt sich bei bestimmten Eingriffsarten besonders deutlich. Dabei ragt die Eingriffsart „ACB Re-OP/nicht voroperiert“ heraus, da der Transfusionskatalog pro Operation 3 EK (nicht voroperiert) bzw. 4 EK (Re-OP) mehr vorschlägt als der „Bestellalgorithmus GRH“. Diese bereits hohe Abweichung

erhält eine noch größere Wichtung durch die hohe Anzahl (n=1.577) an durchgeführten Bypassoperationen im Untersuchungszeitraum 2012 bis 2015. Damit würden die Vorgaben des Transfusionskatalogs im Vergleich zum Bestellalgorithmus allein bei diesen Eingriffsarten bereits zu personenbezogenen Mehrkosten der Blutbereitstellung, Blutrückholung und anteiliger Entsorgung (3.4) in Höhe von 35.106 € im Verlauf von 4 Jahren führen.

Im Gegensatz dazu hätten bei der Eingriffsart „TAAA offen mit HLM“ die finanziellen Auswirkungen der Abweichungen des Transfusionskataloges vom Bestellalgorithmus in Höhe von 4 EK pro Operation wegen der relativ kleinen Fallzahl von 113 Operationen nur eine geringe Bedeutung. Bei einer Reihe von Eingriffsarten erscheint die Abweichung zwischen Transfusionskatalog und Bestellalgorithmus in Höhe von 2 EK im Vergleich zu den bisher geschilderten Abweichungen zunächst weniger auffällig. Jedoch überragt der Transfusionskatalog die Prognosen des Bestellalgorithmus bei den Eingriffsarten „Frakturen“, „AKE/MKE nicht voroperiert“ und „Tumornephrektomien“ aufgrund der im Zeitraum 2012 bis 2015 hohen Anzahl an durchgeführten Eingriffen insgesamt um 9.190 EK. Daraus resultieren vermeidbare Kosten der Blutbereitstellung, Blutrückholung und anteiliger Entsorgung in Höhe von 61.371 €.

Bezogen auf die 15 Eingriffsarten, bei denen aufgrund der Befolgung des Transfusionskataloges mehr EK präoperativ getestet worden wären als bei Anwendung des „Bestellalgorithmus GRH“, läge die Abweichung im Zeitraum von 4 Jahren insgesamt bei 22.727 EK. Die personenbezogenen Kosten des Austestens, Zurückholens und anteiligen Entsorgens dieser EK hätten 151.771 € betragen.

Die tatsächlichen Mehrkosten liegen noch deutlich höher, weil in diesen Zahlen nur eine Auswahl (2.6) von personenbezogenen Bereitstellungs-, Rückholungs- und Entsorgungskosten im Blutdepot berücksichtigt wurde und neben anderen die Materialkosten und Kosten für die ärztlichen Leistungen bei der Blutbereitstellung nicht erfasst wurden. In einer umfassenden Studie (12) wurden die Kosten für Bluttestung und Blutbereitstellung, die im Rahmen einer Prozessanalyse erfasst wurden, zwischen 65 \$ und 144 \$ berechnet. Ausgehend von diesen Studienergebnissen, ergäben sich im Untersuchungszeitraum bei 22.727 nicht getesteten und nicht bereitgestellten EK eine Kosteneinsparung von 1.477.255 \$ (\approx 1.263.529 €) bis 3.272.688 \$ (\approx 2.799.203 €).

Es ist hervorzuheben, dass der „Blutbestellalgorithmus GRH“ im Vergleich zum Transfusionskatalog zwar deutlich weniger EK prognostiziert hätte, aber dennoch den Bedarf

von 90 % der analysierten Operationen hätte decken können. Es wäre also bei Anwendung des Transfusionskataloges ein höherer Versorgungsgrad erreicht worden, es wären aber auch zusätzlich deutlich höhere Kosten entstanden.

4.3 Grenzen der Aussagen des „Bestellalgorithmus GRH“

4.3.1 Die Variablen der Prognosemodelle und ihre Wichtung

Für jede der 25 transfusionsrelevanten Eingriffsarten wurde eine Poisson-Regressionsgleichung errechnet, die einen Teil des „Bestellalgorithmus GRH“ darstellte. Die Variablen, die dabei einen statistisch signifikanten Einfluss auf den EK-Verbrauch hatten, gingen mit ihren Regressionskoeffizienten in die Regressionsmodelle ein. Sie sind in den Kapiteln der Eingriffsarten (3.3.1 - 3.3.25) jeweils unter „Poisson-Regression“ erfasst.

Die Variable „Hb-Wert“ sticht heraus. So konnte für diesen Parameter bei jeder Eingriffsart ein statistisch hoch signifikanter Einfluss auf den Transfusionsbedarf festgestellt werden und damit die Bedeutung der präoperativen Hb-Konzentration für die Vorhersage des EK-Bedarfs bestätigt werden.

Die statistische Bedeutung zeigte sich auch darin, dass das Prognosemodell ohne Berücksichtigung des Hb-Wertes keine belastbaren Vorhersagen errechnen konnte. Daher mussten die Fälle, zu denen kein Hb-Wert vorlag, von den Tests zur Genauigkeit des Bestellalgorithmus ausgeschlossen werden. Bei den Eingriffsarten, deren Datengrundlage umfangreich reduziert werden musste, sank die Aussagekraft der Testergebnisse. Digital erfasste Hb-Werte lagen nicht vor, wenn zwischen der Bestimmung des Hb-Wertes und der Prämedikation nur eine geringe Zeitpanne lag. Außerdem erfolgte nicht bei jedem Fall eine Übertragung des Hb-Wertes in die Datenbank der Klinik für Anaesthesiologie des Klinikums Großhaderns.

Der Gesundheitszustand der Patienten gemäß der ASA-Klassifikation zeigte erwartungsgemäß bei einer großen Anzahl an Eingriffsarten (17 von 25) einen signifikanten Einfluss auf den Transfusionsbedarf. Für das Patientenalter konnte bei knapp zwei Drittel der Eingriffsarten (16 von 25) ein statistisch signifikanter Zusammenhang mit der Anzahl der transfundierten EK nachgewiesen werden. Im Gegensatz dazu zählte die „Dringlichkeit der Operation“ nur bei 11 Eingriffsarten zu den signifikanten Einflussfaktoren. Außerdem waren die Variablen „Geschlecht“ und „Körperoberfläche“ bei nur 8 bzw. 7 Eingriffsarten als signifikanter Einfluss auf den EK-Bedarf identifiziert worden. Dagegen ließ sich für den Gesamtdatensatz des Bestellalgorithmus (n=19.776) ein signifikanter Zusammenhang zwischen Geschlecht und EK-

Verbrauch anhand des Mann-Whitney-U-Test nicht feststellen. Dennoch ist die Verwendung des Patientengeschlechts als möglicher Einflussfaktor des EK-Verbrauchs bei der weiteren statistischen Auswertung erfolgt. Denn andere Studien fanden für den Faktor Geschlecht bei mehreren Eingriffsarten einen signifikanten Einfluss auf den EK-Bedarf (107, 108). Zudem hatte sich für 8 Eingriffsarten gezeigt, dass das Geschlecht einen signifikanten Einfluss auf den EK-Verbrauch hatte.

4.3.2 Kritische Betrachtung des Vergleichs von „Bestellalgorithmus GRH“ mit anderen Blutbestellrichtlinien anhand der C:T ratio

Da viele Studien die C:T ratio zur Einschätzung der Effizienz einer Bestellrichtlinie heranzogen, wurde auch der in der vorgelegten Arbeit entwickelte „Blutbestellalgorithmus GRH“ anhand dieser Maßzahl bewertet und mit anderen Bestellrichtlinien (MSBOS, SBOE) verglichen. Dabei ist jedoch die Bewertung der Genauigkeit einer Blutbestellrichtlinie anhand der C:T ratio, die das Verhältnis von insgesamt gekreuzten und insgesamt transfundierten EK angibt, nur eingeschränkt belastbar. Da bei dieser Kennzahl je Eingriffsart die Summe der vorbereiteten mit der Summe der transfundierten EK verglichen werden, erfolgt auch eine „Verrechnung“ der Operationen, bei denen eine Überdeckung an EK vorlag, mit den Operationen, bei denen eine Unterdeckung des EK-Bedarfs vorlag. Eine C:T ratio, die eine effiziente Blutbereitstellung angibt, lässt nicht eindeutig erkennen, ob die Bereitstellung von EK im Einzelfall effizient war. Da Bestellungen von EK immer für eine bestimmte Operation erfolgen, erhält man eine aussagekräftigere Bewertung dieser EK-Vorhersage, wenn man bereitgestellte und transfundierte EK je Operation betrachtet. Daher ist diese Vorgehensweise in der vorgelegten Arbeit gewählt worden, um die Genauigkeit des „Bestellalgorithmus GRH“ zu bestimmen.

4.3.3 Generalisierbarkeit der Ergebnisse

Die patientenindividuelle und institutsspezifische Konzeption des Bestellalgorithmus führt dazu, dass die Übertragbarkeit der hier errechneten Prognosemodelle und der 85 %-Perzentile vom „Bestellalgorithmus GRH“ auf andere Kliniken eventuell eingeschränkt ist.

Zum einen erfolgte die Erstellung und Testung des Algorithmus anhand patientenindividueller Daten, zum anderen stammen diese Patientendaten nur aus einem einzigen Krankenhaus, das als Universitätsklinikum über ein komplexes Patientenkollektiv verfügt. Daher macht es der individuelle Charakter des Algorithmus erforderlich, Prognosemodelle und 85 %-Perzentile anhand von krankenhausspezifischen Daten zu erstellen.

Eine weitere Einschränkung der Generalisierbarkeit betrifft die Möglichkeiten, eine unzureichende Bereitstellung von EK auszugleichen. Ein intraoperativer Mangel an EK kann zunächst durch EK der Universalspenderblutgruppe 0 Rh- aus dem Notfalldepot im OP behoben werden. Zusätzlich ergibt sich aus der kurzen Distanz zwischen dem Blutdepot im Klinikum Großhadern und dem Operationstrakt, dass eine vorübergehende Minderversorgung des Patienten mit Blutprodukten mit nur wenig Verzögerung ausgeglichen werden kann. Diese Vorsichtsmaßnahmen erlauben es, Unterdeckungen des EK-Bedarfs in einem geringen Umfang zu akzeptieren.

Sofern an anderen Kliniken diese Voraussetzungen nicht vorliegen, ist eine Adjustierung des Algorithmus vorzunehmen. Um eine ausreichende Patientensicherheit zu gewährleisten, wäre eine Möglichkeit, die absichtliche Eingrenzung der EK-Menge, die auf Basis des Prognosemodells berechnet und als erste Tranche in den OP geliefert wird, von 2 EK auf 3 EK zu erweitern.

Schließlich ist es zur Überprüfung dieser Studienergebnisse sinnvoll, die bisherige retrospektive Analyse des Bestellalgorithmus durch eine prospektive Untersuchung zu ergänzen.

Um den Algorithmus an ein geändertes Transfusionsverhalten und weitere relevante Auswirkungen des medizinischen Fortschritts anzupassen, ist eine Adjustierung des Algorithmus in der Zukunft erforderlich. Es sollte in regelmäßigen Abständen anhand von aktuellen Daten die Erstellung der Prognosemodelle und die Berechnung der 85 %-Perzentile erneut durchgeführt werden.

5. Zusammenfassung

Ziel dieser Doktorarbeit war es, einen operationsspezifischen Bestellalgorithmus zu erstellen, der auf Basis von patientenindividuellen Merkmalen (Hb-Wert, Körperoberfläche, Alter, Geschlecht, ASA-Gesundheitsklassifikation, Dringlichkeit der Operation) den intraoperativen Bedarf an Erythrozytenkonzentraten vorhersagt. Anhand von zwei Einschlusskriterien, Transfusionswahrscheinlichkeit größer 5 % und durchschnittlich mindestens 9 EK-Transfusionen pro Jahr, wurden 25 Eingriffsarten des Transfusionskataloges der operativen Fächer des Klinikums der Universität München für die statistische Analyse ausgewählt. Dadurch ergab sich für die Jahre 2012 bis 2015 eine Datengrundlage von 19.776 Eingriffen mit 4.879 Operationen, bei denen 14.754 EK an 4.554 verschiedene Patienten verabreicht wurden. Der hier entwickelte „Bestellalgorithmus GRH“ setzt sich aus einem statistischen Prognosemodell und dem 85 %-Perzentil des EK-Verbrauchs der Jahre 2012 bis 2015 zusammen. Aufgrund des Prognosemodells werden maximal 2 EK in den OP geliefert. Die EK-Menge, die im Blutdepot auf

Abruf für einen Patienten reserviert wird, errechnet sich aus dem 85 %-Perzentil des EK-Verbrauchs und der bisher in den OP geschickten EK-Menge.

In der statistischen Analyse hat sich der Hb-Wert als bedeutendster Vorhersagefaktor des EK-Bedarfs gezeigt, gefolgt von dem Gesundheitszustand der Patienten gemäß der ASA-Klassifikation und dem Patientenalter.

Der „Bestellalgorithmus GRH“ hätte in 90,06 % der analysierten Operationen den EK-Bedarf gedeckt. Dabei hätte der Algorithmus in den Jahren 2012 bis 2015 im Vergleich zur bisherigen EK-Bestellpraxis 22.727 EK weniger errechnet. Die Bereitstellung dieser EK hätte personenbezogene Kosten von mindestens 151.771 € zur Folge gehabt, die bei Anwendung des Bestellalgorithmus vermieden worden wären. Die Abweichungen zwischen bereitgestellter und transfundierter EK-Menge, die bei Anwendung des „Bestellalgorithmus GRH“ auftreten würden, sind daher vor dem Hintergrund dieser positiven Ergebnisse zu sehen. Die überzeugenden Aussagen, die auf einer retrospektiven Analyse beruhen, sollten mit einer prospektiven Auswertung untermauert werden.

6. Abkürzungsverzeichnis

Abb	Abbildung
ACB	Aortocoronarer Bypass
AKE	Aortenklappenersatz
ASA	American Society of Anesthesiologists
ATMZH	Abteilung für Transfusionsmedizin, Zelltherapeutika und Hämostaseologie
BAA	Bauchaortenaneurysma
Crur	Crural
C:T ratio	Crossmatch to Transfusion ratio
DIMDI	Institut für medizinische Dokumentation und Informationen
EK	Erythrozytenkonzentrat
FDA	Food and Drug Administration
Fem	Femoro
FFP	Fresh Frozen Plasma
GRH	Großhadern
Hb	Hämoglobin
HBBS	Hämoglobin-basierte Bluts Substitute
HLM	Herz-Lungen-Maschine
KI	Konfidenzintervall
KOF	Körperoberfläche
MKE	Mitralklappenersatz
MSBOS	Maximum Surgical Blood Ordering Schedule
MW	Mittelwert
OP	Operationsaal

OPS	Operationen- und Prozedurenschlüssel
PBM	Patient Blood Management
PFC	Perfluorcarbone
Pop	Popliteal
Re-OP	Re-Operation
Rh	Rhesusfaktor
SBOE	Surgical Blood Ordering Equation
SD	Standard Deviation
SE	Standard Error
Sog	Sogenannt
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
TAA	Thorakales Aortenaneurysma
TAAA	Thorako-abdominelles Aortenaneurysma
TEP	Totalendoprothese
TK	Thrombozytenkonzentrat
Tx	Transplantation
Wald	Wald-Chi-Quadrat

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Durchgeführte Eingriffe mit und ohne EK-Transfusion	21
Abbildung 2: Histogramm Variable Alter	22
Abbildung 3: Histogramm Variable Alter nicht-transfundierte Patienten.....	23
Abbildung 4: Histogramm Variable Alter transfundierte Patienten	23
Abbildung 5: Absolute und relative Häufigkeiten für die Variable ASA- Gesundheitsklassifikation, mit und ohne EK-Transfusion.....	24
Abbildung 6: Absolute und relative Häufigkeiten für die Variable Dringlichkeit der Operation, mit und ohne EK-Transfusion	25
Abbildung 7: Absolute und relative Häufigkeiten für die Variable Geschlecht, mit und ohne EK- Transfusion.....	26
Abbildung 8: Histogramm für die Variable Hb-Wert, Patienten mit EK-Transfusion.....	27
Abbildung 9: Histogramm für die Variable Hb-Wert, Patienten ohne EK-Transfusion	27
Abbildung 10: Histogramm für die Variable Körperoberfläche, mit EK-Transfusion.....	28
Abbildung 11: Histogramm für die Variable Körperoberfläche, ohne EK-Transfusion	28

8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Berücksichtigte Eingriffsarten 2012-2015 für „Bestellalgorithmus GRH“	12
Tabelle 2: Patientenindividuelle Faktoren Teil 1	13
Tabelle 3: Patientenindividuelle Faktoren Teil 2	13
Bauchaortenaneurysma-Y-Stentgraft (BAA-Y-Stentgraft) und Thorakales Aortenaneurysma Stentgraft (TAA-Stentgraft)	
Tabelle 4: Geschlecht und Alter	28
Tabelle 5: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	29
Tabelle 6: ASA-Klassifikation	29
Tabelle 7: Dringlichkeit der Operation	29
Tabelle 8: Poisson-Regression	30
Tabelle 9: Test des Prognosemodells	31
Tabelle 10: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	31
Tabelle 11: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	32
Tabelle 12: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	32
Eingriffe abdominelle Aorta (infrarenal offen/suprarenal offen)	
Tabelle 13: Geschlecht und Alter	32
Tabelle 14: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	33
Tabelle 15: ASA-Klassifikation	33
Tabelle 16: Dringlichkeit der Operation	33
Tabelle 17: Poisson-Regression	34
Tabelle 18: Test des Prognosemodells	34
Tabelle 19: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	35
Tabelle 20: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	35
Tabelle 21: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	36
Femoro-poplitealer (Fem-pop)/Femoro-cruraler (Fem-crur)/Femoro-femuraler (Fem-fem) cross over Bypass	
Tabelle 22: Geschlecht und Alter	36
Tabelle 23: KOF und Hb-Wert	36
Tabelle 24: ASA-Klassifikation	37
Tabelle 25: Dringlichkeit der Operation	37
Tabelle 26: Poisson-Regression	37
Tabelle 27: Test des Prognosemodells	38
Tabelle 28: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	38
Tabelle 29: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	39
Tabelle 30: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	39
Hemikolektomie rechts/links und Hartmann-Wiederanschluss	
Tabelle 31: Geschlecht und Alter	39
Tabelle 32: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	40
Tabelle 33: ASA-Klassifikation	40
Tabelle 34: Dringlichkeit der Operation	40
Tabelle 35: Poisson-Regression	41
Tabelle 36: Test des Prognosemodells	41
Tabelle 37: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	42
Tabelle 38: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	42

Tabelle 39: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	42
Leberresektion	
Tabelle 40: Geschlecht und Alter	43
Tabelle 41: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	43
Tabelle 42: ASA-Klassifikation	43
Tabelle 43: Dringlichkeit der Operation	43
Tabelle 44: Modelleffekte	44
Tabelle 45: Poisson-Regression.....	44
Tabelle 46: Test des Prognosemodells.....	45
Tabelle 47: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	45
Tabelle 48: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	46
Tabelle 49: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	46
Lebertransplantation	
Tabelle 50: Geschlecht und Alter	46
Tabelle 51: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	46
Tabelle 52: ASA-Klassifikation und Dringlichkeit der Operation	47
Tabelle 53: Poisson-Regression.....	47
Tabelle 54: Test des Prognosemodells.....	48
Tabelle 55: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	48
Tabelle 56: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	49
Tabelle 57: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	49
Lungentransplantation	
Tabelle 58: Geschlecht und Alter	49
Tabelle 59: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	50
Tabelle 60: ASA-Klassifikation und Dringlichkeit der Operation	50
Tabelle 61: Poisson-Regression.....	51
Tabelle 62: Test des Prognosemodells.....	51
Tabelle 63: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	52
Tabelle 64: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	52
Tabelle 65: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	52
Majoramputationen	
Tabelle 66: Geschlecht und Alter	53
Tabelle 67: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	53
Tabelle 68: ASA-Klassifikation	53
Tabelle 69: Dringlichkeit der Operation	54
Tabelle 70: Poisson-Regression.....	54
Tabelle 71: Test des Prognosemodells.....	55
Tabelle 72: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	55
Tabelle 73: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	56
Tabelle 74: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	56
Nierentransplantation und Pankreastransplantation	
Tabelle 75: Geschlecht und Alter	56
Tabelle 76: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	57
Tabelle 77: ASA-Klassifikation	57
Tabelle 78: Dringlichkeit der Operation	57
Tabelle 79: Poisson-Regression.....	58

Tabelle 80: Test des Prognosemodells	58
Tabelle 81: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	59
Tabelle 82: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	59
Tabelle 83: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	60
Thorakoabdominelles Aortenaneurysma (TAAA) offen mit Herz-Lungen-Maschine (HLM)	
Tabelle 84: Geschlecht und Alter	60
Tabelle 85: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	60
Tabelle 86: ASA-Klassifikation	61
Tabelle 87: Dringlichkeit der Operation	61
Tabelle 88: Poisson-Regression.....	62
Tabelle 89: Test des Prognosemodells.....	62
Tabelle 90: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	63
Tabelle 91: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	63
Tabelle 92: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	63
Thrombektomie/Revisionen	
Tabelle 93: Geschlecht und Alter	64
Tabelle 94: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	64
Tabelle 95: ASA-Klassifikation	64
Tabelle 96: Dringlichkeit der Operation	65
Tabelle 97: Poisson-Regression.....	65
Tabelle 98: Test des Prognosemodells.....	66
Tabelle 99: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	66
Tabelle 100: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	66
Tabelle 101: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	67
Aorto-coronarer Bypass (ACB) nicht voroperiert/Re-Operation (Re-OP)	
Tabelle 102: Geschlecht und Alter	67
Tabelle 103: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	68
Tabelle 104: ASA-Klassifikation	68
Tabelle 105: Dringlichkeit der Operation	68
Tabelle 106: Poisson-Regression.....	69
Tabelle 107: Test des Prognosemodells.....	69
Tabelle 108: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	70
Tabelle 109: Genauigkeit des Bestellalgorithmus.....	71
Tabelle 110: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	71
Aortenklappenersatz (AKE)/Mitralklappenersatz (MKE) nicht voroperiert	
Tabelle 111: Geschlecht und Alter	72
Tabelle 112: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	72
Tabelle 113: ASA-Klassifikation	72
Tabelle 114: Dringlichkeit der Operation	73
Tabelle 115: Poisson-Regression.....	73
Tabelle 116: Test des Prognosemodells.....	74
Tabelle 117: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	74
Tabelle 118: Genauigkeit des Bestellalgorithmus.....	75
Tabelle 119: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	75
Aortenklappenersatz (AKE)/Mitralklappenersatz (MKE) Re-OP	
Tabelle 120: Geschlecht und Alter	76

Tabelle 121: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	76
Tabelle 122: ASA-Klassifikation	76
Tabelle 123: Dringlichkeit der Operation	77
Tabelle 124: Poisson-Regression	77
Tabelle 125: Test des Prognosemodells	78
Tabelle 126: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	78
Tabelle 127: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	79
Tabelle 128: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	79
Aorta Ascendens-Bogenersatz	
Tabelle 129: Geschlecht und Alter	79
Tabelle 130: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	80
Tabelle 131: ASA-Klassifikation	80
Tabelle 132: Dringlichkeit der Operation	80
Tabelle 133: Poisson-Regression	81
Tabelle 134: Test des Prognosemodells	82
Tabelle 135: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	82
Tabelle 136: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	83
Tabelle 137: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	83
Aorta Ascendens-Ersatz	
Tabelle 138: Geschlecht und Alter	83
Tabelle 139: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	84
Tabelle 140: ASA-Klassifikation	84
Tabelle 141: Dringlichkeit der Operation	84
Tabelle 142: Poisson-Regression	85
Tabelle 143: Test des Prognosemodells	86
Tabelle 144: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	86
Tabelle 145: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	87
Tabelle 146: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	87
Herztransplantation	
Tabelle 147: Geschlecht und Alter	87
Tabelle 148: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	88
Tabelle 149: ASA-Klassifikation	88
Tabelle 150: Dringlichkeit der Operation	88
Tabelle 151: Poisson-Regression	89
Tabelle 152: Test des Prognosemodells	89
Tabelle 153: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	90
Tabelle 154: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	90
Tabelle 155: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	90
Herzkatheter interventionell (alle übrigen)	
Tabelle 156: Geschlecht und Alter	91
Tabelle 157: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	91
Tabelle 158: ASA-Klassifikation	92
Tabelle 159: Dringlichkeit der Operation	92
Tabelle 160: Poisson-Regression	93
Tabelle 161: Test des Prognosemodells	93
Tabelle 162: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	94

Tabelle 163: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	94
Tabelle 164: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	95
Endokranielle Eingriffe	
Tabelle 165: Geschlecht und Alter	95
Tabelle 166: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	95
Tabelle 167: ASA-Klassifikation	96
Tabelle 168: Dringlichkeit der Operation	96
Tabelle 169: Poisson-Regression	97
Tabelle 170: Test des Prognosemodells.....	98
Tabelle 171: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	98
Tabelle 172: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	99
Tabelle 173: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	99
Hüft-Totalendoprothese (Hüft-TEP)	
Tabelle 174: Geschlecht und Alter	99
Tabelle 175: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	100
Tabelle 176: ASA-Klassifikation	100
Tabelle 177: Dringlichkeit der Operation	100
Tabelle 178: Poisson-Regression	101
Tabelle 179: Test des Prognosemodells.....	102
Tabelle 180: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	102
Tabelle 181: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	103
Tabelle 182: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	103
Hüft-Totalendoprothese-Wechsel (Hüft-TEP-Wechsel)	
Tabelle 183: Geschlecht und Alter	103
Tabelle 184: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	104
Tabelle 185: ASA-Klassifikation und Dringlichkeit der Operation	104
Tabelle 186: Poisson-Regression	104
Tabelle 187: Test des Prognosemodells.....	105
Tabelle 188: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	105
Tabelle 189: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	106
Tabelle 190: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	106
Knie-Totalendoprothese-Wechsel (Knie-TEP-Wechsel)	
Tabelle 191: Geschlecht und Alter	107
Tabelle 192: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	107
Tabelle 193: ASA-Klassifikation	107
Tabelle 194: Dringlichkeit der Operation	107
Tabelle 195: Poisson-Regression	108
Tabelle 196: Test des Prognosemodells.....	109
Tabelle 197: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	109
Tabelle 198: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	110
Tabelle 199: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	110
Hüft-, Femur-, Unterschenkel-, Ellenbogen-, Humerus- und Beckenfrakturen	
Tabelle 200: Geschlecht und Alter	110
Tabelle 201: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	111
Tabelle 202: ASA-Klassifikation	111
Tabelle 203: Dringlichkeit der Operation	111

Tabelle 204: Poisson-Regression	112
Tabelle 205: Test des Prognosemodells	113
Tabelle 206: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	113
Tabelle 207: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	114
Tabelle 208: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	114
Radikale Zystektomie (Ileumconduit/Neoblase)	
Tabelle 209: Geschlecht und Alter	114
Tabelle 210: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	115
Tabelle 211: ASA-Klassifikation	115
Tabelle 212: Dringlichkeit der Operation	115
Tabelle 213: Poisson-Regression	116
Tabelle 214: Tests des Prognosemodells	116
Tabelle 215: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	117
Tabelle 216: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	117
Tabelle 217: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	117
Tumornephrektomie/Nephroureterektomie/Tumornephrektomie mit Cava-	
zapfen (+HLM)	
Tabelle 218: Geschlecht und Alter	118
Tabelle 219: Körperoberfläche und Hb-Wert.....	118
Tabelle 220: ASA-Klassifikation	118
Tabelle 221: Dringlichkeit der Operation	119
Tabelle 222: Poisson-Regression	119
Tabelle 223: Test des Prognosemodells	120
Tabelle 224: Abdeckung des EK-Bedarfs durch die „OP-Menge“	120
Tabelle 225: Genauigkeit des Bestellalgorithmus	121
Tabelle 226: Kennzahlen der Abweichungsanalyse	121
Tabelle 227a: Prozesse Blutdepot und Nettoarbeitszeit.....	122
Tabelle 227b: Kosten Prozesse Blutdepot.....	123
Tabelle 228: Bereitstellung eines EK - personenbezogene Prozesskosten pro Minute	123
Tabelle 229: MSBOS und Crossmatch to Transfusion ratio.....	131
Tabelle 230: SBOE und Crossmtach to Transfusion ratio.....	133

9. Literaturverzeichnis

1. 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;53(10):2198-206.
2. Klein HG. Immunomodulatory Aspects of Transfusion A Once and Future Risk? *Anesthesiology*. 1999;91(3):861-5.
3. Vamvakas EC. Transfusion-associated cancer recurrence and postoperative infection: meta-analysis of randomized, controlled clinical trials. *Transfusion*. 1996;36(2):175-86.
4. Buddeberg F, Schimmer BB, Spahn DR. Transfusion-transmissible infections and transfusion-related immunomodulation. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*. 2008;22(3):503-17.
5. Robinson WP III, Ahn J, Stiffler A, Rutherford EJ, Hurd H, Zarzaur BL, et al. Blood Transfusion Is an Independent Predictor of Increased Mortality in Nonoperatively Managed Blunt Hepatic and Splenic Injuries. *Journal of Trauma Injury Infection & Critical Care* March. 2005;58(3):437-45.
6. Moore FA, Moore EE, Sauaia A. Blood transfusion: An independent risk factor for postinjury multiple organ failure. *Archives of Surgery*. 1997;132(6):620-5.
7. Oge T, Kilic CH, Kilic GS. Economic Impact of Blood Transfusions: Balancing Cost and Benefits. *The Eurasian Journal of Medicine*. 2014;46(1):47-9.
8. Hofmann A, Ozawa S, Farrugia A, Farmer SL, Shander A. Economic considerations on transfusion medicine and patient blood management. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*. 2013;27(1):59-68.
9. Custer B. Economic analyses of blood safety and transfusion medicine interventions: a systematic review. *Transfusion Medicine Reviews*. 2004;18(2):127-43.
10. Stokes EA, Wordsworth S, Staves J, Mundy N, Skelly J, Radford K, et al. Accurate costs of blood transfusion: a microcosting of administering blood products in the United Kingdom National Health Service. *Transfusion*. 2018;58(4):846-53.
11. Hönemann C, Bierbaum M, Heidler J, Doll D, Schöffski O. Kosten der Verabreichung von Blutkonserven im Krankenhaus. *Der Chirurg*. 2013;84(5):426-32.
12. 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;50(4):753-65.
13. Glenngård AH, Persson U, Söderman C. Costs associated with blood transfusions in Sweden – the societal cost of autologous, allogeneic and perioperative RBC transfusion. *Transfusion Medicine*. 2005;15(4):295-306.
14. Cantor SB, Hudson DV Jr, Lichtiger B, Rubenstein EB. Costs of blood transfusion: a process-flow analysis. *Journal of Clinical Oncology*. 1998;16(7):2364-70.
15. Lubarsky DA, Hahn C, Bennett DH, Smith LR, Bredehoeft SJ, Klein HG, et al. The Hospital Cost (Fiscal Year 1991/1992) of a Simple Perioperative Allongeneic Red Blood Cell Transfusion During Elective Surgery at Duke University. *Anesthesia & Analgesia*. 1994;79(4):629-37.
16. Berger MD, Gerber B, Arn K, Senn O, Schanz U, Stussi G. Significant reduction of red blood cell transfusion requirements by changing from a double-unit to a single-unit transfusion policy in patients receiving intensive chemotherapy or stem cell transplantation. *Haematologica*. 2012;97(1):116-22.
17. Rajagopalan S, Mascha E, Na MSJ, Sessler Daniel I. The Effects of Mild Perioperative Hypothermia on Blood Loss and Transfusion Requirement. *Anesthesiology*. 2008;108(1):71-7.

18. Freedman J, Luke K, Escobar M, Vernich L, Chiavetta JA. Experience of a network of transfusion coordinators for blood conservation (Ontario Transfusion Coordinators [ONTraC]). *Transfusion*. 2008;48(2):237-50.
19. Helm RE, Rosengart TK, Gomez M, Klemperer JD, DeBois WJ, Velasco F, et al. Comprehensive Multimodality Blood Conservation: 100 Consecutive CABG Operations Without Transfusion. *The Annals of Thoracic Surgery*. 1998;65(1):125-36.
20. Gombotz H, Hofmann A. Patient Blood Management. *Der Anaesthetist*. 2013;62(7):519-27.
21. Kleinerüschkamp AG, Zacharowski K, Ettwein C, Müller MM, Geisen C, Weber CF, et al. Kostenanalyse eines Patient-Blood-Management-Konzepts. *Der Anaesthetist*. 2016;65(6):438-48.
22. Kotzé A, Carter LA, Scally AJ. Effect of a patient blood management programme on preoperative anaemia, transfusion rate, and outcome after primary hip or knee arthroplasty: a quality improvement cycle. *British Journal of Anaesthesia*. 2012;108(6):943-52.
23. von Heymann C, Krämer M. Kostenreduktion im Krankenhaus – Transfusionswesen: Kann die Behandlung der präoperativen Anämie Kosten reduzieren? *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*. 2011;46(10):648-53.
24. Welsby I, Crow J, Bandarenko N, Lappas G, Phillips-Bute B, Stafford-Smith M. A clinical prediction tool to estimate the number of units of red blood cells needed in primary elective coronary artery bypass surgery. *Transfusion*. 2010;50(11):2337-43.
25. Hayn D, Kreiner K, Ebner H, Kastner P, Breznik N, Rzepka A, et al. Development of Multivariable Models to Predict and Benchmark Transfusion in Elective Surgery Supporting Patient Blood Management. *Appl Clin Inform*. 2017;08(02):617-31.
26. Welsch A, Eitle V, Buxmann P. Maschinelles Lernen. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*. 2018;55(2):366-82.
27. Hess JR, Schmidt PJ. The first blood banker:Oswald Hope Robertson. *Transfusion*. 2000;40(1):110-3.
28. Boulton F, Roberts DJ. Blood transfusion at the time of the First World War – practice and promise at the birth of transfusion medicine. *Transfusion Medicine*. 2014;24(6):325-34.
29. Agote L. Nuevo procedimiento para la transfusion de la sangre. *An Inst Modelo Clin Méd (Buenos Aires)*. 1915:24-31. zitiert nach Mollison PL: The Introduction of citrate as an anticoagulant for transfusion and of glucose as a red cell preservative. *British Journal of Haematology*. 2000;108(1):13-8.
30. Hustin A. Principe d' une nouvelle méthode de transfusion muqueuse. *J Med de Bruxelles*. 1914;12:436-39. zitiert nach Mollison PL: The Introduction of citrate as an anticoagulant for transfusion and of glucose as a red cell preservative. *British Journal of Haematology*. 2000;108(1):13-8.
31. Lewisohn R. Blood transfusion by the citrate method. *The American Journal of Medicine*. 1952;13(5):550-5.
32. Weil R. Sodium citrate in the transfusion of blood. *Journal of the American Medical Association*. 1915;LXIV(5):425-6.
33. Wright AE. On a Method of Determining the Condition of Blood Coagulability for Clinical and Experimental Purposes, and on the Effect of the Administration of Calcium Salts in Hæmophilia and Actual or Threatened Hæmorrhage: [Preliminary Communication]. *British Medical Journal*. 1893;2(1700):223-5.
34. Rous P, Turner JR. The preservation of living Red Blood Cells in vitro: I. Methods of preservation. *The Journal of Experimental Medicine*. 1916;23(2):219-37.
35. Rous P, Turner JR. The preservation of living Red Blood Cells in vitro: II. The transfusion of kept cells. *The Journal of Experimental Medicine*. 1916;23(2):239-48.

36. Landsteiner K. Zur Kenntnis der antifermentativen, lytischen und agglutinierenden Wirkungen des Blutserums und der Lymphe. Zentralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde und Infektionskrankheiten. 1900;1(27):357-62. zitiert nach Benedum J: Geschichte der Bluttransfusion. In: Kiefel V, Mueller-Eckhardt C, editors. Transfusionsmedizin und Immunhämatologie: Grundlagen – Therapie – Methodik. 4th ed. Berlin: Springer; 2010. p. 3-15.
37. Benedum J. Geschichte der Bluttransfusion. In: Kiefel V, Mueller-Eckhardt C, editors. Transfusionsmedizin und Immunhämatologie: Grundlagen – Therapie – Methodik. 4th ed. Berlin: Springer; 2010. p. 3-15.
38. Crile GW. Hemorrhage and Transfusion: An Experimental and Clinical Research. 1st ed. New York London: Appleton; 1909.
39. Coca AF. Die Ursache des plötzlichen Todes bei intravenöser Injektion artfremder Blutkörper. Virchows Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und für klinische Medizin. 1909;196(1):92-107.
40. Epstein A, Ottenberg R. A simple method of performing serum reactions. Proc New York Pathol Soc. 1908(8):117-23.
41. Robertson OH. Transfusion with preserved red blood cells. British Medical Journal. 1918;1(2999):691-5.
42. 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). Transfusion Medicine and Hemotherapy. 2004;31(Suppl. 2):12-31.
43. Alexi-Meskishvili V, Konstantinov IE, Sergei S. Yudin: An untold story. Surgery. 2006;139(1):115-22.
44. Kilduffe RA, DeBakey M. The blood bank and the technique and therapeutics of transfusions 1st ed. St. Louis: Mosby; 1942.
45. Ramsey G, Schmidt PJ. Transfusion Medicine in Chicago, Before and After the "Blood Bank". Transfusion Medicine Reviews. 2009;23(4):310-21.
46. Schürch O, Willenegger H, Knoll H. Blutkonservierung und Transfusion von konserviertem Blut. 1st ed. Wien: Springer; 1942.
47. Paine RS. Berlin Blood Bank - First in Germany. Information bulletin Berlin: Office of Military Government for Germany; 1949. p. 13-4.
48. Weinstock C, Dinkelmann S, Northoff H. Blutersatzlösungen. In: Kiefel V, Mueller-Eckhardt C, editors. Transfusionsmedizin und Immunhämatologie: Grundlagen – Therapie – Methodik. 4th ed. Berlin: Springer; 2011. p. 499-507.
49. Betke K. Der Menschliche Rote Blutfarbstoff bei Fetus und Reifem Organismus: Eigenschaften, Differenzen und ihre Klinische Bedeutung. 1st ed. Berlin: Springer; 1954.
50. Baumann E, Kossel A. Zur Erinnerung an Felix Hoppe-Seyler. Zeitschrift für Physiologische Chemie. 1895-1896;21:108-69.
51. Perutz MF, Rossmann MG, Cullis AF, Muirhead H, Will G, North ACT. Structure of Hämoglobin: A Three-Dimensional Fourier Synthesis at 5.5-Å. Resolution, Obtained by X-Ray Analysis. Nature. 1960;185:416-22.
52. Hilger A, Heiden M, Seitz R. „Künstliches Blut“: Entwicklung von Blutersatzstoffen auf Hämoglobinbasis Hintergrund, Strategien und offene Fragen. Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz. 1999;42(2):113-7.
53. Remy B, Deby-Dupont G, Lamy M. Red blood cell substitutes: fluorocarbon emulsions and haemoglobin solutions. British Medical Bulletin. 1999;55(1):277-98.
54. Sellards AW, Minot GR. Injection of Hemoglobin in Man and its Relation to Blood Destruction, with especial reference to the Anemias. The Journal of Medical Research. 1916;34(3):469-94.

55. Amberson WR, Jennings JJ, Rhode CM. Clinical Experience with Hemoglobin-Saline Solutions. *Journal of Applied Physiology*. 1949;1(7):469-89.
56. Brandt JL, Frank NR, Lichtman HC. The Effects of Hemoglobin Solutions on Renal Functions in Man. *Blood*. 1951;6(11):1152-8.
57. Jones JA. Red blood cell substitutes: current status. *British Journal of Anaesthesia*. 1995;74(6):697-703.
58. Jahr JS, Nesargi SB, Lewis K, Johnson C. Blood Substitutes and Oxygen Therapeutics: An Overview and Current Status. *American Journal of Therapeutics* 2002;9(5):437-43.
59. Cohn SM. The Current Status of Haemoglobin-based Blood Substitutes. *Annals of Medicine*. 1997;29(5):371-6.
60. Rabiner SF, Helbert JR, Lopas H, Friedman LH. Evaluation of a stroma-free hemoglobin solution for use as a plasma expander. *The Journal of Experimental Medicine*. 1967;126(6):1127-42.
61. Savitsky JP, Doczi J, Black J, Arnold John D. A clinical safety trial of stroma-free hemoglobin. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*. 1978;23(1):73-80.
62. Habler O, Pape A, Meier J, Zwißler B. Künstliche Sauerstoffträger als Alternative zur Bluttransfusion. *Der Anaesthesist*. 2005;54(8):741-54.
63. Chang TMS. Modified Hemoglobin-based Blood Substitutes: Crosslinked, Recombinant and Encapsulated Hemoglobin. *Vox Sanguinis*. 1998;74(Suppl. 2):233-41.
64. Chen J-Y, Scerbo M, Kramer G. A review of blood substitutes: examining the history, clinical trial results, and ethics of hemoglobin-based oxygen carriers. *Clinics*. 2009;64(8):803-13.
65. Schubert A, Przybelski RJ, Eidt JF, Lasky LC, Marks KE, Karafa M, et al. Diaspirin-Crosslinked Hemoglobin Reduces Blood Transfusion in Noncardiac Surgery: A Multicenter, Randomized, Controlled, Double-Blinded Trial. *Anesthesia & Analgesia*. 2003;97(2):323-32.
66. Sloan EP, Koenigsberg M, Gens D, et al. Diaspirin cross-linked hemoglobin (dclhb) in the treatment of severe traumatic hemorrhagic shock: A randomized controlled efficacy trial. *JAMA*. 1999;282(19):1857-64.
67. Kerner T, Ahlers O, Veit S, Riou B, Saunders M, Pison U. DCL-Hb for trauma patients with severe hemorrhagic shock: the European "On-Scene" Multicenter Study. *Intensive Care Medicine*. 2003;29(3):378-85.
68. Mervyn M, Eric H, Lee W, Barry J, Lewis L, Jacques S, et al. Hemoglobin glutamer-250 (bovine) in South Africa: consensus usage guidelines from clinician experts who have treated patients. *Transfusion*. 2016;56(10):2631-6.
69. Moradi S, Jahanian-Najafabadi A, Roudkenar MH. Artificial Blood Substitutes: First Steps on the Long Route to Clinical Utility. *Clinical Medicine Insights: Blood Disorders*. 2016;9:33-41.
70. Biro GP. Perfluorocarbon-Based Red Blood Cell Substitutes. *Transfusion Medicine Reviews*. 1993;7(2):84-95.
71. Sarkar S. Artificial blood. *Indian Journal of Critical Care Medicine* 2008;12(3):140-4.
72. Clark LC, Gollan F. Survival of Mammals Breathing Organic Liquids Equilibrated with Oxygen at Atmospheric Pressure. *Science*. 1966;152(3730):1755-6.
73. Spence RK, Norcross ED, Costabile J, McCoy S, Cernaianu AC, Alexander JB, et al. Perfluorocarbons as Blood Substitutes: The Early Years: Experience with Fluosol DA-20% in the 1980s. *Artificial Cells, Blood Substitutes, and Biotechnology*. 1994;22(4):955-63.
74. Chang TMS. Red blood cell substitutes. *Best Practice & Research Clinical Haematology*. 2000;13(4):651-67.
75. Ferenz B. Künstliche Sauerstoffträger. *Hämotherapie*. 2015;(25):27-36.
76. Perftoran Blue Blood. Certificates and Licenses [cited 2018 Mai 25.]. Available from: <http://www.perftoran.ru/index.php/en/about-the-company/certificates-and-licenses>.

77. Maevsky E, Ivanitsky G, Bogdanova L, Axenova O, Karmen N, Zhiburt E, et al. Clinical Results of Perftoran Application: Present and Future. *Artificial Cells, Blood Substitutes & Biotechnology*. 2005;33(1):37-46.
78. Le Gall T, Polard V, Rousselot M, Lotte A, Raouane M, Lehn P, et al. In vivo biodistribution and oxygenation potential of a new generation of oxygen carrier. *Journal of Biotechnology*. 2014;187:1-9.
79. Tsai AG, Intaglietta M, Sakai H, Delpy E, Rochelle CDL, Rousselot M, et al. Microcirculation and NO-CO Studies of a Natural Extracellular Hemoglobin Developed for an Oxygen Therapeutic Carrier. *Current Drug Discovery Technologies*. 2012;9(3):166-72.
80. Hahn A. 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]. München: Ludwig-Maximilians-Universität; 2017.
81. Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI), Deutsche Gesellschaft für Innere Medizin (DGIM), Deutsche Gesellschaft für Chirurgie (DGCH) et al. Präoperative Evaluation erwachsener Patienten vor elektiven, nicht Herz-Thorax-chirurgischen Eingriffen. *Der Anaesthesist*. 2017;66(6):442-58.
82. Müller MJ, Westenhöfer J, Bosy-Westphal A, Löser C, Selberg O. Ernährungsmedizinische Untersuchungen. In: Müller MJ, editor. *Ernährungsmedizinische Praxis: Methoden — Prävention — Behandlung*. 2nd ed. Berlin: Springer; 2007. p. 1-196.
83. Theilmeyer G, Coldewey SM. Perioperatives Risiko. In: Kochs E, Adams HA, Spies C, editors. *Anästhesiologie*. 2nd ed. Stuttgart: Thieme; 2008. p. 570-9.
84. American Society of Anesthesiologists. ASA Physical Status Classification System 2014 [cited 2017 5 Nov]. Available from: <https://www.asahq.org/resources/clinical-information/asa-physical-status-classification-system>.
85. Eckstein PP. *Angewandte Statistik mit SPSS: Praktische Einführung für Wirtschaftswissenschaftler*. 8th ed. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; 2016.
86. Hatzinger R, Nagel H. *SPSS Statistics: Statistische Methoden und Fallbeispiele*. 1st ed. München: Pearson Studium; 2009.
87. Stoetzer M-W. *Regressionsanalyse in der empirischen Wirtschafts- und Sozialforschung Band 1: Eine nichtmathematische Einführung mit SPSS und Stata*. 1st ed. Berlin: Springer; 2017.
88. Fahrmeir L, Kneib T, Lang S. *Regression: Modelle, Methoden und Anwendungen*. 2nd ed. Berlin: Springer; 2009.
89. Schäfer T. *Statistik I: Deskriptive und Explorative Datenanalyse*. 1st ed. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften; 2010.
90. Sun J, Zhao X. *Statistical Analysis of Panel Count Data*. 1st ed. New York, NY: Springer 2013.
91. Cameron A, Trivedi P. *Regression Analysis of Count Data*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press; 2013.
92. Taghizadeh H. *Pocket Guide Anästhesie*. 1st ed. Berlin: Springer; 2017.
93. Krier DB, Richards FE. Transfusion-to-Cross-Match Community Comparison Data. *American Journal of Medical Quality*. 1996;11(2):68-72.
94. Frank SM, Oleyar MJ, Ness PM, Tobian AAR. Reducing Unnecessary Preoperative Blood Orders and Costs by Implementing an Updated Institution-specific Maximum Surgical Blood Order Schedule and a Remote Electronic Blood Release System. *Anesthesiology*. 2014;121(3):501-9.
95. Weigl A. Bestellpraxis von Blutprodukten. In: Gombotz H, Zacharowski K, Spahn DR, editors. *Patient Blood Management*. 1st ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2013. p. 85-92.

96. Halwachs-Baumann G. Hämatologische Labordiagnostik. In: Halwachs-Baumann G, editor. *Labormedizin: Klinik - Praxis - Fallbeispiele*. 2nd ed. Wien: Springer; 2011. p. 207-70.
97. Nuttall GA, Santrach PJ, Oliver WC, Ereth MH, Horlocker TT, Cabanela ME, et al. A prospective randomized trial of the surgical blood order equation for ordering red cells for total hip arthroplasty patients. *Transfusion*. 1998;38(9):828-33.
98. Hall TC, Pattenden C, Hollobone C, Pollard C, Dennison AR. Blood Transfusion Policies in Elective General Surgery: How to Optimise Cross-Match-to-Transfusion Ratios. *Transfusion Medicine and Hemotherapy*. 2013;40(1):27-31.
99. Woodrum CL, Wisniewski M, Triulzi DJ, Waters JH, Alarcon LH, Yazer MH. The effects of a data driven maximum surgical blood ordering schedule on preoperative blood ordering practices. *Hematology*. 2017;22(9):571-7.
100. Rogers BA, Johnstone DJ. Audit on the Efficient Use of Cross-Matched Blood in Elective Total Hip and Total Knee Replacement. *Annals of The Royal College of Surgeons of England*. 2006;88(2):199-201.
101. Richardson NG, Bradley WN, Donaldson DR, O'Shaughnessy DF. Maximum surgical blood ordering schedule in a district general hospital saves money and resources. *Annals of The Royal College of Surgeons of England*. 1998;80(4):262-5.
102. Mahar FK, Moiz B, Khurshid M, Chawla T. Implementation of Maximum Surgical Blood Ordering Schedule and an Improvement in Transfusion Practices of Surgeons subsequent to Intervention. *Indian Journal of Hematology & Blood Transfusion*. 2013;29(3):129-33.
103. Nuttall GA, Santrach PJ, Oliver WCJR, Ereth MH, Horlocker TT, Cabanela ME, et al. Possible Guidelines for Autologous Red Blood Cell Donations Before Total Hip Arthroplasty Based on the Surgical Blood Order Equation. *Mayo Clinic Proceedings*. 2000;75(1):10-7.
104. Subramanian A, Rangarajan K, Kumar S, Sharma V, Farooque K, Misra MC. Reviewing the blood ordering schedule for elective orthopedic surgeries at a level one trauma care center. *Journal of Emergencies, Trauma and Shock*. 2010;3(3):225-30.
105. Kajja I, Bimenya G. S., Eindhoven G. B., Jan ten Duis H., Sibinga C. T. S. Surgical blood order equation in femoral fracture surgery. *Transfusion Medicine*. 2011;21(1):7-12.
106. Lagerquist O, Poseluzny D, Werstiuk G, Slomp J, Maier M, Nahirniak S, et al. The cost of transfusing a unit of red blood cells: a costing model for Canadian hospital use. *ISBT Science Series*. 2017;12(3):375-80.
107. Al-Khabori M, Al-Riyami AZ, Mukaddirov M, Al-Sabti H. Transfusion indication predictive score: a proposed risk stratification score for perioperative red blood cell transfusion in cardiac surgery. *Vox Sanguinis*. 2014;107(3):269-75.
108. Rashed S, Shah M, Chow AK, O'Connor PJ, Finegan BA. Predicting Allogeneic Blood Transfusion Use in Total Joint Arthroplasty. *Anesthesia & Analgesia*. 2004;99(4):1239-44.

10. Vorabveröffentlichung

Teile der vorliegenden Arbeit wurden im Rahmen einer Postersitzung am 20.09.2018 auf der 51. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Transfusionsmedizin und Immunhämatologie e.V. in Lübeck präsentiert.

Die vorliegende Arbeit wurde in Auszügen im Journal „Transfusion Medicine and Hemotherapy“, Vol. 45, Suppl. 1, Seite 67, veröffentlicht.

11. Danksagung

Besonders danke ich Herrn Professor Dr. med. Markus Rehm für die Überlassung des Themas, seine umfassende Betreuung bei der Durchführung der Doktorarbeit, die zielführenden Ratschläge und für die Unterstützung bei meiner Promotionsvorprüfung.

Herrn Dr. med. Bernhard Pollwein, dem Mitbetreuer meiner Doktorarbeit, danke ich vor allem für seinen Einsatz bei der Implementierung des Algorithmus in die Abläufe des Klinikums Großhadern.

Herrn Professor Dr. med. Bernhard Zwißler danke ich für die Aufnahme in die Klinik für Anästhesiologie und die Möglichkeit die Dissertation an der Abteilung für Transfusionsmedizin, Zelltherapeutika und Hämostaseologie durchführen zu können.

Bei Herrn Dr. med. Sebastian Niedermayer bedanke ich mich für die Bereitstellung des Datensatzes, der der Doktorarbeit zu Grunde liegt. Seine Hinweise waren für das Verständnis der Daten eine große Hilfe.

Herrn Dr. med. Georg Wittmann möchte ich für seine stete Bereitschaft danken, mir das für die Bearbeitung dieser Dissertation nötige Wissen zur Transfusionsmedizin vermittelt zu haben.

Frau Dr. rer. nat. Ingrid Ricard danke ich für ihre Beratung bei statistischen Fragestellungen, ganz besonders in Bezug auf die Entwicklung eines Prognosealgorithmus.

Meinen Eltern und meinem Bruder danke ich für den großen Rückhalt während der gesamten Dissertationsphase.

12. Eidesstattliche Versicherung

Ich, Philipp Hamann, erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel

Weiterentwicklung und Validierung eines patienten- und operationsspezifischen Bestellalgorithmus für Erythrozytenkonzentrate

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, 02.05.2020

Ort, Datum

Philipp Hamann

Unterschrift Doktorand