

hämo**therapie**

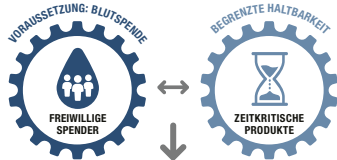
Fachmagazin der Transfusionsmedizin

TITELTHEMA

HLA-Diagnostik: Histokompatibilität und Immungenetik im klinischen Kontext

WEITERE THEMEN IN DIESER AUSGABE:

- Herausforderungen des demografischen Wandels für die EK-Versorgung des DRK-BSD West
- Die JUNIOR ACADEMY HEMOTHERAPY stellt sich vor
- NextGen Transfusion Medicine
- Das Blutspendewesen als Kritische Infrastruktur
- Musterschulungsvorlagen für Mitarbeitende, die am Transport von Blutprodukten beteiligt sind
- Kleine Erythrozyten sedimentieren anders



ANFORDERUNGEN

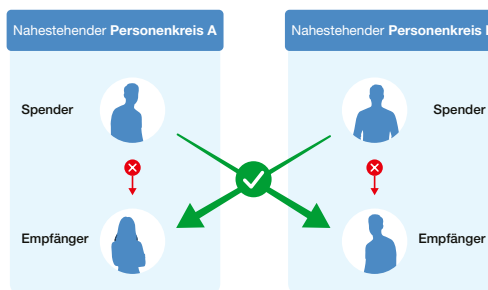


BLOOD SUPPLY CHAIN (BLUTVERSORGUNG)



33

Überkreuz-Lebendnierenspende



11



29

Anlage 1

Merkblatt Blut Ärzte

Verantwortlich: Ärztliche Blutdepot

Allgemeines

1. Blutprodukte (Erythrozyten, Thrombozyten, Plasmakonzentrate, FFP) sind Arzneimittel.
2. Blutprodukte sind **temperatur** empfindlich und können bei Wärmeverlust und können bei Wärmeverlust und können bei Wärmeverlust...
3. Erythrozytenkonzentrate (EK) sind Normalstationen für die Bluttransfusion. Ein EK bedeutet: potenziell schwere...
4. Im Stationsbereich können EK in der Transfusionszeit! Eine EK...
5. Gepoolte Thrombozytenkonzentrate (GTPK) überwachen Inkubatoren. Al...
6. Bei Ankunft auf Station / OP / Startfinden kann...
7. Plasmen (FFP / TP): Lagerung...
8. Lyophilisierte Plasmapräparate...
9. Die verschiedenen Blutproduk...
10. Blutprodukte dürfen nicht vor...

Spezielles

11. Blutprodukte sollen **ganz** trans...
12. Die generelle Lagerung darf a...
13. Die Ausgabe erfolgt **ganz** durch...
14. Holen Sie Blutprodukte **ganz** v...
15. Führen Sie nur direkte Transp...

In dieser Ausgabe

04 Editorial 47|2026

05 Herausforderungen des demografischen Wandels für die EK-Versorgung des DRK-BSW West

Jonathan Knieling, Priv.-Doz. Dr. med. Dr. phil. Lambros Kordelas

11 TITELTHEMA

HLA-Diagnostik:

Histokompatibilität und Immungenetik im klinischen Kontext

Dr. med. Anna-Lena Semmler, Dr. rer. nat. Corinna Opitz, Lenka Trojanova, Dr. med. Josephine Meininger, Prof. Dr. med. Christian Seidl

25 Die JUNIOR ACADEMY HEMOTHERAPY stellt sich vor

Prof. Dr. med. Markus W. Löffler

29 NextGen Transfusion Medicine

Dr. med. Lina Susana Silva Bermudez, Dr. med. univ. Emilie Han, Dr. med. Tobias Bexte

33 Das Blutspendewesen als Kritische Infrastruktur

Stefanie Popp, Denise Schuster, Prof. Dr. Peter Bradl MHMM

**Prof. Dr. med. Tamam Bakchoul**

Tagungspräsident

Optimale Therapie durch bessere Grundlagenkenntnisse

**Liebe Kolleginnen und Kollegen,
sehr geehrte Damen und Herren,**

die Transfusionsmedizin entwickelt sich mit großer Geschwindigkeit weiter. Neue diagnostische Möglichkeiten, innovative Präparate und zunehmend individualisierte Therapiestrategien eröffnen neue Perspektiven; stellen uns gleichzeitig aber auch vor immer komplexere klinische und wissenschaftliche Fragestellungen.

Unter dem Motto „Optimale Therapie durch bessere Grundlagenkenntnisse“ möchten wir die diesjährige Jahrestagung der DGTI nutzen, um die Brücke von den molekularen und zellulären Grundlagen hin zur modernen Patientenversorgung zu schlagen. Das wissenschaftliche Programm vereint aktuelle Entwicklungen aus Immunhämatologie, Transplantationsimmunologie, Zelltherapie und Hämostaseologie und verbindet dabei Grundlagenforschung mit praxisrelevanten klinischen Fragestellungen.

Der Austausch zwischen erfahrenen Expertinnen und Experten und dem wissenschaftlichen Nachwuchs ist uns hierbei ein besonderes Anliegen. Nationale und internationale Referierende werden aktuelle Erkenntnisse präsentieren und zur gemeinsamen Diskussion einladen. Auch über die Vortragsräume hinaus schaffen Meet-the-Expert-Formate Gelegenheit für den direkten und persönlichen Austausch. Darüber hinaus bietet die Early Career Lounge den Treffpunkt für alle, die ihre Zukunft in der Transfusionsmedizin gestalten möchten. So möchten wir nicht nur Wissen vermitteln, sondern auch persönliche Begegnungen, neue wissenschaftliche Kooperationen sowie die Vernetzung und Weiterentwicklung des transfusionsmedizinischen Nachwuchses fördern.

Ein besonderes Highlight wird unser Neighbour Day sein. Gemeinsam mit unseren französischen Kolleginnen und Kollegen möchten wir an diesem Tag Grenzen bewusst in den Hintergrund treten lassen und den europäischen wissenschaftlichen Austausch in den Mittelpunkt stellen. „Merci beaucoup et Bienvenue à Stuttgart“ an unsere Gäste aus Frankreich. Wir freuen uns sehr auf ihre Expertise, ihre Perspektiven und die gemeinsamen Diskussionen.

Auch jenseits des wissenschaftlichen Programms soll die Jahrestagung Gelegenheit bieten, miteinander ins Gespräch zu kommen, bestehende Netzwerke zu vertiefen und neue Verbindungen zwischen Klinik, Forschung und Industrie zu schaffen.

In diesem Sinne heißen wir Sie herzlich zur DGTI-Jahrestagung 2026 in Stuttgart/Tübingen willkommen. Wir wünschen Ihnen einen spannenden Kongress mit neuen Erkenntnissen, inspirierenden Begegnungen und nachhaltigen Impulsen; und zunächst viel Freude beim Lesen dieser Ausgabe.

Auf ein Wiedersehen im September bei der DGTI-Jahrestagung im LÄNDle!

Prof. Dr. med. Tamam Bakchoul
Tagungspräsident

Dr. med. Stefanie Nowak-Harnau
Prof. Dr. med. Karina Althaus
Dr. med. Günel Uzun
Kongresssekretariat

Jonathan Knieling, Priv.-Doz. Dr. med. Dr. phil. Lambros Kordelas

Herausforderungen des demografischen Wandels für die EK-Versorgung des DRK-BSD West

ZUSAMMENFASSUNG Der demografische Wandel stellt den DRK-Blutspendedienst West vor wachsende Herausforderungen: Obwohl das Alterslimit aufgehoben wurde, scheiden viele regelmäßige Spender altersbedingt aus, während durch die demografische Alterung der Bevölkerung der Bedarf an Erythrozytenkonzentraten (EK) steigt. Eine Ist-Analyse (2010–2024) zeigt rückläufige Spenderzahlen, sinkende Spendertreue und ein steigendes Durchschnittsalter der Spender. Szenario-Berechnungen verdeutlichen, dass ohne Gegenmaßnahmen bis 2035 bis zu 97.000 erscheinene Vollblutspender fehlen könnten. Eine moderate Steigerung der Spende-Frequenz sowie gezielte Erstspendergewinnung – u. a. durch Pop-up-Blutspenden – könnten die Versorgung sichern.

SUMMARY The German Red Cross Blood Donation Service West is facing growing challenges due to demographic changes: Although the age limit has been lifted, many regular donors are unable to donate due to age, while the demand for red blood cell concentrates (RBCs) is increasing due to the demographic aging of the population. An analysis of current trends (2010–2024) shows declining donor numbers, decreasing donor retention, and a rising average age of donors. Scenario projections indicate that, without countermeasures, there could be a shortage of up to 97,000 whole blood donors by 2035. Moderate increases in donation frequency and targeted recruitment of first-time donors – including through pop-up blood drives – could secure the blood supply.

Einleitung

Blutspendedienste stehen vor wachsenden Herausforderungen, ausreichend Vollblutspenden zu gewinnen. Der demografische Wandel verschärft die Lage: In den kommenden Jahren scheiden zahlreiche Spender der geburtenstarken Jahrgänge altersbedingt aus – während dieselbe Bevölkerungsgruppe zunehmend selbst zu Empfängern von Blutpräparaten wird. Hinzu kommt eine geringere Spendenbereitschaft in urbanen Regionen.

Beim DRK-Blutspendedienst West (BSD West) – zuständig für die Bundesländer Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und das Saarland – ist diese Entwicklung bereits spürbar. Das Durchschnittsalter der Spender steigt kontinuierlich, junge Spender zwischen 18 und 24 Jahren

sind deutlich rückläufig. Temporär sowie bei seltenen Blutgruppen übersteigt die Nachfrage nach Erythrozytenkonzentraten (EK) bereits heute das Angebot.

Vor diesem Hintergrund untersucht dieser Beitrag – basierend auf einer Masterarbeit im Studiengang Gesundheitsökonomie – die zukünftige Entwicklung des Vollblutspenderaufkommens beim DRK-BSD West. Im Mittelpunkt stehen zwei Fragen:

1. Welche Szenarien in Bezug auf eine Erhöhung der Frequenz der bestehenden Vollblutspender des DRK-BSD West sind möglich, um weiterhin den Versorgungsauftrag erfüllen zu können?
2. Wie würden sich die Frequenzen ändern, wenn zusätzlich die Anzahl von Neuspendern erhöht werden könnte?

Zudem werden Handlungsempfehlungen für die langfristige Versorgungssicherheit im Versorgungsgebiet des DRK-BSD West abgeleitet.

Hintergrund

DRK-BSD West und Transfusionsmedizin

Der DRK-BSD West – einer von vier DRK-Blutspendediensten in Deutschland – versorgt die Bundesländer Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und das Saarland. Er wurde 1951 gegründet und sichert täglich bis zu 3.500 freiwillige, unentgeltliche Vollblutspenden auf rund 50 Terminen. Aus einer Vollblutspende werden im ersten Schritt EK, Thrombozytenkonzentrate (TK) und Blutplasma hergestellt. EK haben bei 4 °C eine Haltbarkeit von 42 Tagen¹, TK bei Raumtemperatur lediglich fünf Tage² – eine kontinuierliche Spendergewinnung ist daher unerlässlich.

Blutpräparate werden vor allem bei Krebs-, Herz- sowie Magen- und Darmerkrankungen benötigt. Motivationsgründe für Vollblutspender können beispielweise eine gute Erreichbarkeit der Blutspende, eine intrinsische Motivation, moralische Werte, Aufrufe der Blutspende-Organisation, Altruismus, Wohltätigkeit, eine kostfreie Blutuntersuchung oder sozialer Druck sein. Desinteresse an der Blutspende, Zeitmangel, Unwissenheit, fehlende Werbung, Ängste oder negative Erfahrungen können als Hemmnisse wirken^{3,4}.

Demografischer Wandel

Der demografische Wandel verschärft die Versorgungslage erheblich. Im Versorgungsgebiet des DRK-BSD West lag im Jahr 2023 der Anteil der über 65-Jährigen im Saarland bereits bei 25,1 % und in Rheinland-Pfalz bei 22,8 % – beide über dem Bundesdurchschnitt von 22,3 %. Lediglich in einem Bundesland des Versorgungsgebietes des DRK-BSD West – in Nordrhein-Westfalen (NRW) – lag er mit 21,7 % unter dem Bundesdurchschnitt⁵. Das Verhältnis der 18- bis 64-Jährigen zu den über 64-Jährigen wird im Versorgungsgebiet bis 2035 je nach Bevölkerungsprognose von derzeit rund 3,6 auf 2,7 bis 3,0 sinken – und damit insgesamt auch stärker als im Bundesdurchschnitt (3,1 bis 3,3)⁶. Das Versorgungsgebiet des DRK-BSD West ist dem demografischen Wandel in Deutschland insgesamt somit voraus.

Nationale und internationale Entwicklung

Bedingt durch das Patient Blood Management (PBM) in Kliniken sowie die Konsolidierung der Krankenhauslandschaft (Rückgang von 2.242 auf 1.874 Krankenhäuser zwischen 2000 und 2023) war der EK-Bedarf in Deutschland bis etwa 2020 rückläufig⁷. Bedingt durch die sinkende Nachfrage sank auch die Zahl der Vollblutspenden in Deutschland von 4,9 Millionen im Jahr 2011 auf 3,6 Millionen im Jahr 2022. Der EK-Bedarf in Deutschland hat sich seit den Jahren 2020/2021 zwischen 3,5 und 3,6 Millionen stabilisiert⁸. Dies spricht dafür, dass das Einspar-Potenzial durch PBM inzwischen ausgeschöpft ist.

Sinkende Spenderzahlen sind kein deutsches Phänomen: So sanken die Vollblutspenden z.B. in Griechenland von 2018 auf 2019 um rund 20 % und in Polen um rund 11 % von 2019 auf 2020. Dennoch konnte in rund der Hälfte der europäischen Länder die Spenderzahl zwischen 2022 und 2023 gesteigert werden⁹.

Auch in Bezug auf die Anzahl an transfundierten EK je 1.000 Einwohnern gibt es deutliche Unterschiede in Europa. So wurden im Jahr 2023 in Italien und Kroatien mit jeweils rund 40 EK je 1.000 Einwohnern die höchste Anzahl von EK transfundiert. Deutschland lag mit rund 32 EK je 1.000 Einwohnern im europäischen Mittelfeld. In den Niederlanden (rund 21 EK je 1.000 Einwohnern) und Portugal (rund 16 EK je 1.000 Einwohnern) war die Anzahl transfundierter EK am niedrigsten¹⁰.

Greinacher et al. (2017) sowie die European Blood Alliance (2024) bestätigen eine Korrelation zwischen demografischer Alterung und steigendem EK-Bedarf (transfundierte EK je 1.000 Einwohnern steigen mit einem höheren Bevölkerungsanteil von Menschen über 65 Jahren) – was mittelfristig zu Versorgungsengpässen führen kann.

Methodik

Die Literaturrecherche erfolgte über einschlägige Datenbanken (u.a. PubMed, Cochrane) sowie interne Quellen des DRK-BSD West im Zeitraum Dezember 2024 bis März 2025. Die Suchbegriffe umfassten deutsche und englische Begriffe rund um Demografie, Vollblutspende und EK-Bedarf.

Grundlage der Ist-Analyse sind interne Spender- und Ab-

¹ (vgl. Richtlinie Hämotherapie, 2017)

² fünf Tage inklusive Entnahmetag, (vgl. Marini et al., 2019)

³ (vgl. Bednall; Bove, 2011)

⁴ (vgl. Greffin et al., 2021)

⁵ (vgl. Statistisches Bundesamt, 2024)

⁶ (vgl. Statistisches Bundesamt, 2025)

⁷ (vgl. Schönborn et al., 2021)

⁸ (vgl. Paul-Ehrlich-Institut, 2023)

⁹ (vgl. European Blood Alliance, 2024)

¹⁰ (vgl. European Blood Alliance, 2025)

satzdaten des DRK-BSD West für den Zeitraum 2010 bis 2024. Bezugsjahr für die Szenario-Berechnungen ist das Jahr 2024, in dem 647.000 EK abgesetzt wurden. Für die Prognose der Spenderentwicklung bis 2035 wurden fünf Bevölkerungsszenarien des Statistischen Bundesamts herangezogen, die sich in Geburtenrate, Lebenserwartung und Wanderungssaldo unterscheiden.

Die Berechnungen wurden mit einem eigens entwickelten Excel-Tool durchgeführt und anhand von drei Hypothesen strukturiert. Medizinische Veränderungen des EK-Bedarfs (z. B. neue Behandlungsmethoden) wurden dabei nicht berücksichtigt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ist-Analyse zeigt, dass der DRK-BSD West zwischen 2010 und 2024 einen deutlichen Rückgang aktiver Spender von 471.000 auf 361.000 verzeichnete. Das Durchschnittsalter der punktierten Spender stieg um 3,6 Jahre auf 45,6 Jahre, der Anteil der unter 30-Jährigen sank von 26,1 % auf 19,9 %. Gleichzeitig sind negative Trends bei Spender-treue, der Spende-Frequenz und der durchschnittlich erschienenen Vollblutspender je Termin festzustellen.

Als Trend lässt sich festhalten, dass die Spendehäufigkeit beim DRK-BSD West mit zunehmendem Alter (bis etwa

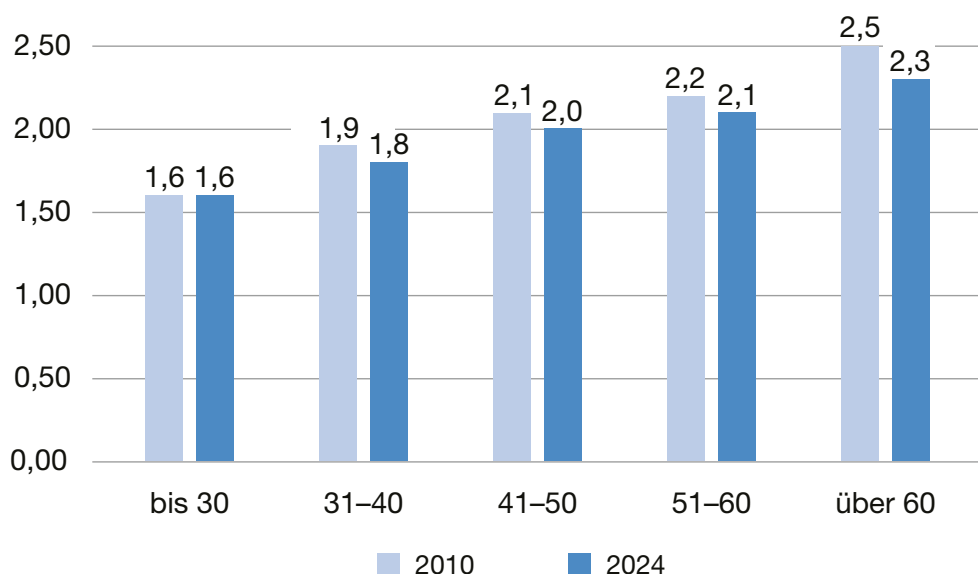


Abbildung 1: Spende-Frequenzen nach Altersgruppen in den Jahren 2010 und 2024 (eigene Darstellung auf Basis der Spenderdaten des DRK-BSD West)

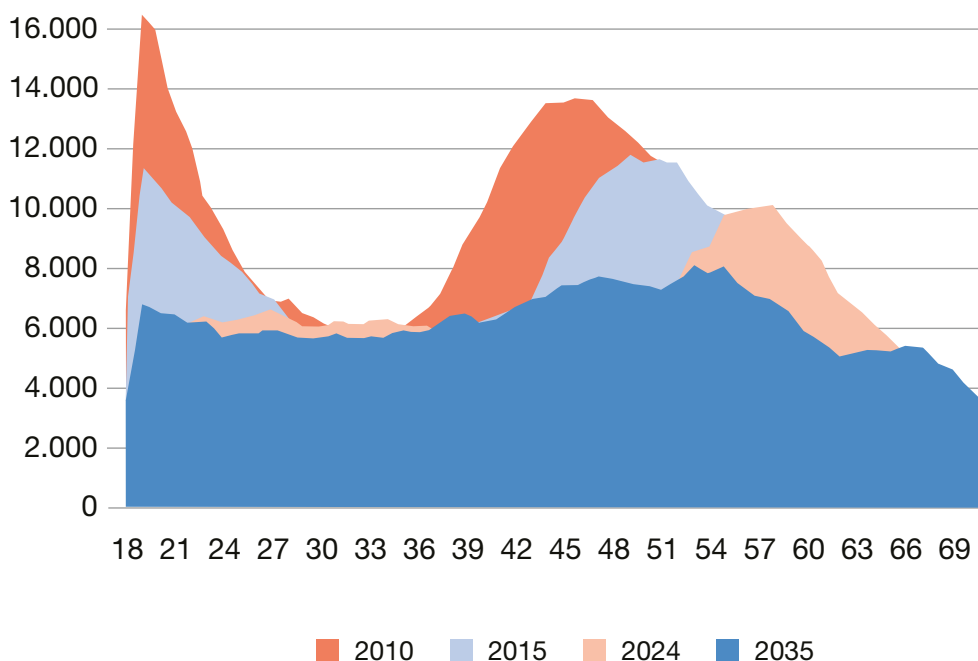


Abbildung 2: Alter der aktiven Spender am 31.12. der Jahre 2010, 2015, 2024 sowie 2035 (2035 Prognose auf Basis der aktiven Spender (Bezugsjahr 2024) und Bevölkerungsentwicklung V3) (eigene Darstellung in Anlehnung an Küpper et al., 2023; Statistisches Bundesamt, 2025 sowie auf Basis der Daten des DRK-BSD West)

	2010	2015	2024	2035 V1	2035 V2	2035 V3	2035 V4	2035 V5
Aktive Spender	471.668	386.431	360.976	336.046	342.556	348.862	336.460	348.441
Aktive Spender bis 30 Jahre	129.155	102.233	77.925	72.277	74.517	76.697	72.281	76.680
Aktive Spender 31 bis 65 Jahre	317.322	259.028	250.668	224.272	228.571	232.736	224.477	232.538
Aktive Spender über 65 Jahre	25.191	25.170	32.383	39.497	39.468	39.429	39.702	39.223
Anteil aktive Spender bis 30 Jahre	27,4 %	26,5 %	21,6 %	21,5 %	21,8 %	22,0 %	21,5 %	22,0 %
Anteil aktive Spender 31 bis 65 Jahre	67,3 %	67,0 %	69,4 %	66,7 %	66,7 %	66,7 %	66,7 %	66,7 %
Anteil aktive Spender über 65 Jahre	5,3 %	6,5 %	9,0 %	11,8 %	11,5 %	11,3 %	11,8 %	11,3 %
Vollblutpunktionen	941.724	755.608	703.236	655.276	666.814	677.959	656.210	677.018
Durchschnittsalter der Vollblutpunktionen	42,0	43,6	45,6	45,6	45,4	45,2	45,6	45,2

Tabelle 1: Übersicht über die Entwicklung der aktiven Spender, Vollblutpunktionen und Durchschnittsalter in den Jahren 2010, 2015 und 2024 sowie der Szenario-Berechnungen (Varianten 1 bis 5) für das Jahr 2035
(eigene Darstellung in Anlehnung an Statistisches Bundesamt, 2025 sowie auf Basis der Daten des DRK-BSD West)

70 Jahre) ebenfalls zunimmt. So spendet ein 20-Jähriger etwa 1,5-mal pro Jahr, während ein 70-Jähriger mit einer Spende-Frequenz von 2,5 pro Jahr deutlich häufiger spendet. Dies zeigt die folgende Abbildung der Spende-Frequenzen nach Altersgruppen in den Jahren 2010 und 2024.

Je nach Variante der Bevölkerungsentwicklung könnte sich das Alter der aktiven Spender am 31.12. des jeweiligen Jahres bis zum Jahr 2035 wie in **Abbildung 2** verschieben.

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die Entwicklung der aktiven Spender, Vollblutpunktionen und Durchschnittsalter in den Jahren 2010, 2015 und 2024 sowie der Szenario-Berechnungen (Varianten 1 bis 5) für das Jahr 2035.

Die Anzahl aktiver Spender beim DRK-BSD West ist von rund 472.000 im Jahr 2010 auf rund 386.000 im Jahr 2015 und rund 361.000 im Jahr 2024 gesunken. Dies entspricht einem Rückgang von rund 111.000 aktiven Spender bzw. einem Anteil von rund 24 %. Der Anteil der aktiven Spender bis 30 Jahre ist dabei von 27,4 % auf 21,6 % (von rund 129.000 zu rund 78.000) gesunken, während der Anteil der aktiven Spender über 65 Jahren von 5,3 % auf 9,0 % (von rund 25.000 auf rund 32.000) gestiegen ist. Selbst bei Ansatz einer optimistischen Bevölkerungsentwicklung

reduziert sich die Anzahl der aktiven Spender bis zum Jahr 2035 weiter auf rund 349.000. Der Anteil der aktiven Spender bis 30 Jahre steigt bis zum Jahr 2035 voraussichtlich wieder leicht auf 22,0 % (rund 76.000) an, während der Anteil der aktiven Spender über 65 Jahren auf 11,3 % (rund 39.000) ansteigt. Das Durchschnittsalter ist zwischen den Jahren 2010 und 2024 von 42,0 Jahren um 3,6 Jahre auf 45,6 Jahre gestiegen. Bis zum Jahr 2035 wird es voraussichtlich wieder leicht auf 45,2 Jahre sinken. Der EK-Absatz hat sich nach Jahren des Rückgangs in den Jahren 2024 und 2025 bei rund 640.000 EKs stabilisiert – ein Indiz dafür, dass das Absenkungs-Potenzial durch PBM weitgehend ausgeschöpft ist.

Anhand der Szenario-Berechnungen konnte verdeutlicht werden: Ohne Gegensteuern könnten je nach Bevölkerungsentwicklung bereits zwischen 2029 und 2032 nicht mehr ausreichend Vollblutspenden für einen gleichbleibenden EK-Bedarf gewonnen werden. Im Jahr 2035 könnten bis zu 33.000 erscheinene Vollblutspender fehlen. Bei einem gestiegenen Absatz von 0,5 % jährlich auf dann 5,5 % im Jahr 2035 im Vergleich zum Basisjahr 2024 würde sich das Defizit an erschienenen Vollblutspendern auf bis zu 76.000 erhöhen.

Bezüglich der Vollblutspenden lagen dem Verfasser für diese Arbeit ausreichend spezifische Daten, wie das Alter oder die Spende-Frequenz von aktiven Vollblutspendern, vor. Für die Anzahl von transfundierten EKs gilt dies dagegen nicht, was bereits Fiedler et al. (2024) und Schönborn et al. (2021) beklagt haben. Als Grundlage für die Szenario-Berechnungen ausgehend von den transfundierten EKs wurden in der vorliegenden Arbeit daher anhand der Daten aus zwei Studien (Erfassung transfundierter EK nach Altersgruppen in Mecklenburg-Vorpommern im Jahr 2015 einerseits und im Saarland im Jahr 2017 andererseits) von Eichler et al. (2021) Annahmen getroffen und diese zugrunde gelegt. Hier konnte gezeigt werden, dass von einer Steigerung des EK-Bedarfs zwischen 6,0 % und 8,2 % im Jahr 2035 auszugehen sein könnte. Ohne Frequenz- und Neuspendersteigerungen könnten dadurch im Jahr 2035 bis zu 97.000 erscheinene Vollblutspender im Versorgungsgebiet des DRK-BSD West fehlen.

Abbildung 3 zeigt eine Übersicht über das Delta der erschienenen Vollblutspender bei einem zum Referenzjahr 2024 gleichbleibenden, um 5,5 % gesteigerten Absatz (Annahme einer Hypothese in der Arbeit) und einem um

8,2 % gesteigerten Absatz (Annahme eines steigenden EK-Bedarfs mit zunehmendem Alter auf Basis der Studien in Mecklenburg-Vorpommern und im Saarland) im Jahr 2035.

Handlungsempfehlungen

Die Herausforderungen werden nicht durch eine einzelne Maßnahme lösbar sein. Erforderlich ist ein Maßnahmenmix, der insbesondere folgende Schwerpunkte umfasst: Steigerung der Spende-Frequenz durch gezielte Spenderverbindungsstrategien und ein positives Spende-Erlebnis; Gewinnung junger Erstspender in urbanen Regionen durch den weiteren Ausbau der Pop-up-Blutspenden; Reaktivierung inaktiver Spender als ressourcenschonende Alternative zur Neurekrutierung; Optimierung der Terminstruktur zur Steigerung der Produktivität; Ansprache jüngerer Zielgruppen über Social-Media sowie Informationsveranstaltungen an Schulen. Ergänzend wird eine zentrale Erfassung transfundierter EK nach Alter und Geschlecht empfohlen, um zukünftige Bedarfsprognosen zu schärfen.

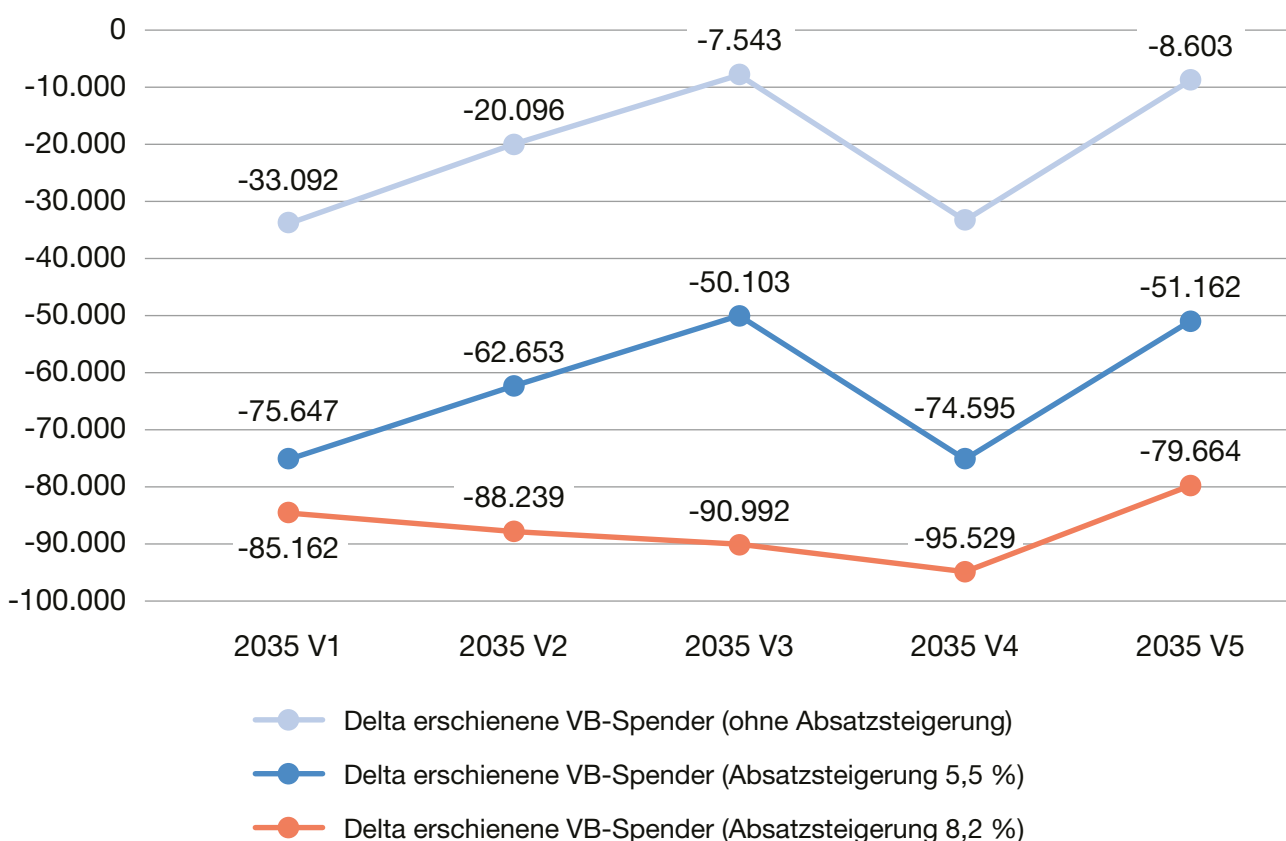


Abbildung 3: Übersicht über das Delta der erschienenen Vollblutspender bei einem gleichbleibenden, um 5,5 bzw. um 8,2 % gesteigerten Absatz im Jahr 2035 (und der fünf Varianten einer Bevölkerungsberechnung)
(eigene Darstellung in Anlehnung an Eichler et al., 2021; Statistisches Bundesamt, 2025 sowie auf Basis der Daten des DRK-BSD West)

Fazit und Ausblick

Der DRK-BSD West steht vor einer doppelten Herausforderung: Altersbedingt ausscheidende Spender müssen kompensiert werden, während der EK-Bedarf durch die alternde Bevölkerung voraussichtlich wieder ansteigt. Die Ist-Analyse zeigt negative Trends bei Spendertreue, Spende-Frequenz und Terminproduktivität, denen aktiv entgegengewirkt werden muss.

Die Szenario-Berechnungen verdeutlichen, dass ohne Gegenmaßnahmen im Jahr 2035 ein Defizit von bis zu 33.000 VB-Spendern bei gleichbleibendem Absatz – und bis zu 76.000 VB-Spendern bei einem um 5,5 % gestiegenen Absatz bzw. bis zu 97.000 VB-Spendern bei einem um 8,2 % gestiegenen Absatz – entstehen könnte. Gleichzeitig zeigen die Berechnungen, dass moderatere Frequenzsteigerungen als ursprünglich angenommen ausreichen würden: Eine Spende-Frequenz auf 2,25 Spenden je Spender bis 2035 wäre für einen um 5,5 % gestiegenen Absatz auskömmlich, wenngleich diese dennoch herausfordernd für den DRK-BSD West sein werden, da sich diese insgesamt leicht über dem Niveau vergangener Jahre bewegen und lediglich bei älteren (über 60-Jährigen) Vollblutspendern

erreicht wurden. Erhöhungen von Neuspender sind ergänzend sinnvoll und wichtig, um nachhaltig Spender zu sichern und sie zu binden, machen absolut allerdings keinen hohen Anteil aus, sodass z. B. 1,0 % Neuspender-Erhöhung jährlich zwischen den Jahren 2025 und 2029 von aktuell ca. 9 % bis auf 13,8 % keine wesentlichen Auswirkungen auf die Frequenzen haben. Zudem bleibt die Frage, ob es im Zusammenhang mit begrenzten Ressourcen eventuell zu einem geringeren Anstieg des EK-Verbrauchs kommen wird, da die Krankenkassen beispielsweise bestimmte Leistungen aus ihrem Leistungskatalog streichen.

Für zukünftige Prognosen wäre eine verbesserte Datenlage zum EK-Bedarf wünschenswert. Da Alter und Geschlecht der Transfusionsempfänger bislang nicht zentral erfasst werden, mussten für die vorliegende Arbeit Annahmen auf Basis zweier Regionalstudien getroffen werden. Eine zentrale Erfassung dieser Daten sowie die systematische Untersuchung medizinischer Einflussfaktoren auf den EK-Bedarf wären wichtige nächste Schritte, um die Versorgungsplanung der Blutspendedienste langfristig auf eine belastbarere Grundlage zu stellen. ■

Die Autoren



Jonathan Knieling

Leiter Zentralbereich Controlling

DRK-Blutspendedienst West gemeinnützige GmbH

j.knieling@bsdwest.de



Priv.-Doz. Dr. med. Dr. phil. Lambros Kordelas

Ärztlicher Geschäftsführer

DRK-Blutspendedienst West gemeinnützige GmbH

l.kordelas@bsdwest.de



Hilfreiche Downloads und weitere Informationen zu diesem Beitrag finden Sie in der hämo-App, z. B.

-  Literaturhinweise
-  Weitere Beiträge zu diesem Thema
-  Weitere Infos zu den Autoren



Direkt zum Beitrag:

[www.drk-haemotherapie.de/
beitraege/47-versorgung](http://www.drk-haemotherapie.de/beitraege/47-versorgung)

Dr. med. Anna-Lena Semmler, Dr. rer. nat. Corinna Opitz, Lenka Trojanova, Dr. med. Josephine Meininger,
Prof. Dr. med. Christian Seidl

HLA-Diagnostik: Histokompatibilität und Immungenetik im klinischen Kontext

ZUSAMMENFASSUNG HLA-Diagnostik ist ein essentieller Bestandteil der modernen Transplantations- und Transfusionsmedizin. Der Artikel erläutert die Bedeutung und die aktuellen Entwicklungen in der HLA-Typisierung und HLA-Antikörperdiagnostik für die Organ- und Stammzelltransplantationen. Weitere Themen sind die Rolle von HLA-Laboren bei der Versorgung von Patienten mit immunologisch bedingter Thrombozytenrefraktärität und der Diagnostik HLA-assoziiierter Erkrankungen sowie pharmakogenetischen Fragestellungen. Moderne Sequenzierverfahren, erweiterte Antikörpertests und molekulares Matching erweitern die diagnostischen Möglichkeiten und erhöhen zugleich die Anforderungen an Qualitätssicherung und fachkundige Interpretation.

SUMMARY HLA testing is an essential component of modern transplantation and transfusion medicine. This article reviews the significance and current developments in HLA typing and antibody diagnostics for organ and stem cell transplants. Other topics include the role of HLA laboratories in patient care with immunologically mediated thrombocytopenia, the diagnosis of HLA-associated diseases, and pharmacogenetic issues. Modern sequencing methods, sensitive antibody tests, and molecular matching expand diagnostic capabilities while simultaneously raising the bar for quality assurance and expert interpretation.

Einleitung – Was ist HLA?

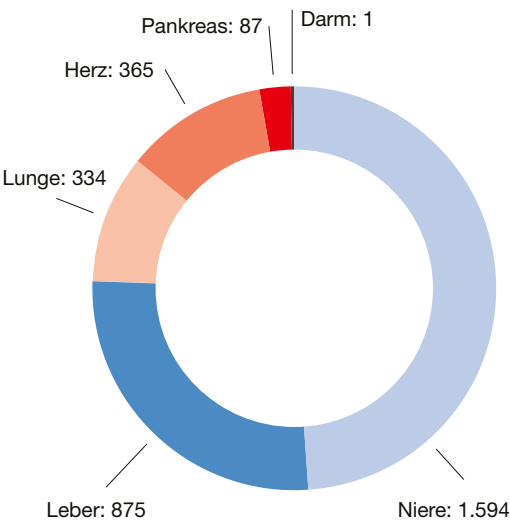
Die humanen Leukozyten-Antigene (HLA) sind hochpolymorphe Zelloberflächenproteine. Sie bilden den humanen MHC (Major Histocompatibility Complex) und sind zentral für die adaptive Immunantwort. Nahezu alle kernhaltigen Zellen präsentieren endogene Peptide auf HLA-Klasse-I-Molekülen, während professionelle antigenpräsentierende Zellen wie Makrophagen exogene Antigene auf HLA-Klasse-II-Molekülen präsentieren. Über diese Antigenpräsentation steuern HLA-Moleküle wesentlich die T-Zell-vermittelte Immunantwort.

Die HLA-Diagnostik stellt einen essentiellen Bestandteil der modernen Transplantationsmedizin dar, der Grad

der HLA-Übereinstimmung (Matching) zwischen Spender und Empfänger beeinflusst maßgeblich das Risiko einer Transplantatabstoßung, das Langzeitüberleben des Transplantats und somit die Auswahl geeigneter Spender. Insbesondere die Einführung und kontinuierliche Weiterentwicklung molekularbiologischer Typisierungsverfahren hat wesentlich zur Sicherheit und zum Erfolg hämatopoetischer Stammzelltransplantationen und solider Organtransplantationen beigetragen.

Die klinische Relevanz der HLA-Diagnostik zeigt sich an der Zahl der Transplantationen: in Deutschland werden jährlich jeweils über 3.000 postmortale Organtransplantationen und allogene Stammzelltransplantationen von verwandten und unverwandten Spendern durchgeführt (**Abbildung 1**). Organisatorisch sind dabei unter anderem

3.256 transplantierte Organe nach postmortaler Organspende in Deutschland 2025



Allogene Stammzelltransplantationen

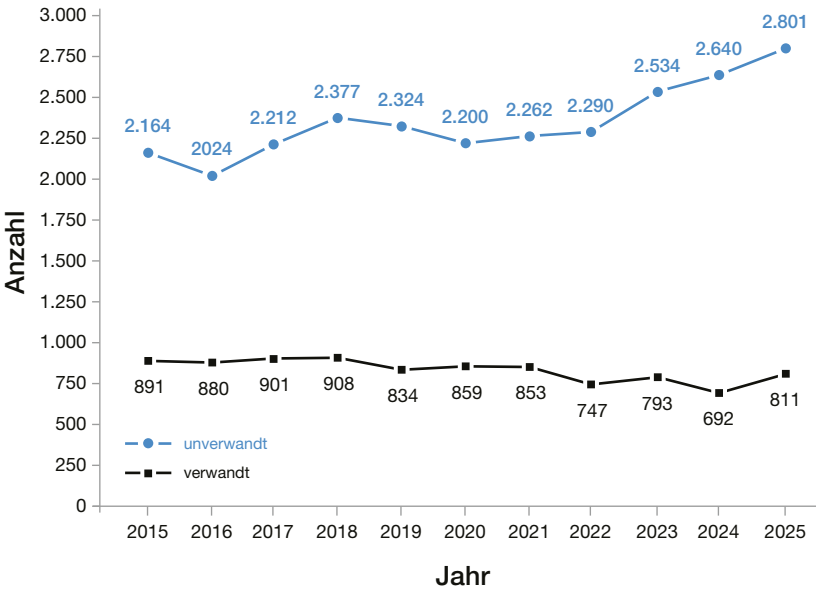
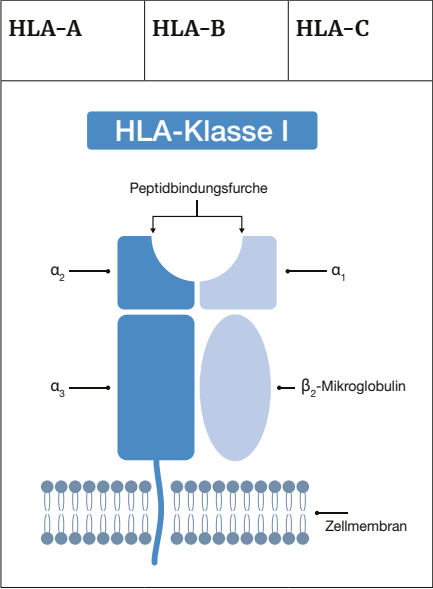


Abbildung 1: Transplantationen in Deutschland

Abbildung adaptiert nach: Jahresbericht Organspende und Transplantation in Deutschland 2025, dso.de und Jahresbericht des Deutschen Registers für hämatopoetische Stammzelltransplantation und Zelltherapie 2025.

Klasse I



Klasse II

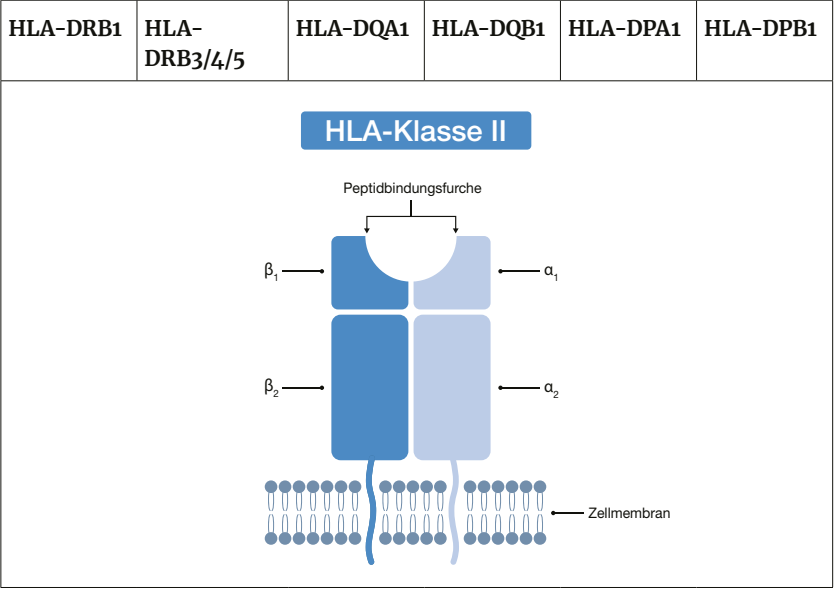
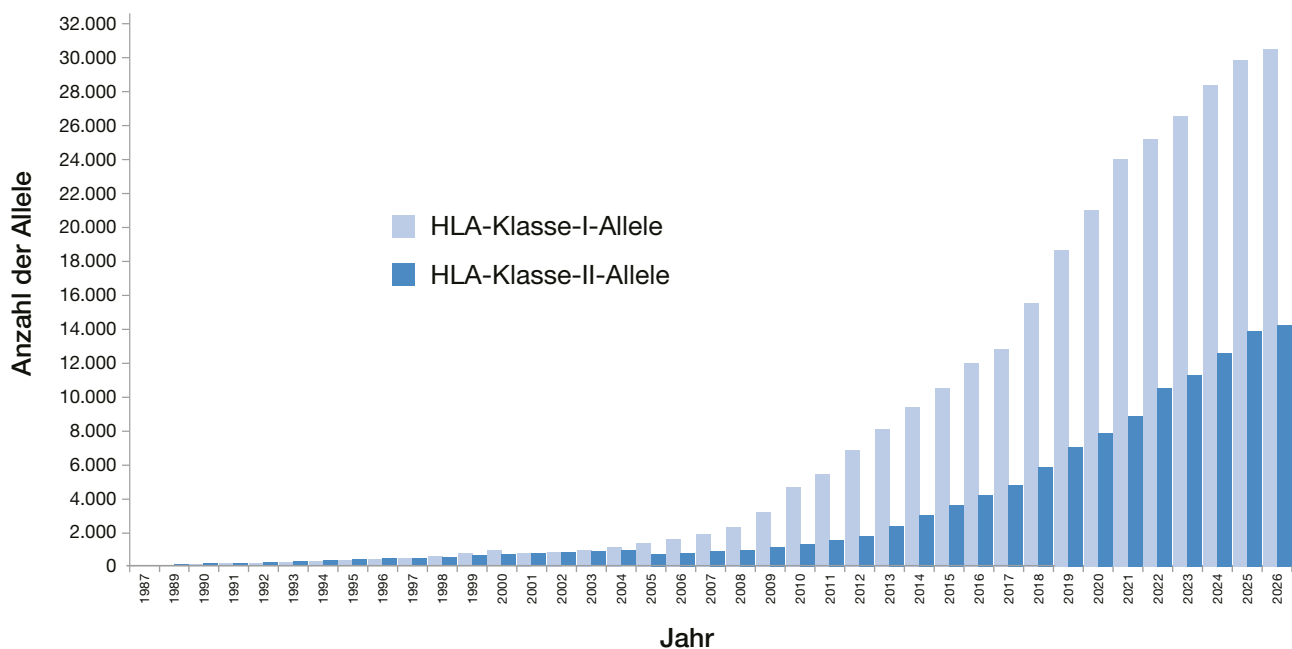


Tabelle 1: Transplantationsrelevante HLA-Loci

Übersicht der im transplantationsmedizinischen Kontext relevanten HLA-Loci. Klasse-I-Merkmale umfassen HLA-A, -B und -C. Zu den Klasse-II-Merkmalen zählen HLA-DRB1, die mit bestimmten DRB1-Allelen assoziierten Loci HLA-DRB3/4/5 sowie die alpha- und beta-Ketten der HLA-DQ- und HLA-DP-Heterodimere. Abbildung adaptiert nach STEMCELL Technologies Inc. 2022.

2A



2B

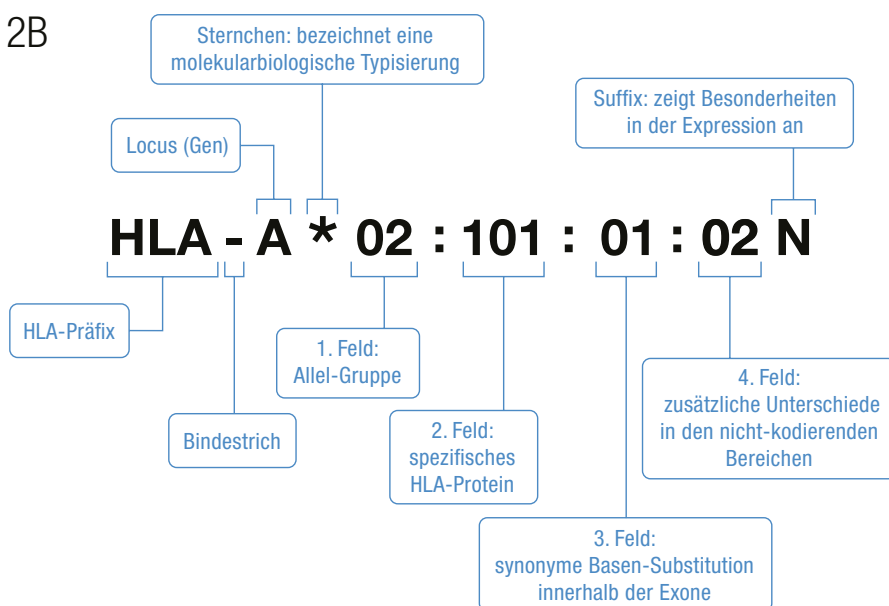


Abbildung 2: Komplexität der HLA-Allele

2A) Entwicklung der in der IPD-IMGT/HLA-Datenbank dokumentierten HLA-Allele. Der kontinuierliche Anstieg der Allelzahl veranschaulicht den hohen Polymorphismus des HLA-Systems und erklärt den Bedarf an standardisierter Nomenklatur.

2B) standardisierte HLA-Nomenklatur. Abbildungen adaptiert nach:

<https://hla.alleles.org/pages/about/> und https://hla.alleles.org/pages/nomenclature/naming_alleles/

die Deutsche Stiftung Organtransplantation (DSO), Eurotransplant, Stammzellspenderdateien, wie die DSSD, und das ZKRD wichtige Partner. HLA-Labore stehen mit diesen Partnern in enger Verbindung. Sie bestimmen HLA-Merkmale von Empfängern und Spendern, erfassen den Immunisierungsstatus und liefern damit die Grundlage für Organallokation (Zuteilung eines verfügbaren Spenderorgans an einen geeigneten Empfänger), Stammzellspendersuche und immunologische Risikobewertung.

Im transplantationsmedizinischen Kontext werden heute bis zu elf HLA-Loci berücksichtigt (**Tabelle 1**). Die HLA-Gene zählen zu den polymorphsten Genen des menschlichen Genoms; bislang wurden mehr als 45.000 verschiedene Allele identifiziert (**Abbildung 2A**). Diese außergewöhnliche genetische Diversität stellt einen wesentlichen immunologischen Vorteil dar, da sie die Präsentation eines breiten Spektrums unterschiedlicher Peptide und damit eine effektive Immunantwort gegen vielfältige Pathogene

ermöglicht, zugleich jedoch die HLA-Diagnostik erheblich komplexer macht.

Eine standardisierte WHO-Nomenklatur (IPD-IMGT/HLA-Datenbank) ermöglicht die eindeutige und hierarchisch strukturierte Bezeichnung von HLA-Allelen und gewährleistet damit auch bei hoher genetischer Komplexität eine konsistente und international anwendbare Klassifikation; aufgrund der kontinuierlich wachsenden Zahl neu identifizierter Allele wird die Nomenklatur quartalsweise aktualisiert^{1,2}.

Die einzelnen Felder beschreiben unterschiedliche Ebenen der genetischen Variation (**Abbildung 2B**):

2-Feld-Typisierung: das erste Feld bezeichnet die Allelgruppe, das zweite Feld unterscheidet Allele anhand von Unterschieden, die zu einer veränderten Aminosäuresequenz des HLA-Proteins führen; z. B. HLA-A*02:01.

3-Feld-Typisierung: das dritte Feld unterscheidet Allele mit synonymen Nukleotidunterschieden innerhalb der kodierenden Sequenz. Diese verändern die Aminosäuresequenz des HLA-Proteins nicht; z. B. HLA-A*02:01:01 vs. A*02:01:02.

4-Feld-Typisierung: maximale Auflösung, d. h. dafür muss das gesamte Gen bekannt sein, es werden auch Unterschiede in den Introns erfasst; z. B. HLA-A*02:01:01:01 vs. A*02:01:01:03.

Nullallel (N): Das Suffix N kennzeichnet ein Allel, bei dem kein HLA-Protein auf der Zelloberfläche exprimiert wird, z. B. HLA-A*02:43N. Dieses Allel gehört zu keiner P-Gruppe, da kein Protein vorhanden ist, aber es gehört zur A*02:01:01G-Gruppe aufgrund der im Genom vorhandenen Exon 2- und 3-Sequenz.

HLA-G- und P-Gruppen ermöglichen die Zusammenfassung verschiedener HLA-Allele anhand identischer Sequenzmerkmale in der Peptidbindungsregion:

G-Gruppe: fasst HLA-Allele zusammen, die in den für die Peptidbindungsregion kodierenden Exonen (Exon 2 und 3 bei Klasse I bzw. Exon 2 bei Klasse II) dieselbe Nukleotidsequenz besitzen, z. B. HLA-A*02:01:01G vs. A*02:01:02G.

P-Gruppe: fasst HLA-Allele zusammen, die in der Peptidbindungsregion dieselbe Aminosäuresequenz aufweisen, z. B. HLA-A*02:01:01G und A*02:01:02G gehören beide zur P-Gruppe A*02:01P.

Im HLA-System werden eng benachbarte HLA-Allele auf

einem Chromosom gemeinsam als Haplotyp vererbt, da zwischen den HLA-Loci ein ausgeprägtes Kopplungsungleichgewicht besteht und Rekombinationsereignisse innerhalb der HLA-Region relativ selten sind. Geschwister haben daher eine Wahrscheinlichkeit von 25 % HLA-identisch zu sein³.

HLA-Diagnostik für solide Organtransplantationen

Organtransplantationen in Deutschland erfolgen im Eurotransplant-Netzwerk; die DSO organisiert die postmortale Organspende national. Einige HLA-Labore übernehmen als DSO-Regionallabore die 24/7-Diagnostik und typisieren Organspender innerhalb weniger Stunden, damit die Organallokation zeitgerecht erfolgen kann. Die Grundsätze zur Wartelistenführung und Allokation unterscheiden sich je nach Organ und sind in den Richtlinien der Bundesärztekammer sowie im Eurotransplant-Manual geregelt. Dieser Artikel legt seinen Schwerpunkt auf die Nierentransplantation^{4,5}.

Nierentransplantation – HLA-Diagnostik und aktuelle Strategien

Für Patienten mit einer terminalen Niereninsuffizienz ist die Nierentransplantation die Therapie der Wahl. Die Transplantation ermöglicht gegenüber der dauerhaften Dialyse in der Regel eine höhere Lebenserwartung und eine deutlich bessere Lebensqualität⁶. Für die Aufnahme auf die Eurotransplant-Warteliste erfolgen HLA-Typisierung und HLA-Antikörperdiagnostik.

Immunisierungsereignisse wie Schwangerschaften, Transfusionen oder frühere Transplantationen können durch den Kontakt mit alloogenen HLA-Merkmalen zur Bildung von HLA-Antikörpern führen. Richten sich diese Antikörper gegen HLA-Merkmale eines früheren oder potentiellen Spenders, werden sie als donor-spezifische Antikörper (DSA) bezeichnet. Klinisch relevante HLA-Antikörperspezifitäten werden als nicht akzeptable HLA-Antigene (NAHA; Unacceptable Antigens) hinterlegt und bilden die Grundlage für die Berechnung der virtuellen Panelreaktivität (vPRA) durch Eurotransplant. Ein hoher vPRA weist auf einen hohen Sensibilisierungsgrad und damit auf einen eingeschränkten Pool immunologisch geeigneter Spender hin. HLA-Antikörperstatus und NAHAs werden durch das zuständige HLA-Labor regelmäßig, in der Regel quartalsweise, reevaluiert.

Für hochimmunisierte Patienten, also Patienten mit ei-

Gemessene
MFI-Werte

HLA-Antigene
auf den Beads

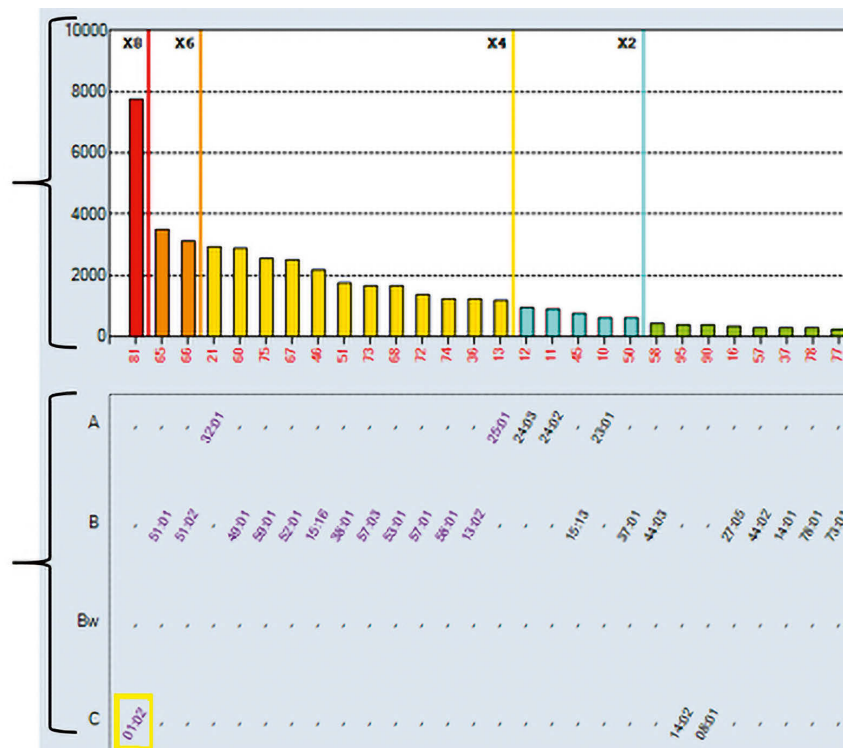


Abbildung 3: Auswertung einer HLA-Antikörperdifferenzierung

Auswertung der HLA-Antikörperdifferenzierung mittels Single-Antigen-Bead Assay für die Klasse I. Im oberen Teil sind die gemessenen MFI-Werte der einzelnen Beads dargestellt. Jeder Bead trägt ein definiertes HLA-Antigen, das im unteren Teil entsprechend den jeweiligen HLA-Loci zugeordnet ist. Eine erhöhte Fluoreszenz weist auf die Bindung spezifischer HLA-Antikörper im Patientenserum hin. Der höchste MFI-Wert ist dem HLA-C*01:02-Antigen zuzuordnen (gelb umrandet). Da dieses HLA-Merkmal auch vom Spender einer vorangegangenen Transplantation exprimiert wird, werden die entsprechenden Antikörper als DSA klassifiziert.

nem sehr hohen vPRA-Wert, wurde zusätzlich das Eurotransplant Acceptable Mismatch (AM)-Programm etabliert. Im Gegensatz zur ausschließlichen Definition von NAHAs werden hierbei akzeptable HLA-Merkmale definiert, gegen die nachweislich keine Antikörper bestehen. Diese akzeptablen HLA-Antigene werden virtuell zum eigenen HLA-Muster des Patienten hinzugefügt und erweitern den potentiellen Spenderpool erheblich. Damit verbessern sie die Transplantationschancen hochsensibilisierter Patienten, ohne das Risiko einer antikörpervermittelten Abstoßung wesentlich zu erhöhen⁷.

Methoden zur Detektion von HLA-Antikörpern

Die HLA-Antikörperdiagnostik umfasst verschiedene serologische Verfahren zum Nachweis und zur Differenzierung von HLA-Antikörpern, insbesondere Festphasenassays sowie zellbasierte Verfahren. Die Routinediagnostik

erfolgt heute standardmäßig mittels Mikrobead-basierter Festphasenmethoden (Antigen-Bead-Assays) auf der Luminex-Plattform, die sowohl für das Screening als auch zur differenzierten Bestimmung der HLA-Antikörperspezifitäten eingesetzt werden (Single-Antigen-Beads, SAB). HLA-Antikörper im Patientenserum binden an fluoreszenzkodierte Beads mit definierten HLA-Antigenen und werden anhand der semiquantitativen mittleren Fluoreszenzintensität (MFI) ausgewertet (**Abbildung 3**). Eine weitere Möglichkeit sind Chip Arrays, bei denen die verschiedenen HLA-Antigene auf einer Membran immobilisiert sind. Der klassische Lymphozytotoxizitätstest (LCT; complement-dependent cytotoxicity, CDC) weist komplementaktivierende zytotoxische Antikörper durch Lyse von Testlymphozyten nach. Aufgrund des hohen methodischen und personellen Aufwands sowie der begrenzten Sensitivität und Differenzierungsmöglichkeiten hat der LCT an Bedeutung verloren. Bei Bedarf kann die Risikobewertung durch komplementbindende Luminex-

basierte Tests wie C1q- oder C3d-Assays ergänzt werden. Diese erfassen zwar nicht den funktionellen Endpunkt der komplementvermittelten Zellyse, der Verzicht auf den arbeits- und zellintensiven LCT ist jedoch aus diagnostischer und labororganisatorischer Sicht sinnvoll.

Der Nachweis und die differenzierte Bewertung von HLA-Antikörpern sind zentrale Bestandteile der immunologischen Risikostratifizierung vor und nach Nierentransplantation. MFI-Werte aus SAB-Assays sind semiquantitative Messgrößen und können durch präanalytische und analytische Faktoren beeinflusst werden. Sie sollten daher nicht isoliert oder anhand starrer Grenzwerte interpretiert werden. Die Bewertung erfolgt im immunologischen Gesamtkontext unter Berücksichtigung von Antikörperspezifität, Reaktionsmustern und -stärke sowie vorausgegangenen Immunisierungsereignissen. DSAs werden durch Abgleich mit den HLA-Merkmalen des aktuellen oder eines früheren Organspenders identifiziert.

HLA-Antikörper erkennen nicht ausschließlich einzelne HLA-Allele, sondern können gegen strukturelle Epitope gerichtet sein, die von mehreren HLA-Allelen eines oder mehrerer Loci gemeinsam getragen werden. Eine Möglichkeit zur Beschreibung solcher Bindungsmotive ist das Eplet-Konzept⁸. Eplets repräsentieren definierte Aminosäurekonfigurationen auf der Oberfläche von HLA-Proteinen, die Bestandteil eines Antikörperepitops sind. Vor diesem Hintergrund wird diskutiert, ob ein molekulares HLA-Matching, beispielsweise auf Basis der Eplet-Mismatches, die immunologische Kompatibilität zwischen Spender und Empfänger differenzierter erfassen und zur Reduktion des Risikos einer de novo-DSA-Bildung beitragen kann⁹.

Postmortale Nierentransplantation

Bevor ein Organangebot einen Patienten auf der Warteliste erreicht, erfolgt im Rahmen der Allokation durch Eurotransplant seit 2023 ein virtuelles Crossmatch. Hierbei werden die HLA-Merkmale des Spenders und das aktuelle Antikörperprofil des Empfängers, i.S. der hinterlegten NAHAs, elektronisch abgeglichen. Dieses Verfahren ermöglicht insbesondere bei postmortalen Organangeboten eine schnelle und sichere immunologische Beurteilung und verkürzt die Ischämiezeit der Spenderorgane erheblich¹⁰.

Unmittelbar vor einer Nierentransplantation erfolgt zusätzlich, bis auf wenige Ausnahmen bei nicht-immunisierten Empfängern, ein serologisches Crossmatch. Dafür wird das Serum des potentiellen Empfängers gegen Spenderlymphozyten getestet. Aktuell ist hier durch die Richt-

linie der Bundesärztekammer zum Empfängerschutz das klassische komplementabhängige LCT-Crossmatch vorgeschrieben. Ergänzend wird heute manchmal ein sensitives Flowzytometrie-Crossmatch durchgeführt, das nicht nur die komplementaktivierenden HLA-Antikörper nachweist und bereits in vielen anderen Ländern üblich ist¹¹.

Lebendnierenspende

Bei der Lebendnierenspende kommen bislang Angehörige oder dem Patienten nahestehende Personen als Spender in Betracht. Liegen DSA vor, kann eine direkte Transplantation häufig nicht erfolgen. In diesen Fällen stellt die Überkreuzspende (Kidney Paired Donation) eine neue, durch einen Änderungsentwurf des Transplantationsgesetzes seit 01.06.2026 geregelte Alternative dar. Dabei werden zwei oder mehrere inkompatible Spender-Empfänger-Paare so kombiniert, dass jeweils eine immunologisch kompatible Transplantation möglich wird (**Abbildung 4**). Bis die Regelungen umgesetzt werden können, dauert es allerdings voraussichtlich noch bis Mitte 2029¹².

Eine ABO-Inkompatibilität stellt keine Kontraindikation für eine Lebendnierenspende mehr da. Durch eine Desensibilisierung via Immunadsorption und Medikamente zur Unterdrückung der Antikörperproduktion (z.B. Rituximab) wird die Blutgruppenbarriere überbrückt. Die Langzeitergebnisse sind mittlerweile mit denen kompatibler Transplantationen vergleichbar¹³.

Monitoring nach Nierentransplantation

Trotz erheblicher Fortschritte in der immunsuppressiven Therapie bleibt die antikörpervermittelte Abstoßung (antibody mediated rejection, ABMR) eine der häufigsten Ursachen für eine eingeschränkte Transplantatfunktion und den Verlust des Grafts¹⁴. Die Diagnose erfolgt entsprechend der aktuellen Banff-Klassifikation und basiert auf drei Säulen: charakteristische histopathologische Veränderungen der Nierenbiopsie, dem Nachweis einer Antikörper-vermittelten Endothelschädigung (z.B. C4d-Positivität oder molekulare Marker) sowie dem Nachweis zirkulierender DSA im HLA-Labor¹⁵.

Seit einigen Jahren ist die Messung zellfreier donor-spezifischer DNA (donor derived cell free DNA, dd-cfDNA) eine nicht-invasive Möglichkeit die Integrität des Grafts zu überwachen. Der Anstieg der dd-cfDNA Fraktion kann auf Zelltod im Transplantat hindeuten, ohne jedoch spezifisch für eine Abstoßung zu sein. Die Messungen erfolgen über Droplet digital PCR (ddPCR) oder Next-Generation-Sequencing (NGS)¹⁶.

Überkreuz-Lebendnierenspende

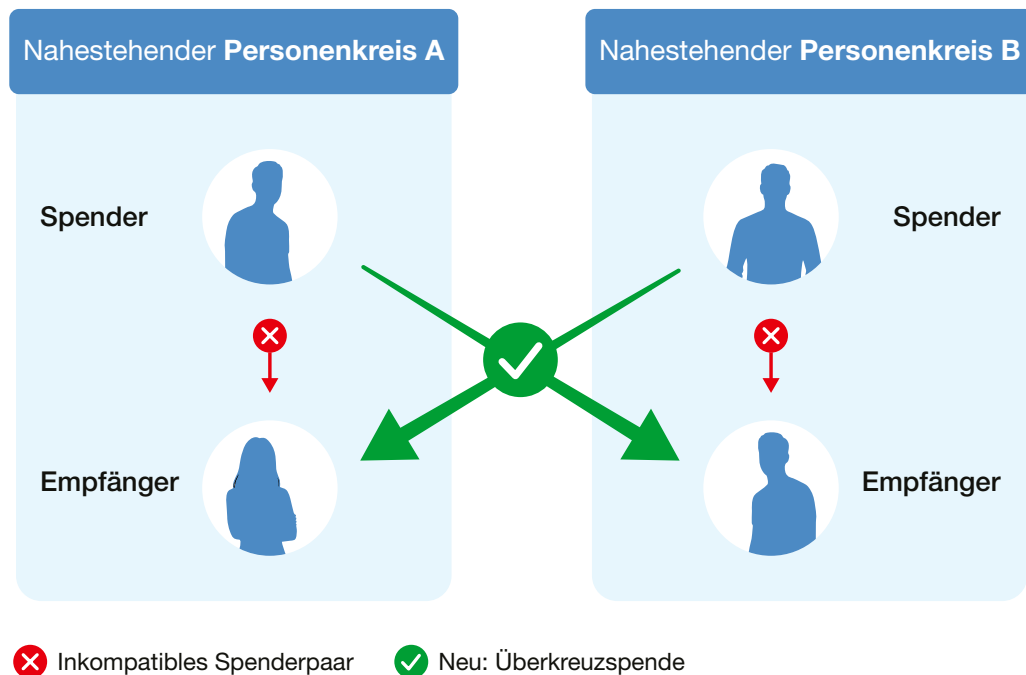


Abbildung 4: Prinzip der Überkreuz-Lebendnierenspende

Schematische Darstellung einer Überkreuz-Lebendnierenspende. Zwei oder mehrere immunologisch inkompatible Spender-Empfänger-Paare werden so kombiniert, dass jeweils eine kompatible Transplantation möglich wird. Abbildung adaptiert nach: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/ueberkreuz-lebendnierenspende-2387750>.

Zusammenfassend bildet die moderne HLA-Diagnostik die Grundlage für die immunologische Risikobewertung bei der Nierentransplantation. In Verbindung mit den Strategien von Eurotransplant – einschließlich der Definition von NAHAs, der Berechnung des vPRA sowie des AM-Programms – können auch hochimmunisierte Patienten erfolgreich transplantiert werden.

HLA-Diagnostik für Stammzelltransplantationen

Die allogene hämatopoetische Stammzelltransplantation ist für viele maligne und nicht-maligne hämatologische Erkrankungen, Immundefekte und Stoffwechselerkrankungen eine potentiell kurative Therapie. Aus immunogenetischer Sicht steht dabei die Frage im Mittelpunkt, wie kompatibel Patient und Spender hinsichtlich ihrer HLA-Merkmale sind. Durch Mismatch(es) entstehende Alloreaktivität ist einerseits erwünscht, wenn sie als Graft-versus-Leukemia-Effekt (GvL) zur Kontrolle einer malignen Grunderkrankung beiträgt. Andererseits kann sie zu einer

Graft-versus-Host-Disease (GvHD) und transplantationsassoziierten Morbidität und Mortalität führen. Die HLA-Diagnostik vor Stammzelltransplantation hat daher eine zentrale Schnittstellenfunktion zwischen Labor, Spenderdatei und klinischer Entscheidungsfindung.

Ziel der HLA-Diagnostik vor Transplantation

Idealerweise erfolgt die HLA-Typisierung eines Patienten bereits dann, wenn eine allogene Transplantation als realistische Therapieoption absehbar ist. Dadurch kann parallel zur klinischen Therapieplanung eine Spendersuche innerhalb der Familie und, falls erforderlich, eine Fremdspendersuche eingeleitet werden¹⁷.

Für Fremdspender wird in europäischen Zentren ein sogenanntes 10/10 Match für die Loci HLA-A, -B, -C, -DRB1 und -DQB1 angestrebt. Optimal ist eine erweiterte Typisierung von elf Loci, einschließlich HLA-DQA1, -DPA1, -DPB1 sowie -DRB3/4/5. Dies ist besonders relevant, wenn DSA eine Rolle spielen könnten¹⁸.

Auflösung der HLA-Typisierung mit Beispiel	Methode	Anwendungsbeispiele und Beschreibung
Serologisch B27	LCT	Krankheitsassoziationen Wenn nur das Vorhandensein eines Allels entscheidend ist.
Niedrigauflösend B*27	z. B. SSO, SSP	Patienten und Spender bei Thrombozytenrefraktärität, Krankheitsassoziationen, potentielle Familienspender Ergebnis einer DNA-basierten Methode, die keine weitere Auflösung bietet. Seltene Ambiguitäten sind nicht ausgeschlossen und sind im Labor einsehbar.
Intermediäre Auflösung HLA-A*02:01 NMDP/MAC: A*02:HBMC entspricht A*02:01/A*02:11/ A*02:34/A*02:69	z. B. RT-PCR, SSO	Retypisierungen für Stammzelltransplantationen, postmortale Organspender Ergebnis einer DNA-basierten Methode. Das wahrscheinlichste zweite Feld wird angegeben. Seltene Ambiguitäten sind nicht ausgeschlossen und sind im Labor einsehbar. Umfasst die Verwendung von NMDP/MAC-Codes, die für mehrere Ambiguitäten kodieren.
Hochauflösend A*02:01:01:01 Optionen für Angabe in Befunden: A*02:01 A*02:01P A*02:01:01G	Massive Parallele Sequenzierung (NGS/TGS)	Stammzelltransplantation, Patienten vor Nierentransplantation, Lebendnierenspender Ergebnis einer DNA-Sequenzierung Auflösung bis max. 4 Felder möglich Auch seltene Allele werden ausgeschlossen oder angegeben.

Tabelle 2: Methoden der HLA-Typisierung

Darstellung unterschiedlicher Auflösungsstufen der HLA-Typisierung mit beispielhafter Schreibweise, typischen Methoden und klinischer Anwendung.

Methodik der HLA-Typisierung

Historisch wurden HLA-Merkmale serologisch mittels LCT bestimmt. Dabei werden zu typisierende Lymphozyten mit HLA-Antikörpern bekannter Spezifität inkubiert. Der Vorteil dieser Methode ist der Nachweis tatsächlich exprimierter HLA-Proteine, beispielsweise bei Verdacht auf Nullallele. Wegen begrenzter Auflösung, Kreuzreaktivitäten und des Bedarfs an vitalen Zellen spielt die Serologie in der modernen HLA-Typisierung jedoch nur noch eine ergänzende Rolle.

DNA-basierte Methoden sind standardisierbar und nicht auf vitale Lymphozyten angewiesen. Die PCR-basierten Methoden (z. B. SSP, SSO oder RT-PCR) werden weiterhin für niedrig- bis intermediärauflösende Fragestellungen, wie Bestätigungstypisierungen und Krankheitsassoziationen eingesetzt. Die SSP ist beispielsweise sehr zuverlässig, aber bei konventioneller Durchführung arbeits-

intensiv und im Durchsatz begrenzt. RT-PCR-Verfahren verkürzen die Bearbeitungszeit, weshalb sie besonders bei zeitkritischen Anforderungen verwendet werden, z. B. bei der Typisierung postmortalen Organspender¹⁹.

Für die Patiententypisierung vor Organtransplantationen und für die Spenderauswahl bei der allogenen Stammzelltransplantation ist jedoch eine hochauflösende, möglichst ambiguitätsarme Typisierung anzustreben. Dies ist wichtig, weil bereits kleine Sequenzunterschiede in den HLA-Proteinen die T-Zell-Erkennung und damit das Risiko für immunologische Komplikationen wie Graft-versus-Host-Disease oder Transplantatversagen beeinflussen können. Heute wird die hochauflösende HLA-Typisierung mittels Massiven Parallelen Sequenzierungstechniken durchgeführt, v. a. mit NGS. Der Arbeitsablauf umfasst in der Regel die Amplifikation der Zielregionen oder, seit einiger Zeit auch eine Anreicherung mittels Capture-Verfahren, die Library-Präparation mit Adapter- und Index-Sequenzen, die

Sequenzierung und anschließend die bioinformatische Auswertung. Moderne Protokolle erfassen meist alle elf transplantationsrelevanten Loci (**Tabelle 1**). Seit einiger Zeit gewinnen auch Long-Read- beziehungsweise Third-Generation-Sequencing (TGS) Verfahren, zum Beispiel mit Nanopore-Technologien an Bedeutung (**Abbildung 5**). Sie können deutlich längere DNA-Sequenzen erfassen und dadurch ganze Gene oder große Genabschnitte in einem Read abbilden. Dies erleichtert das sog. Phasing, also die Zuordnung heterozygoter Varianten zu demselben Allel, und reduziert Ambiguitäten. Die Nanopore-Technologie hat dabei das Potenzial, eine schnelle und hochauflösende Typisierung von postmortalen Organspendern zu ermöglichen^{20, 21}.

Zur HLA-Typisierung gehört immer eine kritische Sequenzanalyse. Die Auswertesoftware gleicht die gewonnenen Sequenzdaten mit der jeweils aktuellen IPD-IMGT/HLA-Datenbank ab und berechnet die am besten passenden Allele. Zusätzliche Qualitätsparameter wie Lesetiefe, Mappability, Allel-Balance und Hintergrundrauschen müssen geprüft werden. Moderne HLA-Typisierung verbindet daher molekularbiologische Präzision, Hochdurchsatztechnologie und fachkundige immungenetische Interpretation. Die technische Methode muss dabei zur klinischen Fragestellung passen.

Bewertung der Stammzell-Spenderkompatibilität

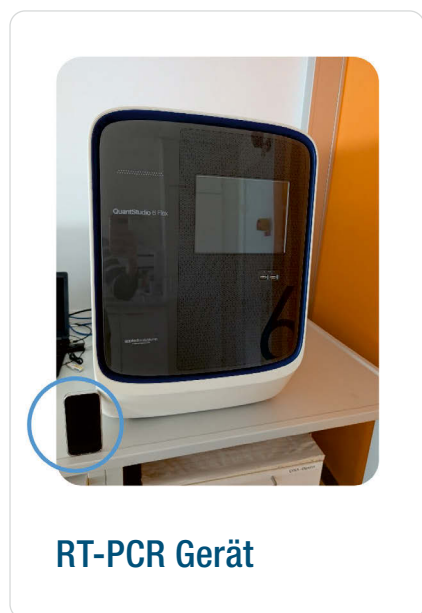
Die Aufgabe des HLA-Labors endet nicht mit der technischen Typisierung. Die Befunde müssen in eine trans-

plantationsmedizinisch verwertbare Beurteilung übersetzt werden. Dazu gehört die Einordnung, ob es sich um einen HLA-identischen Geschwisterspender oder einen haploidentischen Familienspender bzw. einen passenden Fremdspender oder einen mismatched Fremdspender handelt.

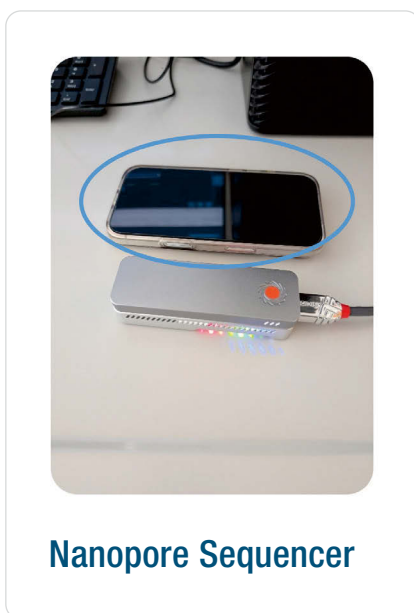
Bei nicht verwandten Spendern wird zunächst geprüft, ob ein 10/10-kompatibler Spender verfügbar ist. Bei mehreren Optionen fließen zusätzlich Spenderalter, Verfügbarkeit, CMV-Status, Blutgruppe, Geschlecht und Stammzellquelle ein. Die aktuellen Empfehlungen betonen, dass jüngere Spender häufig mit besseren Ergebnissen assoziiert sind und daher bei mehreren ansonsten geeigneten Spendern bevorzugt werden können¹⁸.

Bei HLA-Mismatches ist nicht nur die Anzahl, sondern auch die Qualität des Mismatches relevant. Ein einzelnes Mismatch an einem bestimmten Locus kann klinisch anders zu bewerten sein als mehrere Mismatches oder ein nicht-permissiver HLA-DPB1-Mismatch. Für HLA-DPB1 existiert das Konzept permissiver und nicht-permissiver Mismatches auf Basis des T-cell-epitope-Modells²².

Aktuell wird diskutiert, inwieweit die Einführung von PTCy (Post-Transplant Cyclophosphamid) als GvHD-Prophylaxe die Bewertung von HLA-Mismatches bei allogenen Stammzelltransplantationen verändert hat. Hier fehlen allerdings noch Daten, um Unterschiede in der Gewichtung von HLA-Mismatches im Vergleich zu den herkömmlichen Prophylaxe-Strategien abschließend zu bewerten²³.



RT-PCR Gerät



Nanopore Sequencer

Abbildung 5: Evolution der Sequenziergeräte

Technologische Entwicklung der HLA-Typisierung von klassischen PCR-basierten Verfahren mittels RT-PCR hin zur Nanopore-Technologie (jeweils im Größenvergleich mit einem Smartphone, blau umrandet).

HLA-Antikörperdiagnostik bei Stammzelltransplantationen

Neben der zellulären Alloreaktivität durch HLA-Mismatches spielt die humorale Immunität eine wichtige Rolle. DSA sind insbesondere bei haploidentischer Transplantation, mismatched Fremdspender und Nabelschnurbluttransplantationen klinisch relevant, da sie das Risiko für primäres Transplantatversagen deutlich erhöhen können. Deshalb sollten Spender, gegen die relevante DSA bestehen, möglichst vermieden werden. Aktuelle Empfehlungen sehen ein HLA-Antikörperscreening bei allen Patienten vor, bei denen ein Spender mit HLA-Differenzen in Betracht gezogen wird. Bei Nachweis von DSA müssen Labor und Klinik gemeinsam entscheiden, ob ein alternativer Spender ohne entsprechendes Zielantigen verfügbar ist oder ob eine Desensibilisierung erwogen werden muss¹⁸.

Monitoring nach Transplantation

Das Follow-up nach Stammzelltransplantation erfolgt mittels Chimärismusanalyse. Auch diese Analysen werden z.T. in HLA-Laboren durchgeführt. Hier wird das Wiederauftreten von Empfängerzellen im hämatopoetischen System überwacht als Hinweis auf ein mögliches Rezidiv. Methodisch kommen hier Short Tandem Repeats (STR), NGS, qPCR oder die ddPCR in Frage.

Ein weiteres, zunehmend relevantes Aufgabengebiet ist das HLA-Monitoring bei Rezidiv nach allogener Transplantation. Maligne Zellen können dem Immundruck des Spenders entgehen, indem sie HLA-Merkmale verlieren, die vom Spender als fremd erkannt würden. Dieses Phänomen wird als HLA-Loss bezeichnet und ist besonders nach haploidentischer Transplantation beschrieben, kann aber auch in anderen mismatched Konstellationen vorkommen. Bei drohendem oder manifestem Rezidiv kann der Nachweis eines HLA-Loss entscheidend sein, insbesondere, wenn eine Donor-Lymphozyten-Infusion oder eine zweite Transplantation geplant wird. Hier werden v.a. NGS-basierte Verfahren eingesetzt²⁴.

Refraktärität bei Thrombozytentransfusionen

Bleibt der erwartete Anstieg der Thrombozytenzahl nach wiederholter Thrombozytentransfusion aus, spricht man von einem refraktären Zustand gegen Thrombozytentransfusionen. Gemäß der Querschnittsleitlinie zur Therapie mit Blutkomponenten und Plasmaderivaten besteht

der Verdacht auf eine Refraktärität, wenn ein fehlender Anstieg der Thrombozytenwerte (korrigiertes Increment, CCI) trotz wiederholter (mindestens zwei) Transfusion ABO-kompatibler, frischer (< 3 Tage) Thrombozytenkonzentrate (TK) vorliegt²⁵.

Die Ursachen einer Refraktärität lassen sich grundsätzlich in nichtimmunologische und immunologische Ursachen unterteilen.

Nichtimmunologische Ursachen treten mit einem Anteil von 70–80 % deutlich häufiger auf und umfassen z.B. Infekte, Fieber, Sepsis, Blutungen, Verbrauchskoagulopathien, Medikamente (Amphotericin B, Vancomycin oder ATG) sowie Splenomegalie/Hypersplenismus.

Immunologisch bedingte Refraktäritäten beruhen überwiegend auf Antikörpern gegen auf Thrombozyten exprimierte Antigene. Thrombozyten exprimieren auf ihrer Oberfläche ABO-Blutgruppenantigene, HLA-Klasse-I-Merkmale (HLA-A und HLA-B) sowie HPA-Merkmale (Human Platelet Antigens)²⁶.

Die ABO-Blutgruppenantigene sind auf Thrombozyten vergleichsweise schwach ausgeprägt, sodass eine ABO-inkompatible Thrombozytentransfusion nur selten zu einer klinisch relevanten Verkürzung der Überlebenszeit transfundierter Thrombozyten führt. Demgegenüber können Immunisierungsereignisse zur Bildung von Alloantikörpern gegen HLA- und/oder HPA-Antigenen führen und dadurch einen immunologisch bedingten Refraktärzustand verursachen. Isoliert auftretende HPA-Antikörper sind dabei selten und werden häufiger gemeinsam mit HLA-Antikörpern nachgewiesen²⁶. Den überwiegenden Anteil der immunologisch relevanten Alloantikörper bilden jedoch HLA-Antikörper²⁷.

Differentialdiagnostisch sollte im Rahmen einer Refraktärität auch an thrombozytäre Autoantikörper im Sinne einer Immunthrombozytopenie (ITP), sowie medikamentenabhängige Antikörper gedacht werden.

Pathophysiologisch sorgt die Bindung von HLA/HPA-Antikörpern an das korrespondierende Antigen auf transfundierten Thrombozyten für eine Opsonisierung. Diese werden dann überwiegend in der Milz durch Makrophagen phagozytiert. HLA-Antikörper können auch über den klassischen Weg Komplement aktivieren, was zur Lyse führt²⁷. Nicht jeder nachweisbare HLA/HPA-Antikörper führt jedoch zu einer klinisch relevanten Refraktärität. Entscheidend sind unter anderem Antikörperspezifität, Affinität und die durchaus variable Antigendichte auf den Spenderthrombozyten²⁸.

Diagnostik bei Refraktärität gegen Thrombozytentransfusionen

Für die Diagnostik der HLA- und HPA-Antikörper stehen mehrere Methoden zur Verfügung. Für den Nachweis und die Differenzierung der HLA-Klasse-I-Antikörper wird die bereits erwähnte Mikrobead-basierte Festphasenmethode verwendet. Die LCT-Methode ist in diesem Kontext nicht optimal, da mittels LCT nur die zytotoxischen HLA-Antikörper erfasst werden können und auch die nicht-lymphozytotoxischen HLA-Klasse-I-Antikörper einen Refraktärzustand verursachen können²⁹.

Für die Bestimmung der HPA-Antikörper können glykoproteinspezifische Tests, wie z. B. der MAIPA (Monoclonal Antibody Immobilization of Platelet Antigens Assay), der SASPA (Simultaneous Analysis of Specific Platelet Antibodies)³⁰ und luminexbasierte Tests³¹ verwendet werden. Zusätzlich zur Antikörperdiagnostik erfolgt die HLA-Typisierung des Empfängers für HLA-A und -B sowie ausgewählte HPA-Loci³².

Management der Therapie

Ziel des Managements ist die Auswahl von Thrombozytenkonzentraten, gegen die keine klinisch relevanten Antikörper gerichtet sind. Dafür werden drei Strategien eingesetzt:

HLA Matching: Es wird angestrebt, ein möglichst vollständiges 4/4 Matching (HLA-A und -B-Locus) zwischen Empfänger und Spender zu erzielen. Die große Limitation ist die Verfügbarkeit übereinstimmender Thrombozytenspender.

HLA-kompatible Versorgung: Hier werden HLA- und ggf. HPA-Alloantikörper des Empfängers bei der Auswahl der Thrombozytenspender berücksichtigt, das typisierungsbasierte Matching tritt in den Hintergrund. Dadurch erhöht sich die Anzahl der kompatiblen Thrombozytenspender.

Thrombozyten Crossmatch: Es erfolgt ein Kompatibilitätstest zwischen dem Serum des Empfängers und den Spenderthrombozyten. Hierdurch kann ein kompatibles Thrombozytenkonzentrat identifiziert werden.

Bei refraktären Patienten ist die HLA-/HPA-Kompatibilität der ABO-Kompatibilität übergeordnet. Bei lebensbedrohlicher Blutung und fehlender Verfügbarkeit ausgewählter Präparate müssen nicht ausgewählte Thrombozytenkonzentrate transfundiert werden; dabei

kann eine höhere Anzahl von Thrombozytenkonzentraten erforderlich sein.

Für eine optimale Thrombozytenversorgung immunisierter Patienten ist bei planbaren Transfusionen immer eine frühzeitige und enge Kommunikation mit dem zuständigen Blutspendedienst/HLA-Labor von entscheidender Bedeutung. Sie ermöglicht die Bereitstellung geeigneter HLA- bzw. HPA-ausgewählter Thrombozytenkonzentrate und trägt so zu einer effizienten Transfusionstherapie bei.

HLA-Merkmale bei Krankheitsassoziationen und pharmakogenetischen Fragestellungen

Die Untersuchung einzelner HLA-Merkmale bei bestimmten Krankheitsassoziationen und bei ausgewählten pharmakogenetischen Fragestellungen gehört ebenfalls zum Aufgabenspektrum vieler HLA-Labore. Im Unterschied zur Spenderauswahl vor Organ- oder Stammzelltransplantation geht es hier meist nicht um eine vollständige HLA-Typisierung über mehrere Loci, sondern um die gezielte Frage, ob ein bestimmtes HLA-Merkmal vorhanden ist oder nicht. Das Ergebnis unterstützt die klinische Einschätzung, ersetzt aber nicht die weitere Diagnostik.

Bestimmte HLA-Allele sind mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für Autoimmunerkrankungen, entzündliche Erkrankungen, Infektionsverläufe oder Arzneimittelreaktionen verbunden. Ein klassisches Beispiel ist die Assoziation von HLA-B27 mit ankylosierender Spondylitis³³. Für die klinische Interpretation ist wichtig, dass eine HLA-Assoziation keine monokausale Beziehung bedeutet. Die meisten HLA-assoziierten Erkrankungen entstehen multifaktoriell, also durch ein Zusammenspiel genetischer Faktoren, Umweltfaktoren und immunologischer Trigger. Auch bei sehr starken Assoziationen erkrankt nicht jeder Merkmalsträger. Ein positives Ergebnis zeigt daher in erster Linie eine genetische Prädisposition an. Umgekehrt kann ein negatives Ergebnis bei bestimmten Erkrankungen hilfreich sein, weil es die Diagnose unwahrscheinlicher macht. Dies gilt insbesondere bei Erkrankungen mit starker HLA-Assoziation, beispielsweise bei Zöliakie. Hier können die Allele HLA-DQB1*02-DQA1*05 besonders gut Peptide des Glutens an T-Zellen präsentieren und die Aktivierung glutenspezifischer T-Zellen spielt eine zentrale Rolle bei der Entstehung der Zöliakie³⁴. Ein positiver Nachweis dieser Allele allein ist hingegen nicht wegweisend, weil diese Merkmale in der Allgemeinbevölkerung relativ häufig vorkommen. **Tabelle 3** gibt weitere Beispiele und nennt jeweils das relative Risiko, also den Faktor, um

Erkrankung	Merkmal	Relatives Risiko
Adreno-genitales Syndrom (AGS), Late-Onset-Form	B14	48,5
AGS, Salzverlustform	B47	51,0
Birdshot-Chorioretinopathie	A29/A*29:02	>100
Juveniler Diabetes Mellitus (IDDM)	DR4; DQB1*03:02; DR3; DQB1*02:01	6,4; 9,5; 3,3; 2,4
Felty-Syndrom	DR4	76,0
Hereditäre Hämochromatose Typ 1	A3	8
Neonatale Alloimmunthrombozytopenie (NAIT)	DR3, DRB3, DQ2	9,2
Ankylosierende Spondylarthritis (M. Bechterew)	B27	87,4
Morbus Behçet	B51	3,8
Urethro-okulo-artikuläres Syndrom (M. Reiter)	B27	37,0
Multiple Sklerose	DR2, DRB1*15:01, DRB5*01:01, DQB1*06:02	4,1
Narkolepsie	DQB1*06:02-DQA1*01:02, DRB1*15	>100
Postinfektiöse Arthritiden (Shigellen/Salmonellen/ Yersinia/ Gonokokken)	B27	13-40
Rheumatoide Arthritis	DR4; DRB1*04:01/ *04:04/*04:08	4,2; 6-14
Sjögren-Syndrom; zusätzlich Sicca Syndrom	DR3	10; 9,7
Systemischer Lupus erythematodes (SLE)	DR3; B8	5,8; 2,8
Zöliakie (Glutenenteropathie)	DQB1*02-DQA1*05 sowie DQB1*03:02 (DQ8)-DQA1*03	52,0

Tabelle 3: Wichtige HLA-Krankheitsassoziationen

Auswahl klinisch relevanter Assoziationen zwischen HLA-Merkmalen und Erkrankungen. Das relative Risiko beschreibt, um welchen Faktor die Erkrankung bei Merkmalsträgern im Vergleich zu Nicht-Merkmalsträgern häufiger auftritt. Ein positiver Befund zeigt eine genetische Prädisposition an, ist jedoch in der Regel nicht allein diagnostisch beweisend. Tabelle adaptiert nach ³⁵.

den die Erkrankung bei Merkmalsträgern im Vergleich zu Nicht-Merkmalsträgern häufiger auftritt.

Immunologisch beruhen HLA-Krankheitsassoziationen vor allem auf Unterschieden in Peptidbindung und Antigenpräsentation: Bereits einzelne Aminosäureunterschiede können verändern, welche Selbst- oder Fremdpeptide T-Zellen präsentiert werden. Bei Autoimmunerkrankun-

gen kann dies autoreaktive T-Zell-Antworten begünstigen; weitere Mechanismen sind molekulare Mimikry, Epitope Spreading und posttranslationale Modifikationen, etwa Citrullinierung bei rheumatoider Arthritis³⁶.

Ein zweiter wichtiger Bereich ist die Pharmakogenetik. Hier geht es um das Risiko schwerer Arzneimittelreaktionen oder um die Wirksamkeit bestimmter Therapien.

Erkrankung	Merkmal
Abacavir-Hypersensitivität	B*57:01
Carbamazepin induziertes Stevens Johnson Syndrom	B*15:02
Allopurinol induziertes Stevens Johnson Syndrom	B*58:01
Tebentafusp – Sensitivität	A*02:01

Tabelle 4: HLA-Merkmale mit pharmakogenetischer oder therapeutischer Relevanz

Beispiele für HLA-Merkmale, die mit schweren Arzneimittelreaktionen oder mit der Wirksamkeit bestimmter Therapien assoziiert sind. Im Unterschied zu vielen Krankheitsassoziationen können positive Befunde hier unmittelbare therapeutische Konsequenzen haben, etwa die Vermeidung eines Arzneimittels oder die Prüfung einer Therapieeignung.

Besonders relevant ist HLA-B*57:01 vor Abacavir-Gabe; bei positivem Ergebnis sollte Abacavir nicht eingesetzt werden. Die Testung auf HLA-A*02:01 bei Aderhautmelanom dient der Prüfung, ob ein Patient für eine Behandlung mit der HLA-restringierten Immuntherapie Tebentafusp geeignet ist. Weitere Beispiele sind in **Tabelle 4** aufgeführt.

Da es sich bei HLA-Untersuchungen auf Krankheitsassoziationen und pharmakogenetische Risiken um genetische Untersuchungen handelt, sind die Vorgaben des Gendiagnostikgesetzes zu beachten. In der Regel ist hierfür eine schriftliche Einwilligung erforderlich.

Ausblick

Für die Nierentransplantation und bei immunologisch bedingter Thrombozytenrefraktärität wird das molekulare Matching an Bedeutung gewinnen, um Spenderorgane

und Thrombozytenkonzentrate auch bei hochimmunierten Patienten möglichst immunologisch passend zu vergeben.

Hochauflösende HLA-Typisierung mittels Long-Read-Verfahren und KI-gestützte Auswertung großer populationsübergreifender Datensätze werden in der allogenen Stammzelltransplantation die Spenderauswahl verändern und auch neue Krankheitsassoziationen identifizieren.

Die beschriebenen Themenfelder der HLA-Labore weisen das Feld als anspruchsvolles und sich kontinuierlich weiterentwickelndes Arbeitsumfeld aus: Hochdurchsatzsequenzierung, Long-Read-Technologien, erweiterte Antikörperdiagnostik, moderne Crossmatchverfahren, molekulares Matching und bioinformatische Auswertung erweitern die diagnostischen Möglichkeiten und präzisieren so die Patientenversorgung³⁷. ■

Die Autoren (I)



Dr. med. Anna-Lena Semmler

Fachärztin für Transfusionsmedizin und Anästhesiologie, Stv. Abteilungsleiterin Transplantationsimmunologie und Immunogenetik, Institut für Transfusionsmedizin und Immunhämatologie Frankfurt am Main, DRK-Blutspendedienst Baden-Württemberg – Hessen gemeinnützige GmbH
a.semmler@blutspende.de



Dr. rer. nat. Corinna Opitz

Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Transplantationsimmunologisches Labor,
Institut für Transfusionsmedizin Dresden,
DRK-Blutspendedienst Nord-Ost gemeinnützige GmbH
c.opitz@blutspende.de

Die Autoren (II)



Lenka Trojanova

Fachärztin für Transfusionsmedizin
Institut für Transfusionsmedizin Dresden,
DRK-Blutspendedienst Nord-Ost gemeinnützige GmbH
l.trojanova@blutspende.de



Dr. med. Josephine Meininger

Ärztin in Weiterbildung für Transfusionsmedizin,
Institut für Transfusionsmedizin und Immunhämatologie
Frankfurt am Main, DRK-Blutspendedienst Baden-
Württemberg – Hessen gemeinnützige GmbH
j.meininger@blutspende.de



Prof. Dr. med. Christian Seidl

Stv. Ärztlicher Direktor Institut für Transfusionsmedizin und Immunhämatologie Frankfurt am Main
Ärztlicher Leiter Medizinisches Versorgungszentrum (MVZ) Frankfurt und Kassel
Fachkoordinator Bereich Transplantationsimmunologie
DRK-Blutspendedienst Baden-Württemberg – Hessen gemeinnützige GmbH
Professor für experimentelle Hämatologie am Universitätsklinikum Frankfurt (UKF)
c.seidl@blutspende.de

Weitere Informationen zu den Autoren finden Sie unter

www.drk-haemotherapie.de/autoren



Hilfreiche Downloads und weitere Informationen
zu diesem Beitrag finden Sie in der hämo-App, z. B.

-  Literaturhinweise
-  Weitere Beiträge zu diesem Thema
-  Weitere Infos zu den Autoren



Direkt zum Beitrag:

[www.drk-haemotherapie.de/
beitraege/47-hla](http://www.drk-haemotherapie.de/beitraege/47-hla)

Prof. Dr. med. Markus W. Löffler

Forschungsnachwuchs für Transfusionsmedizin und Gerinnung: Die JUNIOR ACADEMY HEMOTHERAPY stellt sich vor

Vom **12.–15. Oktober 2026** wird die JUNIOR ACADEMY HEMOTHERAPY im Kloster Irsee bei Kaufbeuren (siehe **Abbildung 1**) zum dritten Mal stattfinden.

Dafür können sich wissenschaftlich interessierte Ärztinnen und Ärzte, aber auch Naturwissenschaftler und Pharmazeuten mit einem fachlichen Hintergrund im Bereich der Transfusionsmedizin und Hämotherapie sowie der Hämostaseologie anmelden.

Die Zielsetzung der Junior Academy Hemotherapy ist es dabei forschungsinteressierte Ärzte und Wissenschaftler im Bereich der Hämotherapie in einer frühen Karrierephase zu fördern, damit diese einen erfolgreichen Einstieg in die eigenverantwortliche Forschung finden und ein entsprechendes Netzwerk aufbauen können, um so zukünftig mit erfolgreich bewilligten Drittmittelanträgen den Weg in die wissenschaftliche Eigenständigkeit anzutreten.

Die viertägige Veranstaltung bietet ein breites thematisches Angebot aus Vorträgen und Workshops. Diese befassen sich etwa mit klinischer und translationaler Forschung,



Abbildung 1: Die Teilnehmer der JUNIOR ACADEMY HEMOTHERAPY 2024 mit Vortragenden, Mentoren und Veranstaltern

aktuellen Entwicklungen in der Transfusionsmedizin, aber auch mit praktischen Themen, wie etwa damit, wissenschaftliche Artikel kompetent lesen zu können oder solche Artikel dann auch selbst zu verfassen, sowie beispielsweise der Planung von Studien im Labor und dem Verfassen von Drittmittelanträgen. Außerdem werden persönliche Aspekte wie die wissenschaftliche Profilentwicklung oder Networking sowie Grundlagen der Wissenschaftskommunikation und Ethik behandelt. Zudem sollen universitäre Ausgründungen und Herausforderungen zwischen Wissenschaft und klinischer Realität thematisiert werden.

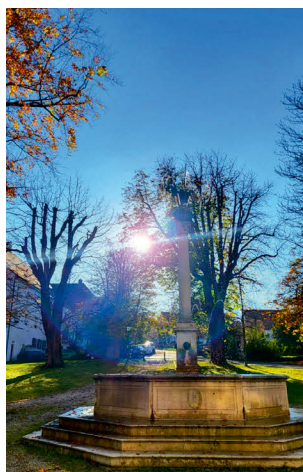
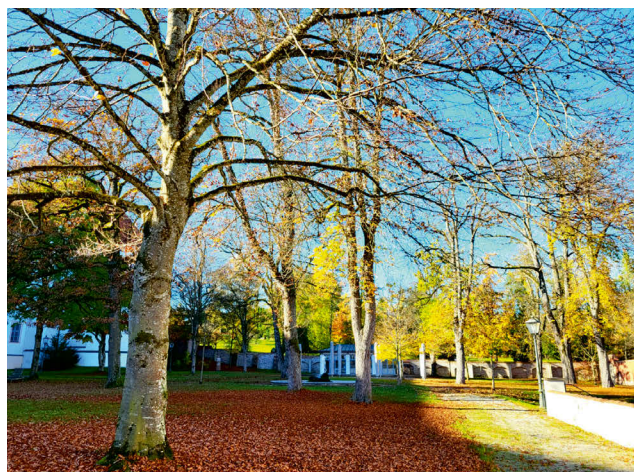
Daneben werden sich ehemalige Teilnehmer der beiden vorangegangenen Veranstaltungen beteiligen, um über eigene Erfahrungen, persönliche Herausforderungen und Einsichten, die sie als forschende Ärzte bzw. Nachwuchswissenschaftler gemacht haben, zu berichten und für einen persönlichen Austausch zur Verfügung stehen. Darüber hinaus stellt sich die Deutsche Gesellschaft für Transfusionsmedizin und Immunhämatologie (DGTI) in Person der aktuellen Präsidentin Frau Prof. Kristina Hölig sowie die Initiative „NextGen Transfusion Medicine“ vor, über die ebenfalls im vorliegenden Heft berichtet wird. Dies bietet den Teilnehmern die Gelegenheit, direkt Kontakte zu knüpfen und Informationen aus erster Hand zu erhalten.

Außerdem sollen Spaß und die Gelegenheit zur (interdisziplinären) Vernetzung untereinander bzw. der Austausch mit erfahrenen Kollegen nicht zu kurz kommen. Entsprechend wird beim Teambuilding und einem Networking-Event ein Raum geschaffen, in dem sich Teilnehmer und Vortragende kennenlernen und bei gemeinsamen Aktivitäten das historische Kloster und die schöne Landschaft des Ostallgäus genießen können (siehe **Abbildung 2**). Auch beim gemeinsamen Essen sowie am Abend in der Klosterbrauerei wird ausreichend Zeit für persönliche Gespräche und gemeinsamen Austausch vorhanden sein (siehe **Abbildung 3**).



Daneben steht die fachliche und (inter-)disziplinäre Vernetzung und Begleitung der Teilnehmer im Vordergrund. Dafür haben sich Vortragende und Fachexperten als Mentoren bereiterklärt, den Teilnehmern, auf Wunsch auch nach der Veranstaltung, mit Rat und Tat zur Verfügung zu stehen.

Weiterhin sollen die Teilnehmer im Verlauf der Veranstaltungswoche eine kurze Präsentation eines eigenen Projekts oder einer Forschungsidee im Plenum vorstellen, um Rückmeldung und Tipps zur Umsetzung zu erhalten und so ihr eigenes Forschungsprojekt sukzessive weiterentwickeln.



Vor dem Hintergrund eines allgemein bestehenden Mangels an klinisch/wissenschaftlichem Nachwuchs, inzwischen auch bereits in großen klinischen Fächern, soll die JUNIOR ACADEMY HEMOTHERAPY ein wichtiger Ansatz sein, diesem Mangel an forschungsinteressierten Talenten im Bereich der Transfusionsmedizin, Hämotherapie und Hämostaseologie niederschwellig entgegenzuwirken.

Abbildung 2: Herbstperspektiven des Klosters Irsee bei Kaufbeuren. Foto: Barbara Fiedler-Gubitz

Steckbrief:

Zielgruppe:

Forschungsinteressierte junge Ärzte und Wissenschaftler im Bereich der Transfusionsmedizin, Hämotherapie und Hämostaseologie in einer frühen Karrierephase, die Unterstützung für einen erfolgreichen Einstieg in die eigenverantwortliche Forschung suchen.

Termin:

12.–15. Oktober 2026

Dauer:

Vier Tage

Ort:

Kloster Irsee bei Kaufbeuren (Allgäu)

Selbstbeteiligung:

250,- €

Unterstützung:

Alumni, Experten aus Klinik und Forschung mit transfusionsmedizinischem und hämotherapeutisch / hämostaseologischem Bezug

Was kann man von der JUNIOR ACADEMY HEMOTHERAPY erwarten?

- Lernen von erfahrenen Experten
- Praktische Workshops zu Themen wie Studienplanung, wissenschaftliches Schreiben, Förderanträge und Künstliche Intelligenz in der Forschung, Karriereentwicklung u. a.
- Neue persönliche Kontakte, Networking, Austausch in kleinen Gruppen und mit Alumni vorangegangener Veranstaltungen
- Geschützte Zeit im schönen Ostallgäu zum Kompetenzerwerb und zur Vernetzung
- Betreuung und Rat von Mentoren auch nach der Veranstaltungswoche



Abbildung 3: Geselliges Beisammensein der Teilnehmer, Vortragenden und Mentoren am Abend in der Klosterbrauerei Irsee.

Foto: Barbara Fiedler-Gubitz

Der Autor



Prof. Dr. med. Markus W. Löffler

Assistenzarzt für Transfusionsmedizin

Institut für klinische und experimentelle Transfusions-
medizin (IKET), Universität Tübingen & Zentrum für
klinische Transfusionsmedizin (ZKT) gGmbH

Markus.loeffler@med.uni-tuebingen.de



Hilfreiche Downloads und weitere Infor-
mationen zu diesem Beitrag finden Sie in
der hämo-App, z. B.



Literaturhinweise



Weitere Beiträge zu diesem Thema



Weitere Infos zu den Autoren



Direkt zum Beitrag:

[www.drk-haemotherapie.de/
beitraege/47-nachwuchs](http://www.drk-haemotherapie.de/beitraege/47-nachwuchs)

Durch Vorträge und Workshops sollen neben theo-
retischem Wissen auch Kompetenzen und prakti-
sche Fähigkeiten vermittelt werden, um alle Teil-
nehmer dort abzuholen, wo sie aktuell stehen, um
so den Grundstein für die eigene Forschungslauf-
bahn und ein wissenschaftliches Netzwerk zu legen.
Ganz besonders liegt den Veranstaltern dabei die
Planung und Durchführung zukünftiger klinischer
und translationaler Forschungsprojekte am Herzen.

Daran werden sich auch Experten und Alumni betei-
ligen um aktiv Unterstützung und persönliche Kon-
takte anzubieten und eigene Erfahrungen zu teilen,
damit die Teilnehmer einen erfolgreichen Einstieg
in die Forschung finden. Darin wird die Veranstal-
tung durch die DGTI und die Initiative „NextGen
Transfusion Medicine“ aktiv unterstützt.

Die JUNIOR ACADEMY HEMOTHERAPY 2026 freut
sich sehr auf Ihre Bewerbung und Anmeldung und
darauf, Sie persönlich kennenzulernen.

Noch stehen einige Plätze für Teilnehmer für die
Veranstaltung im Oktober zur Verfügung.

**Bei Interesse senden Sie daher bitte Ihre Bewer-
bung bis spätestens 30.09.2026**, inklusive eines
Lebenslaufs und eines kurzen Motivationsschrei-
bens (mit bisheriger Forschungserfahrung und ge-
planten Projekten), an:

Barbara Fiedler-Gubitz

Projektassistentin

Institut für Klinische und Experimentelle
Transfusionsmedizin (IKET), Tübingen

Barbara.Fiedler-Gubitz@med.uni-tuebingen.de

Dr. med. Lina Susana Silva Bermudez, Dr. med. univ. Emilie Han, Dr. med. Tobias Bexte

NextGen Transfusion Medicine: Vom Einstieg ins Fach zur gemeinsamen Gestaltung der Zukunft des Faches Transfusionsmedizin

Die Transfusionsmedizin ist ein vielseitiges Fachgebiet an der Schnittstelle von klinischer Medizin, Labordiagnostik, Regulation, Hämotherapie und Forschung. Vielen Ärzten und Nachwuchswissenschaftlern wird diese fachliche Breite jedoch erst bewusst, wenn sie bereits in einem transfusionsmedizinischen Institut oder einem Blutspendedienst tätig sind. Der Einstieg in das Fach ist daher häufig mit zahlreichen Fragen verbunden: Welche Aufgaben umfasst die Transfusionsmedizin? Welche klinischen, diagnostischen und wissenschaftlichen Entwicklungsmöglichkeiten bietet sie? Wie lassen sich Weiterbildung, Forschung und Familie miteinander vereinbaren? Und wie findet man über den eigenen Standort hinaus fachliche Ansprechpartner und ein unterstützendes Netzwerk von Kollegen?

Was ist die NextGen?

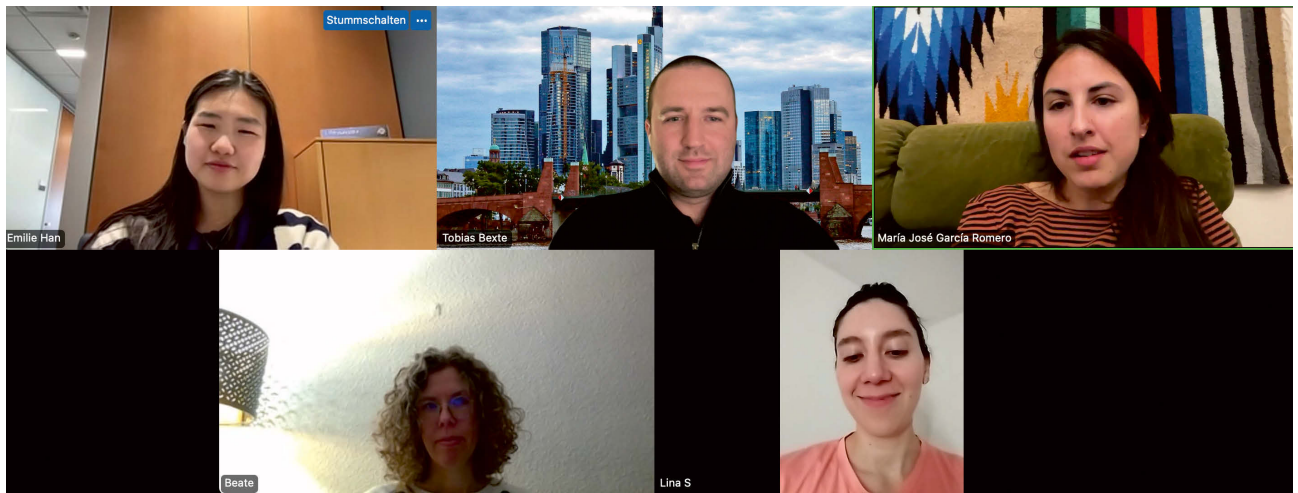
Die NextGen Transfusion Medicine wurde aus dem Bedarf für ein unterstützendes Netzwerk von jungen für junge Kollegen gegründet. Die Initiative versteht sich als standortübergreifendes Netzwerk in der DACH-Region und bringt Menschen zusammen, die am Beginn oder in einer frühen Phase ihres beruflichen Weges in der Transfusionsmedizin stehen. Das Besondere an dieser Initiative



ist, dass sie autonom und von jungen Kollegen selbst gegründet, geleitet und als „Peers-for-Peers“-Format organisiert wird.

Was und wer ist die NextGen?

Der Begriff „NextGen“ bezieht sich nicht ausschließlich auf das Lebensalter und ist bewusst nicht an eine starre Altersgrenze gebunden. Willkommen sind alle Personen, die neu in die Transfusionsmedizin kommen – unabhängig davon, ob sie ihre berufliche Laufbahn direkt in diesem Fach beginnen oder als Quereinsteiger aus einem anderen klinischen oder wissenschaftlichen Bereich hinzukommen.



Regelmäßige virtuelle Meetings sind ein wesentlicher Grundstein für die Verstärkung und die Organisation der NextGen geworden. Hier im Bild sind die aktuellen Leitungsmitglieder der NextGen Transfusion Medicine in einem ihrer Jour-Fixe zu sehen. Erste Reihe (v.l.n.r): Emilie Han (Wien), Tobias Bexte (Frankfurt) und Maria Jose Garcia Romero (Münster). Zweite Reihe (v.l.n.r): Beate Kirchharz (Mannheim) und Lina Susana Silva Bermudez (Mannheim). Nicht abgebildet: Martina Wolf (Greifswald).

Vom Kick-off zum kontinuierlichen Austausch

Ein erster wichtiger Meilenstein war der Kick-off im Rahmen der Jahrestagung 2025 der Deutschen Gesellschaft für Transfusionsmedizin und Immunhämatologie (DGTI) in Mannheim. Die bis zum letzten Platz besetzte Veranstaltung und die lebhaften Diskussionen verdeutlichten den großen Bedarf an fachlicher Orientierung und standortübergreifender Vernetzung. Seit Ende 2025 ist NextGen zudem als Kommission in der DGTI verankert.

Bereits seit Gründung im Herbst 2025 finden monatliche Webinare statt, deren Inhalte sich an den Interessen und Fragen der Mitglieder orientieren. Das Themenspektrum reicht von praktischen Aspekten der ärztlichen Weiterbildung über wissenschaftliches Arbeiten und persönlichem Austausch bis hin zu aktuellen Entwicklungen, beispielsweise auf dem Gebiet der Zelltherapie.

Dabei verfolgt die NextGen konsequent einen Peer-to-Peer-Ansatz: Mitglieder können sich aktiv einbringen und selbst eigene Themen vorschlagen, Referenten einladen



Kick-off Event der NextGen auf der letzten DGTI-Tagung 2025 in Mannheim. Vor vollem und engagiertem Publikum wurde die Idee eines unabhängigen und aktiven NextGen Transfusion Medicine Netzwerkes dem größeren und interessierten jungen Kollegium vorgestellt. Im Bild zu sehen sind die Gründungsmitglieder und aktuellen Sprecher (v.l.n.r): Lina Susana Silva Bermudez (Mannheim), Martina Wolf (Greifswald), Tobias Bexte (Frankfurt), Maria Jose Garcia Romero (Münster), Beate Kirchharz (Mannheim). Nicht zu sehen: Emilie Han (Wien).

und eigene Projekte oder Erfahrungen vorstellen. So entsteht ein offener Raum für Fragen, für die im klinischen und wissenschaftlichen Alltag häufig wenig Zeit bleibt und die über das eigene Institut hinausgehen.

Herausforderungen gemeinsam bewältigen

Der Einstieg in ein neues Fachgebiet ist nicht nur fachlich, sondern auch strukturell herausfordernd. Weiterbildungsinhalte und Rotationsmöglichkeiten unterscheiden sich je nach Standort und wissenschaftliche Projekte sind vielfältig, aber verbleiben oft hinter den Grenzen des eigenen Standortes. Fragen zur Organisation parallel zur klinischen Tätigkeit stellen sich ergänzend zu den Themen von gutem Mentoring, Mobilität, Vereinbarkeit von Beruf und Familie sowie zu langfristigen Karriereperspektiven im Fach.

Die NextGen möchte diese Herausforderungen nicht stellvertretend für ihre Mitglieder definieren. Vielmehr sollen die Mitglieder selbst benennen, welche Hindernisse sie erleben und welche Unterstützung sie benötigen. Regelmäßige Bedarfsanalysen und offene Diskussionsformate können dazu beitragen, wiederkehrende Probleme zu identifizieren und gemeinsam konkrete Lösungsansätze zu entwickeln. Ganz unter dem Motto: von-Peers-für-Peers.

Sichtbarkeit auf wissenschaftlichen Kongressen und Vernetzung

Ein weiteres Ziel von NextGen ist es, Berufseinsteiger stärker in die wissenschaftlichen Fragestellungen und in die Fachgesellschaft einzubeziehen. Das Netzwerk möchte dabei nicht nur an bestehenden Formaten teilnehmen, sondern leistet auch eigene Beiträge zur Programmgestaltung und zum gegenseitigen Austausch und der standortübergreifenden Vernetzung, z.B. im Rahmen der Jahrestagungen.

Für die DGTI-Jahrestagung 2026 in Stuttgart ist erstmals eine eigene Session der NextGen geplant. In der zum einen die Initiative sich vorstellt aber auch die Vernetzung über die eigene Fachdisziplin hinaus umsetzt: in einer gemeinsamen Sitzung mit der Jungen DGHO, der Nachwuchsorganisation der Deutschen Gesellschaft für Hämatologie und Medizinische Onkologie (DGHO), sollen die Schnittstellen zwischen Transfusionsmedizin und Hämato-Onkologie aktiv diskutiert werden. Zudem werden die Ergeb-

nisse einer aktuellen Umfrage unter den jungen Kollegen präsentiert, um sich als Netzwerk und den Bedarf der neuen Generation noch besser kennenzulernen. Die Veranstaltung „Kommissionssitzung NextGen Transfusionsmedizin“ findet am **23. September 2026 von 8:30 bis 10:00 Uhr** statt.

Die Zukunft des eigenen Fachs aktiv gestalten

Die Transfusionsmedizin befindet sich in einem tiefgreifenden Wandel. Neben der klassischen Versorgung mit Blutkomponenten gewinnen Zell- und Gentherapien, molekulare Diagnostik, automatisierte Herstellungsverfahren, digitale Systeme und personalisierte Therapiekonzepte zunehmend an Bedeutung. Für die nächste Generation eröffnet sich damit die Chance, nicht nur in bestehende Strukturen hineinzuwachsen, sondern auch die zukünftige Ausrichtung des Fachs aktiv mitzugestalten.

LinkedIn:



E-Mail-Verteiler:



NextGen Transfusion Medicine versteht sich daher nicht als gefestigte Struktur, sondern als wachsendes Netzwerk, dessen Entwicklung von den Erfahrungen, Ideen und Bedürfnissen seiner Mitglieder getragen und aktiv in den kommenden Jahren mitgestaltet wird. Dazu sind alle interessierten jungen Kollegen herzlich eingeladen, teilzunehmen und sich aktiv in die Zukunft einzubringen. Konkret bilden neben den monatlichen Webinaren, dem Besuch der Institute und dortigen Kollegen, der Fachtagung, einer Early Career Lounge, der Junior Academy und anderen Formaten auch digitale Kommunikationskanäle eine wichtige Grundlage: Über die LinkedIn-Seite, den E-Mail-Verteiler und die regelmäßige Online-Treffen werden Veranstaltungen angekündigt, fachliche Inhalte geteilt und Möglichkeiten zur aktiven Mitarbeit sichtbar gemacht.

NextGen möchte einen Raum schaffen, der beim Einstieg in das Fach Orientierung bietet, den fachlichen und persönlichen Austausch nachhaltig fördert, neue Kooperationen ermöglicht und dazu beiträgt, die Zukunft der Transfusionsmedizin gemeinsam und aktiv mitzugestalten. ■

Die Autoren



Dr. med. Lina Susana Silva Bermudez

Assistenzärztin für Transfusionsmedizin

Institut für Transfusionsmedizin und Immunologie, Mannheim, DRK-Blutspendedienst Baden-Württemberg – Hessen gemeinnützige GmbH

l.silva-bermudez@blutspende.de



Dr. med. univ. Emilie Han

Assistenzärztin im Fach Transfusionsmedizin

Universitätsklinik für Transfusionsmedizin und Zelltherapie, Medizinische Universität Wien

emilie.han@meduniwien.ac.at



Dr. med. Tobias Bexte

Clinician Scientist, Assistenzarzt für Transfusionsmedizin und Nachwuchsgruppenleiter

Institut für Transfusionsmedizin und Immunhämatologie Frankfurt am Main, DRK-Blutspendedienst Baden-Württemberg – Hessen gemeinnützige GmbH und Goethe Universität Frankfurt

bexte@med.uni-frankfurt.de

Weitere Informationen zu den Autoren finden Sie unter

www.drk-haemotherapie.de/autoren



Hilfreiche Downloads und weitere Informationen zu diesem Beitrag finden Sie in der hämo-App, z. B.

-  Literaturhinweise
-  Weitere Beiträge zu diesem Thema
-  Weitere Infos zu den Autoren



Direkt zum Beitrag:

www.drk-haemotherapie.de/beitraege/47-nextgen

Stefanie Popp, Denise Schuster, Prof. Dr. Peter Bradl MHMM

Das Blutspendewesen als Kritische Infrastruktur

ZUSAMMENFASSUNG Die Blutversorgung weist insbesondere aufgrund der Spezifitäten wie begrenzte Haltbarkeit von Blutprodukten, ihrer Abhängigkeit von der Verfügbarkeit von Blutspendenden sowie vielfältiger interner und externer Abhängigkeiten besondere Anforderungen an die Versorgungssicherheit auf. Der Beitrag betrachtet das Blutspendewesen aus der Perspektive Kritischer Infrastrukturen und analysiert die Blood Supply Chain hinsichtlich ihrer Prozessschritte sowie funktionalen, personellen, technischen, materiellen und sektorübergreifenden Abhängigkeiten. Dabei werden kritische Ressourcen und potenzielle Single Points of Failure identifiziert. Die Analyse verdeutlicht, dass Versorgungssicherheit von der Funktionsfähigkeit der gesamten Prozesskette abhängt. Daraus werden Ansatzpunkte für ein prozessorientiertes Resilienz- und Kontinuitätsmanagement abgeleitet.

SUMMARY Blood supply faces particular challenges in ensuring supply security due to the limited shelf life of blood products, its dependence on blood donors, and multiple internal and external dependencies. This article examines blood services from a critical infrastructure perspective and analyses the blood supply chain with regard to its process steps and functional, personnel-related, technical, material, and cross-sectoral dependencies. Critical resources and potential single points of failure are identified. The analysis demonstrates that supply security depends on the functionality of the entire process chain. Based on these findings, approaches to process-oriented resilience and continuity management are derived.

1. Einleitung: Das Blutspendewesen als Kritische Infrastruktur

Die Sicherstellung einer kontinuierlichen Versorgung mit Blut und Blutkomponenten gehört zu den verpflichtenden Vorgaben im Gesundheitswesen, da Blutprodukte für die Behandlung zahlreicher akut und chronisch erkrankter Patientinnen und Patienten benötigt werden (World Health Organization, 2022). Zudem ist die sichere und kontinuierliche Blutversorgung für die Funktionsfähigkeit des gesamten Gesundheitswesens von zentraler Bedeutung (Kralievits et al., 2015). Hinzu kommen die biologischen Eigenschaften der Blutkomponenten – insbesondere ihre begrenzte Haltbarkeit – die die Möglichkeiten einer langfristigen Bevorratung limitieren (European Directorate for the Quality of Medicines

& HealthCare, 2025; Bundesärztekammer, 2023). Diese Besonderheiten machen die Blutversorgung zu einem Versorgungssystem, das in besonderem Maße auf stabile Prozesse, eine kontinuierliche Spenderverfügbarkeit und robuste Strukturen angewiesen ist.

Die Blutversorgung basiert auf einer komplexen, mehrstufigen und eng verzahnten Prozesskette verschiedener Handelnder (inkl. Spenderinnen und Spender), deren Leistungsfähigkeit von der zuverlässigen Funktion aller Prozessschritte abhängt (Osorio et al., 2015; Pirabán et al., 2019). Sie umfasst die Spendergewinnung und -bindung (Misje et al., 2008), die Durchführung der Blutspende sowie die Testung und Freigabe der Blutprodukte (Goodman et al., 2003), die Herstellung und Lagerung der Blutkomponenten sowie deren bedarfsgerechte Distribution an

die Gesundheitseinrichtungen (Osorio et al., 2015). Da die einzelnen Prozessschritte in hohem Maße voneinander abhängig sind, können Störungen oder Ausfälle an einer Stelle der Versorgungskette erhebliche Auswirkungen auf die Verfügbarkeit sicherer Blutprodukte und damit auf die Patientenversorgung haben (Pirabán et al., 2019).

Wie verwundbar dieses Versorgungssystem gegenüber internen und externen Störungen sein kann, zeigte sich insbesondere während der COVID-19-Pandemie. Veränderungen des Spendeaufkommens, personelle Einschränkungen, wie etwa durch Krankheitsausfälle, sowie Schwankungen des Transfusionsbedarfs stellten Blutspendedienste weltweit vor erhebliche Herausforderungen bei der Sicherstellung der Versorgung (Stanworth et al., 2020; Pagano et al., 2020). Die Pandemie verdeutlichte zugleich, dass die Aufrechterhaltung der Blutversorgung nicht ausschließlich von einer ausreichenden Anzahl an Blutspenden abhängt, sondern ebenso von einer bedarfsgerechten Steuerung von Angebot und Nachfrage sowie der Funktionsfähigkeit der gesamten Blutversorgungskette (Stanworth et al., 2020). Darüber hinaus beeinflussen die Verfügbarkeit qualifizierten Personals, stabile Organisationsstrukturen sowie funktionierende Spende-, Test-, Herstellungs- und Logistikprozesse die Versorgungssicherheit maßgeblich (World Health Organization, 2021). Daher erfordert die Sicherstellung einer resilienten Blutversorgung nicht nur Maßnahmen zur Gewinnung von Blutspenderinnen und Blutspendern, sondern auch die Absicherung der zugrundeliegenden Organisations-, Produktions- und Versorgungsstrukturen (World Health Organization, 2023).

Vor diesem Hintergrund gewinnt die Betrachtung des Blutspendewesens als sog. Kritische Infrastruktur zunehmend an Bedeutung. Blutspendedienste stellen eine essenzielle Dienstleistung sowie Herstellung und Produktion für das Gesundheitswesen bereit und sind zugleich in vielfältiger Weise von weiteren Kritischen Infrastrukturen sowie komplexen technischen, organisatorischen und logistischen Abhängigkeiten beeinflusst. Die Analyse dieser Abhängigkeiten ist eine wesentliche Voraussetzung, um potenzielle Verwundbarkeiten zu identifizieren und geeignete Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz der Blutversorgung abzuleiten.

Ziel dieses Beitrags ist es, das deutsche Blutspendewesen im Hinblick auf seine Herausforderungen und Verwundbarkeiten als Bestandteil der Kritischen Infrastruktur zu analysieren. Hierzu werden zunächst die Grundlagen sowie die regulatorischen Rahmenbedingungen Kritischer Infrastrukturen dargestellt und anschließend die biologi-

schen Besonderheiten der Blutversorgung und die Blood Supply Chain¹ als kritisches Versorgungssystem beschrieben, gefolgt von Analyse und Diskussion funktionaler Abhängigkeiten, potenzieller Single Points of Failure sowie daraus resultierende Anforderungen an die Resilienz des Blutspendewesens.

2. Kritische Infrastrukturen (KRITIS)

2.1 Definition und Bedeutung

Kritische Infrastrukturen (KRITIS) sind Einrichtungen, Anlagen oder Teile davon, deren Funktionsfähigkeit für das staatliche Gemeinwesen von wesentlicher Bedeutung ist und deren Ausfall oder Beeinträchtigung zu nachhaltigen Versorgungsengpässen, erheblichen Störungen der öffentlichen Sicherheit oder anderen schwerwiegenden Folgen führen kann (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, o. J.).

Ziel des KRITIS-Schutzes ist es, die Erbringung essenzieller Dienstleistungen auch unter außergewöhnlichen Belastungen sicherzustellen und die Widerstandsfähigkeit dieser Infrastrukturen gegenüber unterschiedlichen Gefährdungen zu stärken (Richtlinie (EU) 2022/2557). Neben klassischen Gefährdungen wie Naturereignissen oder technischen Störungen gewinnen insbesondere Cyberangriffe sowie die zunehmenden Abhängigkeiten zwischen Kritischer Infrastrukturen an Bedeutung (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2023).

Mit dem 2026 verabschiedeten KRITIS-Dachgesetz wurde der regulatorische Rahmen für den physischen Schutz Kritischer Infrastrukturen erweitert. Ziel ist, Betreiber kritischer Anlagen zu einer systematischen Identifikation und Bewertung von Risiken sowie zur Umsetzung angemessener Resilienzmaßnahmen zu verpflichten (KRITIS-DachG, 2026). Damit rückt neben dem Schutz einzelner Anlagen zunehmend die Aufrechterhaltung kritischer Dienstleistungen und Versorgungsprozesse in den Mittelpunkt. Mit der Einordnung als Kritische Infrastruktur gehen besondere Anforderungen an die Sicherstellung der Funktions- und Leistungsfähigkeit dieser Einrichtungen einher. Dabei rückt insbesondere das Konzept der Resilienz in den Mittelpunkt, da es die Fähigkeit beschreibt, kritische Dienstleistungen auch unter außergewöhnlichen Belastungen aufrechtzuerhalten. Im Kontext Kritischer Infrastrukturen beschreibt Resilienz die Fähigkeit eines Systems, seine wesentlichen Funktionen trotz Störungen, Krisen oder Ausfällen aufrechtzuerhalten, sich an veränderte Rahmenbedingungen anzupassen und nach einer

¹ Die Blood Supply Chain (Blutversorgungskette) umfasst alle aufeinander abgestimmten Prozesse von der Blutspende über Verarbeitung, Lagerung und Verteilung bis zur Anwendung beim Patienten, mit dem Ziel einer sicheren und kontinuierlichen Versorgung mit Blutprodukten.

Beeinträchtigung möglichst schnell wieder einen funktionsfähigen Zustand zu erreichen (KRITISDachG, 2026)

Im Gesundheitssektor zählen insbesondere Einrichtungen zur stationären medizinischen Versorgung sowie Anlagen zur Herstellung und Bereitstellung verschreibungspflichtiger Arzneimittel sowie von Blut- und Plasmaprodukten zu den Kritischen Infrastrukturen (BSI-KritisV, 2016).

2.2 Rechtliche und Regulatorische Einordnung des Blutspendewesens

Die Blutversorgung unterliegt in Deutschland umfassenden regulatorischen Vorgaben. Die Anforderungen an die Gewinnung, Herstellung, Prüfung, Qualitätssicherung und Anwendung von Blut und Blutprodukten werden durch das Transfusionsgesetz (TFG), das Arzneimittelgesetz (AMG), die Arzneimittel- und Wirkstoffherstellungsverordnung (AMWHV) sowie die Richtlinie Hämotherapie der Bundesärztekammer umfassend und detailliert geregelt (TFG, 1998; AMG, 1976; AMWHV, 2006; Bundesärztekammer, 2023). Hinzu kommen weitere regulatorische Anforderungen, darunter die Leitlinien zur Good Distribution Practice (GDP) (European Commission, 2013), die EU-Good-Manufacturing-Practice-(GMP)-Standards (European Commission, 2017), das Medizinprodukte-recht-Durchführungsgesetz (Bundesministerium der Justiz, 2020), das Infektionsschutzgesetz (Bundesministerium der Justiz, 2000) sowie die Datenschutz-Grundverordnung (Europäisches Parlament & Rat, 2016). Diese Regelwerke bilden die Grundlage für die sichere Bereitstellung von Blutprodukten und gelten grundsätzlich und damit auch unabhängig von einer Einstufung als Kritische Infrastruktur.

Die rechtliche Einordnung von Blutspendeeinrichtungen als Betreiber einer Kritischen Infrastruktur ist von deren Größe resp. Volumen abhängig und erfolgt auf Grundlage der BSI-Kritisverordnung (BSI-KritisV). Gemäß § 6 Abs. 1 Nr. 3 BSI-KritisV zählt die Versorgung mit verschreibungspflichtigen Arzneimitteln sowie Blut- und Plasmaprodukten zu den kritischen Dienstleistungen des Gesundheitssektors (BSI-KritisV, 2016). Für Einrichtungen des Blutspendewesens ist insbesondere die Anlagenkategorie „Blut- oder Plasmaspendensteuerungssystem“ relevant. Eine Einrichtung gilt als Betreiber einer Kritischen Infrastruktur, wenn über dieses System jährlich mindestens 34.000 Blut- oder Plasmaprodukte hergestellt oder in Verkehr gebracht werden (Anhang 5 Teil 3 Nr. 3.1.2 BSI-KritisV, 2016).

Die BSI-KritisV und das KRITIS-Dachgesetz ergänzen

sich dabei. Während die BSI-KritisV bestimmt, welche Anlagen aufgrund definierter Schwellenwerte als Kritische Infrastruktur gelten, legt das KRITIS-Dachgesetz Anforderungen an deren Resilienz sowie an das Risiko- und Krisenmanagement fest. Hierzu gehören insbesondere die Durchführung von Risikoanalysen, die Umsetzung angemessener technischer und organisatorischer Schutzmaßnahmen sowie die Etablierung einer wirksamen Notfall- und Krisenvorsorge (KRITISDachG, 2026).

Für Blutspendedienste, welche jährlich mindestens 34.000 Blut- oder Plasmaprodukte herstellen bedeutet dies, dass zwischen der regulatorischen Einstufung als KRITIS-Betreiber und der systemischen Bedeutung der Blutversorgung unterschieden werden muss. Die Einstufung als Betreiber einer Kritischen Infrastruktur erfolgt ausschließlich anhand der in der BSI-KritisV definierten Schwellenwerte (BSI-KritisV, 2016). Unabhängig von ihrer regulatorischen Einordnung ergibt sich die besondere Kritikalität von Blutspendediensten vor allem aus ihrer engen Vernetzung mit weiteren Leistungserbringern aus dem Feld Kritischen Infrastrukturen. Für die Gewinnung, Herstellung, Lagerung und Distribution von Blutprodukten sind sie auf das zuverlässige Funktionieren verschiedener Infrastrukturektoren – beispielsweise der Energieversorgung, Informations- und Kommunikationstechnik, Logistik oder des Gesundheitswesens – angewiesen (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, 2019). Beeinträchtigungen in diesen abhängigen Systemen können sich entlang der Prozesskette fortpflanzen und die kontinuierliche Versorgung mit Blutprodukten erheblich beeinträchtigen (Thomas et al., 2018). Vor diesem Hintergrund sind Blutspendedienste als Teil eines komplexen sozio-technischen Systems zu betrachten, dessen Resilienz nicht allein durch die Leistungsfähigkeit einzelner Organisationen bestimmt wird, sondern maßgeblich von den Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen den beteiligten Akteuren und Infrastrukturen geprägt ist (Carayon, 2012).

Die regulatorische Einstufung nach der BSI-KritisV beantwortet die Frage, welche Einrichtungen aufgrund gesetzlich definierter Schwellenwerte als Betreiber Kritischer Infrastrukturen gelten. Sie erklärt jedoch nicht, wodurch die besondere Kritikalität der Blutversorgung entsteht. Diese ergibt sich aus den Eigenschaften der Blutprodukte, der komplexen Prozessstruktur sowie den vielfältigen Abhängigkeiten innerhalb der Blood Supply Chain. Diese Zusammenhänge werden im folgenden Kapitel näher analysiert.

3. Blutspendewesen als eigene Kritische Infrastruktur?

3.1 Besonderheiten der Blutversorgung

Die Versorgung mit Blutprodukten ist vollständig auf die kontinuierliche Bereitschaft freiwilliger, unentgeltlicher Blutspenderinnen und Blutspender angewiesen (World Health Organization 2022; Laermans et al., 2022). Im Gegensatz zu industriell hergestellten Arzneimitteln kann ein kurzfristiger Produktionsausfall nicht durch eine nachgelagerte Erhöhung der Herstellungskapazitäten kompensiert werden.

Zusätzlich wird die Verfügbarkeit von Blutprodukten durch ihre biologische bedingte Haltbarkeit und damit limitierte Bevorratungsmöglichkeit begrenzt. Während Erythrozytenkonzentrate – abhängig vom verwendeten Konservierungsverfahren – bis zu 42 Tage gelagert werden können, beträgt die Haltbarkeit von Thrombozytenkonzentraten lediglich vier bis sieben Tage (European Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare, 2025; Bundesärztekammer, 2023). Bei Blutkomponenten mit längerer Haltbarkeit, wie gefrorenem Frischplasma (Fresh Frozen Plasma, FFP) oder kryokonservierten Erythrozytenkonzentraten, wird die Lagerdauer maßgeblich durch das jeweilige Herstellungsverfahren sowie die gewählte Lagertemperatur bestimmt (Bundesärztekammer, 2023). Die Lagerung kryokonservierter Erythrozyten erfolgt bei Temperaturen von bis zu -60°C oder darunter und ist mit einem entsprechend hohen Energiebedarf verbunden. Das Blutspendewesen ist damit unmittelbar auf eine jederzeit verfügbare Energieversorgung sowie eine leistungsfähige Kühlinfrastruktur angewiesen. Diese biologischen Eigenschaften unterscheiden die Blutversorgung grundlegend von vielen anderen Bereichen der Arzneimittelversorgung. Die Versorgungssicherheit hängt nicht von der Lagerung großer Reserven oder einer kurzfristigen Produktionssteigerung ab, sondern von einem kontinuierlich funktionierenden Versorgungssystem.

Blutspendedienste müssen kontinuierlich ein Gleichgewicht zwischen Spendeaufkommen, Herstellung, Lagerung und klinischem Bedarf aufrechterhalten. Bereits kurzfristige Veränderungen des Spendeaufkommens oder des Bedarfs können Auswirkungen auf die Verfügbarkeit einzelner Blutkomponenten haben.

3.2 Die Blutversorgung als Netz verschiedener Prozessketten

Die Blutversorgung ist gekennzeichnet durch eine Vielzahl

aufeinanderfolgender hochgradig spezialisierter Prozessschritte. Diese reichen von der Spendergewinnung (inkl. zugehöriger Terminierung und Beplanung der Produktionskapazitäten) über die Vorbereitung und Durchführung der Blutspendetermine als solches, den Transport, die Laboruntersuchungen, die Herstellung und Freigabe der Blutkomponenten bis zur Lagerung, Distribution und Anwendung beim Patienten (Pirabán et al., 2019).

Die einzelnen Prozessschritte bauen zeitlich sowie funktional aufeinander auf (Pirabán et al., 2019) und aufgrund regulatorischer Anforderungen sowie der eingesetzten Informations- und Dokumentationssysteme muss jeder Prozessschritt vorgabenkonform durchgeführt und lückenlos dokumentiert werden. Gleichzeitig lassen die biologischen Eigenschaften der Blutprodukte und die Herstellungsprozesse keine beliebige zeitliche Verschiebung oder das Überspringen einzelner Prozessschritte zu. So erfolgen zwar beispielsweise Herstellung und Laboruntersuchungen parallel; eine Freigabe und klinische Anwendung der Blutprodukte sind jedoch erst nach Abschluss sämtlicher vorgeschriebener Untersuchungen und Vorliegen unauffälliger Testergebnisse zulässig.

Für Blutspendedienste bedeutet dies, vergleichbar klassischen Produktionsbetrieben, dass einzelne Prozessschritte zwar eigenständig durchgeführt und dokumentiert, jedoch nicht isoliert betrachtet werden können. Vielmehr hängt auch hier die Versorgungssicherheit von einem störungsfreien Zusammenwirken sämtlicher organisatorischer, logistischer, technischer und personeller Prozesse entlang der gesamten Blood Supply Chain ab.

3.3 Kritische Abhängigkeiten in der Blutversorgung

Neben den biologischen Besonderheiten ist die Blutversorgung durch zahlreiche wechselseitige Abhängigkeiten gekennzeichnet. Die Gewinnung, Herstellung und Bereitstellung von Blutprodukten setzt in besonderem Maße qualifiziertes Personal, geeignete Labor- und Produktionskapazitäten sowie funktionierende technische und logistische Infrastrukturen voraus (Bundesärztekammer, 2023; European Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare, 2025).

Mit der zunehmenden Digitalisierung treten Informations- und Kommunikationstechnologien als übergreifende Abhängigkeit hinzu. Entsprechend gewinnen sichere IT-Systeme, wirksame Cybersicherheitsmaßnahmen und redundante Strukturen an Bedeutung (Pendry, 2015; Gabbay-Benziv et al., 2023; Bundesamt für Sicherheit in der

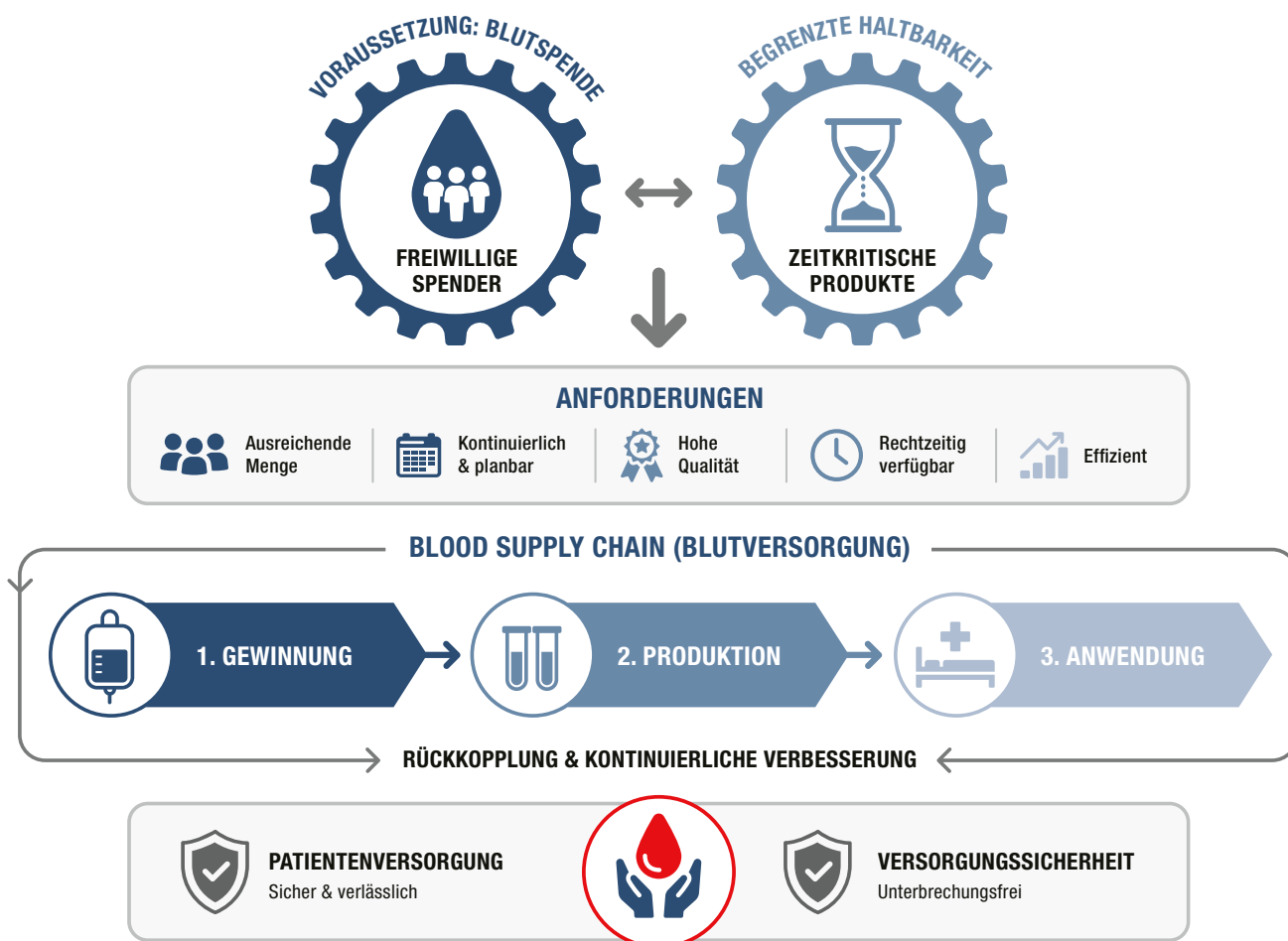


Abbildung 1: Darstellung der Besonderheiten und Abhängigkeiten. Eigene Darstellung. Bild mit KI generiert. Bearbeitet.

Informationstechnik, 2023).

Krisenereignisse können sich zwischenzeitlich gleichzeitig auf mehrere Bereiche der Blutversorgung auswirken und die Stabilität der gesamten Blood Supply Chain beeinträchtigen. Während der COVID-19-Pandemie wurden international Rückgänge des Spendeaufkommens infolge von Mobilitäts- und Kontaktbeschränkungen beobachtet (Al-Riyami et al. 2022). Gleichzeitig standen Blutspendedienste vor erheblichen Herausforderungen, darunter personelle Einschränkungen, eine erhöhte Arbeitsbelastung sowie erschwerte Bedingungen bei der Durchführung von Blutspendeterminen und der Organisation logistischer Prozesse (Garcia-Lopez et al., 2021; Hu et al., 2021). Parallel dazu führten Veränderungen des Transfusionsbedarfs zu zusätzlichen Anforderungen an die Steuerung der Blutversorgung (Stanworth et al., 2020; Pagano et al., 2020).

Auch Naturereignisse können die Blutversorgung erheblich beeinträchtigen, indem als deren Folge medizinische

Einrichtungen beschädigt, Transportwege unterbrochen oder Kommunikationsstrukturen in deren Nutzbarkeit eingeschränkt werden (Jabbarzadeh et al., 2014). Gleichzeitig kann der transfusionsmedizinische Bedarf infolge verletzungsbedingter Blutverluste kurzfristig deutlich ansteigen (Tabatabaie et al., 2010). Die Erfahrungen verdeutlichen, dass die Aufrechterhaltung der Blutversorgung maßgeblich von einer engen Zusammenarbeit der beteiligten Akteure, einer kontinuierlichen Überwachung der Blutbestände sowie einer flexiblen Steuerung der Versorgungsprozesse abhängt (Stanworth et al., 2020; Pagano et al., 2020).

Entscheidend für das Blutspendewesen ist das Zusammenwirken biologischer, organisatorischer, technischer und logistischer Prozesse innerhalb eines hochgradig vernetzten Versorgungssystems. Die Analyse dieser Prozesskette bildet die Grundlage für die nachfolgende Untersuchung der Prozessschritte, ihrer funktionalen Abhängigkeiten sowie der daraus resultierenden Verwundbarkeiten.

4. Die Blutversorgung als eigenständige kritische Prozesskette

Aufbauend auf der Einordnung des Blutspendewesens als Kritische Infrastruktur wird die Blood Supply Chain in diesem Kapitel systematisch analysiert. Betrachtet werden zunächst die einzelnen Prozessschritte und ihre spezifischen Abhängigkeiten (**Tabelle 1**), anschließend die funktionalen und ressourcenbezogenen Abhängigkeiten, die quer zur Prozesskette wirken, sowie die daraus resultierenden Kaskadeneffekte.

4.1 Prozessschritte der Blutversorgung

Auf Grundlage der beschriebenen Blood Supply Chain lassen sich die wesentlichen Prozessakteure der Blutversorgung wie folgt zusammenfassen:

1. Bestellung und Belieferung mit den benötigten Verbrauchs-, Gebrauchs- und Hilfsstoffen, die im Herstellungsprozess zum Einsatz gelangen.
2. Vorbereitende (organisatorische) Maßnahmen zu

Spendergewinnung, Terminmanagement, Verwendungskonformer Vorbereitung der Materialien sowie Vorbereitung und Beladung der Fahrzeuge für die Durchführung der Sendetermin sowie nachfolgend Transport der gewonnenen Spenden

3. Durchführung des Blutspendetermin mit Blutspende und Probengewinnung vor Ort
4. Transport der Blutspenden und Blutproben an den Bestimmungsort – i. d. R. Standort der Labore resp. Produktion
5. Untersuchung der Blutproben im Labor
6. Produktion mit Herstellung und Freigabe der Blutprodukte
7. Lagerung und Bestandsmanagement
8. Distribution und klinische Anwendung

Tabelle 1 fasst für diese Prozessschritte die zentrale Aufgabe, die jeweils kritischen Abhängigkeiten sowie mögliche Auswirkungen eines Ausfalls zusammen.

Prozessschritt	Zentrale Aufgabe	Kritische Ressourcen/ Abhängigkeiten	Mögliche Auswirkungen eines Ausfalls
Spendergewinnung	Gewinnung ausreichender Spenden	Spender, Personal, IT	Rückgang des Spendeaufkommens
Blutspende	Gewinnung von Vollblut	Spender, Personal, Material, Verkehrsinfrastruktur; Energie	Reduzierte Produktionsmenge
Transport	Transport der Blutspenden und Proben	Verkehrsinfrastruktur, Energie, Fahrzeuge, Personal	Keine Testung und Herstellung möglich
Labor	Testung und Freigabe	Laborgeräte, Reagenzien, IT, Personal, Energie, Wasser	Verzögerte oder ausbleibende Freigabe
Herstellung	Separation der Blutkomponenten, Produktion der Präparate insbesondere EK; TK; FFP	Technik, Personal	Geringere Produktionskapazität oder Produktionsstillstand
Lagerung	Bevorratung	Kühlung, Energie, Lagerkapazität	Verlust von Blutprodukten
Distribution	Versorgung der Kliniken	Verkehrsinfrastruktur, Energie, Fahrzeuge, Personal	Lieferverzögerungen

Tabelle 1: Prozessschritte der Blutversorgung und ihre kritischen Abhängigkeiten

Die schrittbezogene Betrachtung zeigt, dass sich zentrale Ressourcen – etwa Personal, Energie und Informationstechnik – nicht dezidiert und exklusiv einzelnen Prozessschritten zuordnen lassen, sondern quer in der gesamten Prozesskette wirken. Diese übergreifenden Abhängigkeiten werden im folgenden Abschnitt systematisch analysiert.

4.2 Abhängigkeiten innerhalb in der Prozesskette

Wie beschrieben, ist die Prozesskette der Blutversorgung durch vielfältige, eng miteinander verknüpfte Abhängigkeiten geprägt. Diese bestehen sowohl zwischen den einzelnen Prozessschritten als auch hinsichtlich der hierfür erforderlichen personellen, technischen und materiellen Ressourcen. Darüber hinaus bestehen sektorübergreifende Abhängigkeiten von weiteren Kritischen Infrastrukturen, beispielsweise der Energieversorgung, Informations- und Kommunikationstechnik sowie Transport und Logistik. Nachfolgend werden die wesentlichen Interdependenzen in sachlichen Gruppen dargelegt:

Zeitliche und organisatorische Abhängigkeiten ergeben sich aus der begrenzten Haltbarkeit der Blutkomponenten und der festen Abfolge der Prozessschritte. Die Auftrennung einer Vollblutspende in ihre Komponenten muss innerhalb weniger Stunden erfolgen, und eine Freigabe setzt die erfolgreiche Blutspende, den rechtzeitigen Transport sowie den Abschluss sämtlicher Laboruntersuchungen voraus (Bundesärztekammer, 2023). Da sich einzelne Schritte aus regulatorischen und produktspezifischen Gründen in der Regel weder vorziehen noch nachholen lassen, wirken sich Verzögerungen unmittelbar auf nachgelagerte Prozesse aus.

Personelle Abhängigkeiten betreffen insbesondere ärztliches Personal sowie Mitarbeitende in Blutentnahme, Labor, Herstellung, Qualitätssicherung und Logistik (Bundesärztekammer, 2023). Während sich technische Systeme häufig redundant auslegen lassen, kann hochqualifiziertes Personal kurzfristig nur begrenzt ersetzt oder aufgestockt werden; personelle Ausfälle – etwa in Folge von Pandemien oder Streiks – können daher mehre-

re Prozessschritte gleichzeitig betreffen und stellen einen zentralen Single Point of Failure dar.

Technische Abhängigkeiten umfassen Laborgeräte, Produktionsanlagen und Kühlketten ebenso wie Informations- und Kommunikationssysteme, die nahezu alle Kernprozesse – von der Spenderverwaltung über die Laboranalytik bis zur Rückverfolgbarkeit – unterstützen (Bundesärztekammer, 2023). Ein Ausfall zentraler IT-Systeme kann mehrere Prozessschritte zugleich beeinträchtigen und die Transparenz innerhalb der Versorgungskette reduzieren; neben technischen Defekten gewinnen dabei Cyber- und Ransomware-Angriffe zunehmend an Bedeutung (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2023).



Ein Ausfall zentraler IT-Systeme kann mehrere Prozessschritte zugleich beeinträchtigen und die Transparenz innerhalb der Versorgungskette reduzieren [...]

Materielle und logistische Abhängigkeiten ergeben sich aus der kontinuierlichen Verfügbarkeit von Verbrauchs-, Gebrauchs- sowie Anlagegütern und aus funktionierenden Transport- und Lieferketten. Da viele Materialien und Anlagen regulatorischen Anforderungen unterliegen und validiert werden müssen, ist ein kurzfristiger Ersatz häufig nur eingeschränkt möglich (European Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare, 2025); Unterbrechungen der Lieferketten können angesichts der be-

grenzten Haltbarkeit vieler Blutkomponenten rasch zu Versorgungsengpässen führen (Gammon et al., 2023).

Sektorübergreifende Abhängigkeiten verbinden das Blutspendewesen mit weiteren Kritischen Infrastrukturen. Blutspendedienste sind selbst Teil des KRITIS-Sektors Gesundheit (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2023), zugleich aber auf die Energieversorgung, die Informations- und Kommunikationstechnik sowie die Transportinfrastrukturen angewiesen. Da die Energieversorgung ihrerseits eine Kritische Infrastruktur darstellt, besteht hier eine besonders ausgeprägte Abhängigkeit: Ein länger andauernder Stromausfall kann Kühlketten, Laborprozesse, Produktionsanlagen und IT-Systeme gleichzeitig betreffen, während Einschränkungen im Verkehrssektor mobile Blutspendetermine oder die Belieferung von Krankenhäusern verzögern.

Kritische Res- source / Funktion	Betroffene Prozessschritte	Auswirkungen eines Ausfalls	Kurzfristig kompensierbar	Systemische Kritikalität
Blutspenderinnen und Blutspender	Blutspendetermin	Rückgang der verfügba- ren Blutspenden und der Produktionskapazität	nein	sehr hoch
Fachpersonal	Blutspende, Labor, Herstellung, Logistik	Einschränkung oder Stillstand wesentlicher Kernprozesse	eingeschränkt	sehr hoch
Laboranalytik und Freigabe	Testung, Freigabe	Keine Freigabe transfusionsfähi- ger Blutprodukte	eingeschränkt	sehr hoch
Stromversorgung	Labor, Herstellung, Lagerung	Ausfall von Produktion, Kühlung und IT-Systemen	teilweise	sehr hoch
Informations- und Kommunikations- technik	Prozessübergreifend	Unterbrechung von Prozesssteuerung, Dokumentation und Rückverfolgbarkeit	teilweise	hoch
Transport- und Logistiksysteme	Transport, Lagerung, Distribution	Verzögerte Bereitstellung und Auslieferung von Blutprodukten	teilweise	hoch
Reagenzien und Verbrauchs- materialien	Labor, Herstellung	Einschränkung oder Stillstand der Testung und Produktion	teilweise	hoch

Tabelle 2²: Systemische Kritikalität zentraler Ressourcen der Blutversorgung

Kaskadeneffekte entstehen, weil sich Störungen entlang der eng gekoppelten Prozesskette fortpflanzen und dabei häufig zeitversetzt wirken. Der Ausfall mehrerer mobiler Blutspendetermine führt zunächst nur zu einem Rückgang des Spendeaufkommens; erst in den folgenden Tagen sinken die Produktionsmengen und Lagerbestände und schließlich die Verfügbarkeit einzelner Blutkomponenten in den Krankenhäusern. Da solche Effekte den Ursprung einer Störung oft schwer erkennbar machen, ist ihre frühzeitige Identifikation eine wesentliche Voraussetzung für gezielte Resilienzmaßnahmen.

4.3. Kritikalität in Bezug auf Ressourcen – intern und extern

Die faktisch höchste systemische Kritikalität liegen in den Schritten des Spendeaufkommens sowie Laboranalytik und Freigabe: Da Blut und Blutkomponenten derzeit nicht künstlich hergestellt werden können und nur begrenzt haltbar sind, bildet das Spendeaufkommen wie

ausgeführt die Grundlage sämtlicher nachgelagerten Prozesse, während ohne Freigabe keine transfusionsfähigen Blutkomponenten bereitgestellt werden dürfen. Ebenso hätte ein Ausfall der Stromversorgung unmittelbare Folgen für mehrere Kernprozesse, da Laborbetrieb, Herstellung, Kühlung und IT-Systeme zugleich betroffen wären. Informations- und Kommunikationstechnik, Logistik sowie die Versorgung mit Reagenzien besitzen ebenfalls eine hohe Bedeutung, lassen sich jedoch – abhängig von vorhandenen Redundanzen und Notfallkonzepten – teilweise kompensieren; ihre Kritikalität ergibt sich weniger aus fehlender Ersetzbarkeit als aus ihrer engen Vernetzung mit den übrigen Prozessen.

5. Fazit und Ausblick

Der vorliegende Beitrag hat das Blutspendewesen im Kontext der Diskussion zu Kritischer Infrastrukturen analysiert. Dabei zeigt sich, dass dessen Kritikalität nicht allein

² Anmerkung. Die Bewertung beruht auf einer konzeptionellen Analyse der Prozesskette und dient der Einordnung der systemischen Kritikalität einzelner Ressourcen; sie stellt keine empirische Risikobewertung dar.

auf der lebenswichtigen Funktion von Blutprodukten und deren Beitrag zur medizinischen Versorgung beruht, sondern wesentlich aus dem Zusammenwirken produktspezifischer Besonderheiten und einer Vielzahl interner und externer Abhängigkeiten entlang der Blood Supply Chain entsteht (s. **Tabelle 2**). Ressourcen, deren Ausfall mehrere Prozessschritte gleichzeitig beeinträchtigt und die sich nicht kurzfristig kompensieren lassen, weisen eine besonders hohe systemische Kritikalität auf.

Die Bewertung verdeutlicht zugleich, dass kritische Auswirkungen vor allem dort entstehen, wo einzelne Ressourcen mehrere Prozessschritte gleichzeitig tragen und nur eingeschränkt kompensiert werden können. Die Verwundbarkeit des Blutspendewesens geht damit weniger auf einzelne Anlagen oder Organisationseinheiten zurück als auf das Zusammenwirken produktspezifischer Besonderheiten, komplexer Prozessabhängigkeiten und vielfältiger Interdependenzen innerhalb eines hochgradig vernetzten Versorgungssystems. Resilienz sollte daher nicht isoliert auf einzelne Einrichtungen oder Prozesse, sondern auf die Fähigkeit des Gesamtsystems ausgerichtet werden, seine kritischen Versorgungsfunktionen auch unter außergewöhnlichen Belastungen aufrechtzuerhalten.

Für die Praxis ergeben sich daraus konkrete Handlungsfelder für Blutspendedienste:

1. Die systematische Identifikation kritischer Prozessschritte und Single Points of Failure muss zielgerichtet und strukturiert erfolgen und aktuell verfügbar sein.
2. Gezielter Aufbau sowie Vorhaltung technischer und personeller Redundanzen sowie erprobter Notfall- und Business-Continuity-Konzepte an den identifizierten Engstellen.
3. Ein kontinuierliches Monitoring zentraler Ressourcen – insbesondere der Personalverfügbarkeit, der Blutbestände und der IT-Systeme –, um Engpässe frühzeitig zu erkennen und rechtzeitig gegensteuern zu können.

Dies ist unter dem Gebot der Wirtschaftlichkeit eine besondere Herausforderung, da die hierdurch faktisch entstehenden sog. Überhangkapazitäten nur eingeschränkt in marktgerechten Preisen abgebildet werden können.

4. Zusätzliche Verbindlichkeit erhält diese Ausrichtung durch den regulatorischen Rahmen: Mit dem KRITIS-Dachgesetz und der Umsetzung der CER-Richtlinie rückt die systematische Stärkung der Resilienz Kriti-

scher Infrastrukturen zunehmend in den Mittelpunkt der Anforderungen. Für Blutspendedienste gewinnen die genannten Aufgaben damit über die etablierten Anforderungen an Qualität und Arzneimittelsicherheit hinaus zunehmend an rechtlicher Bedeutung.

Der in diesem Beitrag verfolgte prozessorientierte Ansatz – die Gliederung der Blood Supply Chain in einzelne Prozessschritte, die Analyse ihrer funktionalen internen und externen Abhängigkeiten sowie die Bewertung der systemischen Kritikalität einzelner Ressourcen – bietet hierfür einen konzeptionellen Bezugsrahmen. Auf dieser Grundlage lassen sich Verwundbarkeiten transparent identifizieren und hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit einordnen. Der Beitrag schafft damit einen Ausgangspunkt für weiterführende Risiko- und Business-Impact-Analysen sowie für die Entwicklung evidenzbasierter Resilienzstrategien in Blutspendediensten. Die Analyse verdeutlicht zudem, dass die im Blutspendewesen handelnden Akteure in besonderer Verantwortung stehen, ihr Leistungsspektrum jederzeit zuverlässig sicherzustellen. Ein systematisches Resilienz- und Kontinuitätsmanagement entlang der gesamten Blood Supply Chain bildet hierfür eine wesentliche Voraussetzung.

Über die transfusionsmedizinische Perspektive wird erkennbar, dass sich eine prozessorientierte KRITIS-Analyse eignet, um die Blutversorgung als komplexes Versorgungssystem zu verstehen und gezielt weiterzuentwickeln. Der Beitrag leistet damit einen Beitrag zur zukünftigen Ausgestaltung eines resilienten Blutversorgungssystems. ■

Die Autoren



Stefanie Popp

Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Institut Rettungswesen,
Notfall- und Katastrophenmanagement (IREM), Nürnberg,
Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt (THWS),
stefanie.popp@thws.de



Denise Schuster

Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Institut Rettungswesen,
Notfall- und Katastrophenmanagement (IREM), Nürnberg,
Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt (THWS),
denise.schuster@thws.de



Prof. Dr. Peter Bradl MHMM

Leiter Institut Rettungswesen, Notfall- und Katastrophenmanagement (IREM), Nürnberg
Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt (THWS)
peter.bradl@thws.de

Weitere Informationen zu den Autoren finden Sie unter

www.drk-haemotherapie.de/autoren



Hilfreiche Downloads und weitere Informationen
zu diesem Beitrag finden Sie in der hämo-App, z. B.

-  Literaturhinweise
-  Weitere Beiträge zu diesem Thema
-  Weitere Infos zu den Autoren



Direkt zum Beitrag:

[www.drk-haemotherapie.de/
beitraege/47-infrastruktur](http://www.drk-haemotherapie.de/beitraege/47-infrastruktur)

Dr. rer. nat. Eduard K. Petershofen, Dr. med. Christian Brockmann

How do we ...? / Wie machen wir ...?

Musterschulungsvorlagen für Mitarbeitende, die am Transport von Blutprodukten beteiligt sind

ZUSAMMENFASSUNG Personen, die innerhalb einer Einrichtung mit dem Transport von Blutprodukten betraut sind, müssen in die spezifischen Anforderungen und besonderen Rahmenbedingungen dieser Transporte eingewiesen und entsprechend qualifiziert geschult werden. Der vorliegende Beitrag beschreibt hierzu praxisbewährte Vorgehensweisen, die eine effiziente Umsetzung der Schulungsanforderungen unter Einsatz standardisierter Merkblätter ermöglichen. Dabei erfolgt eine differenzierte Betrachtung von Personengruppen mit einschlägiger Vorerfahrung in der Handhabung von Arzneimitteln sowie von nicht-medizinischem Personal.

SUMMARY Personnel involved in the intra-institutional transport of blood products must be instructed in the specific requirements and particular conditions associated with such transport and must receive appropriate, qualified training. This article presents established, practice-oriented approaches that enable efficient implementation of these training requirements through the use of standardized information sheets. A distinction is made between personnel with relevant prior experience in the handling of medicinal products and non-medical staff.

Einleitung

Blutprodukte stellen labile Arzneimittel dar, die besonderen Überwachungs- und Handhabungsanforderungen unterliegen. Auch innerbetriebliche Transporte müssen daher unter streng kontrollierten Bedingungen erfolgen. Voraussetzung hierfür ist ein fundiertes Verständnis derjenigen Einflussfaktoren und Situationen, die die Qualität und Sicherheit von Blutprodukten beeinträchtigen können, sowie der zulässigen und richtlinienkonformen Transportbedingungen¹.

Die Gesamtverantwortung für das Blutdepot obliegt der ärztlichen Blutdepotleitung (BDL). Für die Ausübung dieser Funktion ist gemäß der Richtlinie der Bundesärztekammer zur Gewinnung von Blut und Blutbestandteilen und zur Anwendung von Blutprodukten (RiliBÄK-Hämotherapie), Kapitel 6.4.1.3.7 („Leitung des Blutdepots“), eine entsprechende Qualifikation erforderlich².

Zu den wesentlichen Aufgaben der ärztlichen Blutdepotleitung zählen:

- die Organisation des Blutdepots,
- Standardarbeitsanweisungen (SOPs) für alle Tätigkeiten im Zusammenhang mit Blutprodukten,
- die Sicherstellung der produktspezifischen Lagerungsbedingungen,
- die Organisation der Transporte innerhalb der Einrichtung,
- die Mitwirkung an der Meldung des Verbrauchs von Blutprodukten
- sowie die strukturierte Schulung und regelmäßige Fortbildung der am Transport beteiligten Personen.

Ziel der Schulungsmaßnahmen ist es, sicherzustellen, dass alle am Transport beteiligten Personen über die erforderlichen Kenntnisse und Fertigkeiten verfügen, um die Qualität und Sicherheit von Blutprodukten entlang der gesamten Transportkette zu gewährleisten. Die Schulungsinhalte sollten daher strukturiert, qualitätsgesichert und didaktisch klar aufbereitet sein.

Eine ausführliche Darstellung zum Blutdepot finden Sie auch in Ausgabe 46 der hämotherapie vom Mai 2026.

Schulungsoptionen und Merkblätter

Für die Durchführung von Schulungsmaßnahmen sind vier Personengruppen zu berücksichtigen:

1. Pflegerisches Personal
2. Ärztliches Personal
3. Hol- und Bringdienste (HBD)
4. Einrichtungsexternes Personal

Bei den ersten beiden Gruppen handelt es sich um medizinisch qualifiziertes Personal mit fundierten Kenntnissen in der Arzneimittelhandhabung sowie in den geltenden Hygienestandards.

Die Gruppen 3 und 4 umfassen in der Regel nicht-medizinisch ausgebildete Personen, die jedoch insbesondere für Transportaufgaben eingesetzt werden. Während Mitarbeitende des Hol- und Bringdienstes (HBD) überwiegend innerhalb der Einrichtung tätig sind, übernehmen

externe Kräfte Transporte zwischen der Einrichtung und einer Blutspendezentrale. Hierzu zählen beispielsweise Mitarbeitende von DRK-Kreisverbänden, die häufig über spezialisierte Fahrzeuge mit Kühleinrichtungen sowie Signaltechnik wie Blaulicht und Martinshorn verfügen, aber auch andere Anbieter medizinischer Transportdienste.

Für alle genannten Personengruppen trägt die Blutdepotleitung Mitverantwortung. Sie sollte deshalb Ersteinweisungen als auch regelmäßige Wiederholungsschulungen organisieren, um sicherzustellen, dass externe wie interne Mitarbeitende vor Aufnahme ihrer Tätigkeiten fachgerecht inhaltlich geschult und in der praktischen Handhabung der Blutprodukte dokumentiert unterwiesen werden.

Für diese Tätigkeit bietet es sich an, Bild- oder Videosequenzen zu erstellen, die die Arbeitsabläufe anschaulich visualisieren. Ergänzend können Merkblätter für die Kitteltasche bereitgestellt werden, wie beispielsweise in **Anlage 1 und 2**, die eine schnelle Übersicht über die wesentlichen Schulungsinhalte ermöglichen.

Solche kompakten Übersichten eignen sich ebenfalls für Medizintechnologen in Blutdepots, die primär an der protokollierten Ausgabe der Blutprodukte beteiligt sind: Sollten diese feststellen, dass eine hausinterne Person aus den Gruppen 1 bis 3 nicht über das erforderliche Wissen bzw. einen adäquaten Schulungsstand verfügt oder Blutprodukte nicht regelkonform handhabt, kann der betreffenden Person vorab ein Blutdepot-Merkblatt (**Anlage 1 und 2**) zur Durchsicht ausgehändigt werden – die Kenntnisnahme wäre anschließend durch Unterschrift zu bestätigen.

Hinweis: In einigen Einrichtungen wurde die Schulung des Pflegepersonals durch die Geschäftsführung an die Pflegedienstleitung (PDL) delegiert. Dabei erfolgte zunächst eine initiale Fortbildung der PDL sowie der einzelnen Stationspflegeleitungen durch die ärztliche Blutdepotleitung (BDL). Diese erfolgte in Form eines Kurzvortrags und der Ausgabe von „Merkblättern-Blutdepot“. Anschließend konnten die Stationspflegeleitungen diese Schulung mit den ihnen unterstellten stationären Pflegekräften sowie Auszubildenden durchführen, etwa mittags nach einer Stationsübergabe. Dieses Vorgehen ist wenig zeitintensiv und kurzfristig umsetzbar (z. B. einmal jährlich oder bei aktueller Nachschulung, Dauer etwa 15–20 min) und dank des Merkblattes inhaltlich strukturiert sowie gut verständlich.

Die Schulung ärztlichen Personals erfolgt gemäß RiliBÄK-Hämotherapie (2023), Kapitel 6.4.1.2 (QMS) und Kapitel 6.4.1.3.3.2 (TB), überwiegend durch die Transfusionsbeauftragten der jeweiligen Behandlungseinheiten. Auch hierfür könnten die Informationen aus **Anlage 1** genutzt werden.



Im Falle eines hauseigenen Hol- und Bringendienstes (HBD) sollte die Ersteinweisung für die regelmäßig wiederkehrenden Bluttransporttätigkeiten eher durch die ärztliche Blutdepotleitung (BDL) erfolgen. Um gleichzeitig als direkte Ansprechperson für fachliche Fragen zur Verfügung zu stehen, sollten diese spezifisch medizinischen Informationen unmittelbar durch die BDL und nicht über fachfremde Personen vermittelt werden. Für den HBD sowie für externes Transportpersonal wurde ein eigenes „Merkblatt Blutdepot für HBD/Transportdienste“ in **Anlage 2** zur Verfügung gestellt. ■

Die **Anlagen 1 und 2** finden Sie auf den folgenden Seiten.



Direkt zum Beitrag:

[www.drk-haemotherapie.de/
beitraege/47-schulung](http://www.drk-haemotherapie.de/beitraege/47-schulung)

Die Autoren



Dr. rer. nat. Eduard K. Petershofen

Facharzt für Transfusionsmedizin
Institut für Transfusionsmedizin Bremen-Oldenburg,
DRK-Blutspendedienst NSTOB gGmbH
eduard.petershofen@bsd-nstob.de



Dr. med. Christian Brockmann

Ärztlicher Leiter
Institut für Transfusionsmedizin Bremen-Oldenburg,
DRK-Blutspendedienst NSTOB gGmbH
christian.brockmann@bsd-nstob.de



Hilfreiche Downloads und weitere Informationen zu diesem Beitrag finden Sie in der hämo-App, z. B.

-  Literaturhinweise
-  Weitere Beiträge zu diesem Thema
-  Weitere Infos zu den Autoren

Merkblatt Blutdepot für Pflegekräfte / Ärztinnen und Ärzte

Verantwortlich: Ärztliche Blutdepotleitung (BDL)

Allgemeines

1. Blutprodukte (Erythrozytenkonzentrate [EK], gepoolte Thrombozytenkonzentrate [GTK], gefrorenes Plasma [TP, früher FFP]) sind Arzneimittel im Sinne des Arzneimittelgesetzes (AMG) und des Transfusionsgesetzes (TFG).
2. Blutprodukte sind **temperatur- und handhabungslabile** Präparate. Unsachgemäße Bedingungen führen zum Wirkverlust und können beim Patienten schwerwiegende Nebenwirkungen verursachen.
3. Erythrozytenkonzentrate (EK): Lagerung nur bei $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ in speziellen, erschütterungsfreien Kühlschränken. Normale Stationskühlschränke sind ungeeignet; Gefrierfächer können Anfrieren verursachen → Hämolysegefahr, bedeutet: potenziell schwere Patientenschädigungen.
4. Im Stationsbereich können EK bis zu sechs Stunden bei Zimmertemperatur zwischengelagert werden – aber inklusive der Transfusionszeit! Eine Rückgabe ins Blutdepot ist nicht möglich.
5. Gepoolte Thrombozytenkonzentrate (GTK): Lagerung bei $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ unter ständiger Bewegung, nur in temperatur-überwachten Inkubatoren. Abweichungen führen zur Inaktivität oder einer vorzeitigen Aktivität der Thrombozyten bereits im Beutel. Die Wirksamkeit nimmt mit jeder Stunde weiter ab.
6. Bei Ankunft auf Station / OP / Notaufnahme sollen Ärzte sofort informiert werden, damit eine zeitnahe Transfusion stattfinden kann.
7. Plasmen (FFP/TP): Lagerung bei $\leq$ (minus) -27°C ; einmal angetaute Plasmen dürfen nicht wieder eingefroren werden. Das Auftauen darf nur in dafür vorgesehenen, zertifizierten Geräten erfolgen.
8. Lyophilisierte Plasmapräparate können zwischen $15-25^{\circ}\text{C}$ gelagert werden, bzw. nach Etikettenangabe.
9. Die verschiedenen Blutprodukte dürfen wegen ihrer unterschiedlichen Lagerungsanforderungen **nie** gemeinsam in einem Transportbehälter befördert werden → gefrorene Plasmen niemals mit EK oder GTK transportieren.
10. Blutprodukte dürfen nicht von Patienten oder Angehörigen transportiert werden; auch im eigenen Krankenhaus gilt die Verpflichtung zum gesicherten Transport und zur Einhaltung des Datenschutzes.

Spezielles

11. Blutprodukte sollen nur transportiert werden, wenn eine entsprechende Schulung erfolgt ist. Dokumentation und Unterschrift erforderlich.
12. Die generelle Lagerung darf ausschließlich im Blutdepot/Labor erfolgen; die Ausgabe erfolgt nur auf schriftliche ärztliche Anforderung (Ausnahmen können bei Notfällen bestehen).
13. Die Ausgabe erfolgt nur durch geschultes Laborpersonal; notieren sie sich die Uhrzeit, um die 6-Stunden-Frist exakt bestimmen zu können (Uhrzeit minutengenau merken).
14. Holen Sie Blutprodukte nur mit vollständigen Patientendaten ab, z. B. mit einem Patientenaufkleber oder Abholschein; im Blutdepot keine Abgabe bei unklarer Patientenangabe.
15. Führen Sie nur direkte Transporte zur Station / OP ohne Umwege aus; informieren Sie die zuständigen Ärzte bei Ankunft sofort.

16. Transportieren Sie Blutprodukte verzugsweise in Behältern, damit Kontaminationen vermieden werden können; Handschuhe sind für den Transport nicht zwingend vorgeschrieben.
17. Blutbeutelmembranen sind für den Gasaustausch von Blutzellen geeignet; lagern Sie die Beutel daher nicht luftdicht verpackt in einem Plastikbeutel.
18. Blutprodukte dürfen nicht nach „eigenen“ Vorstellungen angewärmt werden (z. B. auf der Heizung, in der Mikrowelle, zwischen zwei Wärmflaschen, unter fließendem, warmen Wasser) – diese Varianten sind alle aufgrund bekannter Todesfälle **strengstens verboten**.
19. Ein Vorwärmen der Blutbeutel ist nur bei medizinischen Notwendigkeiten (z. B. starke Kälteantikörper, Gefahr der Auskühlung in Narkose oder Massivtransfusionen) erforderlich. Ein Vorwärmen ist prinzipiell nicht vorgesehen, da sich das Blut im Transfusionsschlauch bereits deutlich anwärmt.
Hinweis: Fehler beim Anwärmen treten häufiger auf als Nebenwirkungen durch kalte Blutprodukte.
20. Benutzen Sie immer Transfusionsbestecke mit Spezialfilter (170–230 µm; halten Gerinnsel und Partikel zurück) für eine Vorbereitung; Infusionsbestecke sind nicht erlaubt!
21. Patientendaten müssen auf dem Transportweg unkenntlich bleiben, damit sie für andere nicht lesbar sind.

Noch Unklarheiten?

Dann fragen Sie gern beim Laborpersonal, den Transfusionsbeauftragten oder bei der Blutdepotleitung nach.

Vielen Dank,

Ihre Blutdepotleitung

Merkblatt Blutdepot für HBD / Transportdienste

Allgemeiner Hinweis

Blutprodukte sind labile Arzneimittel. Unsachgemäßer Transport – etwa durch falsche Temperaturen, falsche Handhabung oder Zeitverzug – kann die Qualität der Produkte beeinträchtigen und beim Patienten schwerwiegende Nebenwirkungen auslösen.

1. Vorsichtige Handhabung

Blutprodukte müssen stets vorsichtig behandelt und nur in dem vorgesehenen Umfang transportiert werden.

2. Transportzeit und Restlaufzeit

Blutbeutel werden im Blutdepot unter gesicherter Temperatur gelagert. Sobald sie das Depot verlassen, beginnt eine Restlaufzeit von sechs Stunden für die Transfusion. Bitte notieren Sie sich die Empfangszeit für die Station auf einem Zettel, falls kein Depotetikett bereitgestellt wird.

3. Abholinformationen

Für die Abholung aus dem Blutdepot benötigen Sie folgende Angaben: Name, Vorname und Geburtsdatum des Patienten, zugehörige Station sowie die Anzahl der zu transportierenden Blutbeutel. Üblicherweise erhalten Sie dafür einen Abholschein oder ein Patientenetikett als Vorlage.

4. Dokumentation bei Ausgabe

Vor dem Transport müssen Sie Ihren eigenen Namen angeben und die Ausgabe durch Unterschrift bestätigen.

5. Beipackzettel

Blutbeutel können mit einem Begleitschein versehen sein. Beutel und Schein dürfen nicht voneinander getrennt werden → Blutbeutel und Beipackzettel deshalb nicht lose voneinander transportieren.

6. Nutzung von Transportbehältnissen

Kühltaschen, -kisten oder Transportboxen sind zu verwenden; sie werden Ihnen bereitgestellt und dürfen zur Erhaltung der Kühlkette nicht geöffnet werden.

7. Direkter Transport

Transportieren Sie Blutbeutel unmittelbar vom Blutdepot zum Zielort, ohne Umwege oder zusätzliche Aufgaben → die Produkte werden erwartet!

8. Übergabe der Präparate

Blutprodukte sind bei Ankunft möglichst immer einer Pflegefachkraft zu übergeben. In Ausnahmefällen können sie in einem vereinbarten, patientenfreien Bereich abgestellt werden.

9. Temperaturkontrolle

Vermeiden Sie eine Erwärmung, z. B. durch Sonneneinstrahlung oder Heizungen, oder Abkühlung der Blutprodukte, z. B. durch niedrige Außentemperaturen. Transportieren Sie **niemals** unterschiedliche Produktarten (z. B. rote oder gelbe Beutel, gefrorenes Plasma) **zusammen** in einem Behälter.

10. Weitergabe an Dritte

Blutprodukte dürfen nicht an Dritte oder Angehörige der Patienten übergeben werden.

11. Aufbewahrung während des Transports

Lassen Sie Blutprodukte nicht unbeaufsichtigt. Ausnahme im Ankunftsbereich: versiegelter Isolierbehälter oder eine Transporttasche mit Plombe.

12. Datenschutz

Stellen Sie ggf. sicher, dass Patientennamen von außen nicht erkannt werden können.

13. Schulung und Nachweis

Nehmen Sie regelmäßig an Schulungen teil und bestätigen Sie Ihre Teilnahme auf dem entsprechenden Nachweisblatt.

Vielen Dank,

Ihre Blutdepotleitung

Dr. med. Norbert Ostendorf

Kleine Erythrozyten sedimentieren anders

Extrem niedriges MCV führt zu falsch positiven Ergebnissen im Gelkartensystem

Bei einem Patienten mit folgenden Blutbildparametern wurde eine Blutgruppenbestimmung angefordert: Hämoglobinkonzentration: 4,5 g/dl, Erythrozytenzahl: 3,86 /pl, MCV: 49,7 fl, MCH: 11,7 pg. Ferritin war 2,9 ng/ml, Transferrinsättigung 1,7 %. Die Blutgruppe wurde an einem Vollautomaten IH 500 mit der Software IH-Com bestimmt (Fa. Bio-Rad, Diamed GmbH,

Pra Rond 23, 1785 Cressier FR, Schweiz). Hierauf kommt das Gelkartensystem der Fa. Bio-Rad zum Einsatz (Karten: DiaClon ABO/D-DAT, DiaClon Rh-Subgroups+K, DiaClon Rh+K Pheno II, Liss /Coombs). Die Erythrozyteneigenschaften waren AB Rh-positiv, CcD. ee, Kell negativ. Außerdem wurde eine Verträglichkeitsprobe für ein EK durchgeführt.

Verifizierung - Benutzer

Patient / Probanden: *17.04.2025 (F) []

Probe: IH-500 Testzeit: 06.05.2026 14:39 Durchgeführt von: ih500

Phenotype: C,c,E,e,K,ctf (DiaClon) (5011) Zweitablesung durch: []

Anti-E: 50110.96.06/27.01/538879

Kommentar (Reaktion):

Aktuelle Resultate **Kreuzprobe**

1	2	3	4	5	6
Anti-A	Anti-B	Anti-D VII	Anti-D VI	CTI	DAT
****	***	****	***	-**	-**

1	2	3	4	5	6
Anti-C	Anti-c	Anti-E	Anti-e	Anti-K	CTI
****	****	-**	****	-**	-**

1	2	3	4	5	6
Anti-C	Anti-c	Anti-E	Anti-e	Anti-K	CTI
****	****	-**	****	-**	-**

1	2	3	4	5	6
AT	B	O	I	II	III
-	-	-	-	-	-

Resultat:
AB Rh D positiv CcD. ee Kell negativ AKS negativ DAT negativ

ABO: AB AKS: AKS negativ Bekannte Antikörper (Text):

Rhesusformel: Cc ee ee ee DAT: DAT negativ

Rhesus-D: Rh D positiv Eigenkontrolle: Antikörper / weitere Antigene:

Kell: Kell negativ

Abbildung 1: Reaktionen der Patientin mit einem MCV von 49,7 fl. bei der Blutgruppenbestimmung, Screenshot der IH-Com-Software. Die nicht sedimentierten, kleinen Erythrozyten lassen sich visuell gut von Agglutinatn unterscheiden.

To whom it may concern

We hereby want to inform you about the following observation.

Microcytic anemia patients do present with heterogeneous populations of Red Blood Cell (RBCs) of various density as compared to other patient samples.

This may result in a few RBCs hanging in the wells at the end of the ID-Card centrifugation cycle instead of settling down at the bottom of the well (i.e., negative reaction no clean, see example below).



This is mostly observed with the ID-Card DiaClon Rh-Subgroups + K, ref. product 002124, 002127, 002126, 002125, 001397 and 001398.

This phenomenon is observed in the Ctl as well as in the other wells of the ID-Card making the overall result not interpretable. However, the test can be repeated with an alternative product less sensitive to this phenomenon (e.g. DiaClon Rh + K Pheno II, ref. product 002224, 002227, 002226, 002225).

January 25, 2022

Arnaud Reggiani
Scientific Affairs Officer

Alle bei dieser Konstellation als negativ zu erwartenden Kavitäten zeigten eine Interferenz in Form eines Schleiers, der sich von den sedimentierten Erythrozyten nach oben in die Gelsäule zog (siehe **Abbildung 1**). Dies betraf auch die Negativ-Kontrollen, die auf jeder der oben genannten Blutgruppenkarten vorhanden sind, sowie die Verträglichkeitsprobe des bereitgestellten EK. Die IH-Com-Software markierte diese Reaktionen als fraglich, die Blutgruppe konnte nicht automatisch generiert werden. Die nicht vollständig sedimentierten Erythrozyten ließen sich jedoch visuell eindeutig von echten Agglutinaten unterscheiden.

Ca. ein Jahr später konnten wir dieses Phänomen bei einem zweiten Patienten reproduzieren. Hier waren die Blutbildparameter: Hämoglobinkonzentration: 5,0 g/dl, Erythrozytenzahl: 4,1/pl, MCV: 47,6 fl, MCH: 12,2 pg. Offenbar führen extrem mikrozytäre, hypochrome Erythrozyten zu einem veränderten Sedimentationsverhalten im weit verbreiteten Gelkartensystem. Dies ist wichtig für die Anwender, da angesichts der sehr niedrigen Hämoglobinkonzentration in der Regel ein dringender Transfusionsbedarf besteht. Die zeitnahe Bereitstellung verträglich getesteter Erythrozytenkonzentrate sollte nicht durch weitere, unnötige Untersuchungen behindert werden.

Interessanterweise schlägt sich der hier vorliegende, schwere Eisenmangel praktisch nur in der Bildung extrem kleiner, hypochromer Erythrozyten nieder. Die Erythrozytenzahl war dabei nicht vermindert. ■

Der Autor



Dr. med. Norbert Ostendorf

Ärztlicher Leiter des Zentrallabors
St. Franziskus-Hospital GmbH, Münster
norbert.ostendorf@sfh-muenster.de



Direkt zum Beitrag:

[www.drk-haemotherapie.de/
beitraege/47-fallbericht](http://www.drk-haemotherapie.de/beitraege/47-fallbericht)



Hilfreiche Downloads und weitere Informationen zu diesem Beitrag finden Sie in der hämo-App, z. B.

-  Literaturhinweise
-  Weitere Beiträge zu diesem Thema
-  Weitere Infos zu den Autoren

Deutschsprachige Redner Plenary und Fortbildung DGTI

Aktuelle Entwicklungen und neue wissenschaftliche Erkenntnisse prägen die transfusionsmedizinische und immun-hämatologische Praxis. Im Rahmen des DGTI-Kongresses präsentieren wir hierzu ausgewählte Beiträge der deutschsprachigen Expertinnen und Experten.

Intrauterine Transfusionen (IUT): Indikationen, Technik, fetale Hb-Bestimmung und maternale Betreuung Dr. med. Elke Bätz	52
Neue Entwicklungen bei HDFN Prof. em. Dr. med. Gregor Bein	53
Pränatale Diagnostik von Blutgruppenantigenen Prof. Dr. rer. nat. Peter Bugert	53
Platelets and Megakaryocytes in Host Defense Prof. Dr. Dr. med. Florian Gärtner	54
Targeting the bone marrow to improve normal and inhibit malignant haematopoiesis Univ.-Prof. Dr. med. Daniela S. Krause	55
Umsetzung der EU-SoHO-Verordnung – regulatorische Perspektiven und Herausforderungen aus Sicht der zuständigen Bundesoberbehörde Prof. Dr. med. Daniel Nowak	55
Bakterielle Sicherheit von Thrombozytenkonzentraten Dr. med. Ruth Offergeld	56
Rekrutierung und Management von Spendern mit seltenen Blutgruppen – Strategien und Ergebnisse Dr. rer. nat. Sarah Petermann, Priv.-Doz. Dr. med. Dr. phil. Lambros Kordelas	57
Platelet-derived Integrin and Tetraspanin-enriched Tethers Exacerbate Severe Inflammation Prof. Dr. rer. nat. David Stegner, Prof. Dr. rer. nat. Bernhard Nieswandt	58
Evidence based Platelet Transfusion Prof. Dr. med. Thomas Thiele	59

Intrauterine Transfusionen (IUT): Indikationen, Technik, fetale Hb-Bestimmung und maternale Betreuung



Dr. med. Elke Bätz

Oberärztin, Leitung des Bereiches Pränataldiagnostik am
Universitätsklinikum Freiburg

Elke.Baez@uniklinik-freiburg.de

Hintergrund und Indikationen

Die intrauterine Transfusion (IUT) ist die etablierte Therapie bei schwerer fetaler Anämie und stellt einen lebensretten- den Eingriff in der Perinatalmedizin dar. Häufigste Indikation (ca. 80 % der Fälle) ist die alloimmunhämolytische Anämie des Feten, meist verursacht durch maternale Anti-D-, Anti-c- oder Anti-Kell-Antikörper, die transplazentar übertre- tend zu fetaler Hämolyse, extramedullärer Erythropoese, Hepatosplenomegalie und – im Extremfall – zum Hydrops fetalis führen. Weitere Indikationen umfassen die durch Parvovirus B19 ausgelöste aplastische fetale Krise (~10–15 % der IUT), die fetale α -Thalassämia major sowie selten das Twin Anemia-Polycythemia-Sequence-Syndrom (TAPS) bei monochorialen-diamnialen Zwillingen.

Pränatale Diagnostik und fetale Hb-Bestimmung

Goldstandard der nicht-invasiven Anämiediagnostik ist die Messung der peak systolic velocity (PSV) der Arteria cerebri media (MCA-PSV) mittels Dopplersonographie. Ein Schwellenwert von $> 1,5$ MoM (Multiples of the Median) weist auf eine moderate bis schwere fetale Anämie hin (Sensitivität ~100 % in erfahrener Hand; Mari et al., NEJM 2000). Die direkte fetale Hb-Bestimmung erfolgt mittels Cordozentese (perkutane Nabelschnurpunktion, Daffos et al. 1983): Eine Hb-Kon- zentration unterhalb von -2 Standardabweichungen des Gestationsalter-adaptierten Referenzbereichs (entsprechend $< 0,55$ MoM) gilt als Transfusionsindikation. Die Hb-Mediane steigen von ca. 11,6 g/dl in der 18. SSW auf ~14,8 g/dl in der 38. SSW; Grenzwerte für schwere Anämie (-3 SD) liegen bei 6,8–8,9 g/dl. Seit ca. 2015 ermöglicht die zellfreie fetale DNA (cfDNA)-Dia- gnostik aus mütterlichem Blut die nicht-invasive Bestimmung der fetalen Blutgruppe (RhD) theoretisch ab ca. 11 SSW, was unnötige Überwachung und Prophylaxe bei nicht-immunisierten Schwangerschaften vermeidet.

Praktische Aspekte der IUT

Das Erythrozytenkonzentrat (EK) für die IUT muss obligat bestrahlt, CMV-sicher (leukozytenfiltriert), kompatibel mit mütterlichem Serum, antigenkonform bezüglich des auslösenden Antikörpers sowie auf einen Hämatokrit von 75–85 % konzentriert sein. Frische Konserven (< 7 Tage) werden bevorzugt. Der umbilikalvenöse Zugangsweg hat sich zu- nehmend als bevorzugte Technik gegenüber dem intrahepatischen Zugang etabliert (geringeres Prozedurrisiko). Die Transfusionsmenge wird anhand vereinfachter Formeln berechnet. Eine fetale Analgesie/Paralyse (Vecuronium 0,1 mg/ kg pro Kg fetalem Gewicht i. m. oder i. v., ggf. kombiniert mit Fentanyl) kann je nach fetoplazentarem Zugangsweg nötig sein. Komplikationsraten erfahrener Zentren sind kindlicher Verlust 0,5–2 % pro Eingriff, fetale Bradykardie 1–5 %.

Maternale Betreuung bei Alloimmunisierung

Antikörper-Monitoring (alle vier Wochen; bei Titer $\geq 1:16$ MCA-PSV-Kontrolle alle ein bis zwei Wochen). Bei V. a. fetale Anämie fetale Hb-Bestimmung in Transfusionsbereitschaft. Unmittelbar nach IUT: CTG-Überwachung (1–2 h), fetale Doppler-Kontrolle, stationäre Beobachtung bei erster IUT empfohlen. Langzeitbetreuung: MCA-PSV-Kontrolle ein bis zwei Wochen post-IUT, ggfs. Re-Transfusion und interdisziplinäre Entbindungsplanung (34–36 SSW) in Zentrum mit Neonatologie.

Fetales und neonatales Outcome

Überlebensraten nach IUT sind > 95 % in Zentren mit regelmässigen Transfusionen. Bei Hydrops fetalis sinkt die Rate auf ca. 75 %. Langzeitdaten zeigen eine normale neurologische Entwicklung bei 94–97 % der überlebenden Kinder. Aktuel- le Entwicklungen umfassen FcRn-Antagonisten (Nipocalimab, Rozanolixizumab) als nicht-invasive Therapieoption bei früh einsetzender schwerer Alloimmunisierung sowie die zunehmende Standardisierung durch internationale Delphi-Konsensusempfehlungen (Moise et al., UOG 2025). ■

Neue Entwicklungen bei HDFN



Prof. em. Dr. med. Gregor Bein

Lehrstuhl für Klinische Immunologie und Transfusionsmedizin, Justus-Liebig-Universität Gießen und
Direktor des des Institut für Klinische Immunologie, Transfusionsmedizin und Hämostaseologie am
Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH

gregor.bein@immunmed.jlug.de

Die hämolytische Erkrankung beim Fetus und Neugeborenen (HDFN) wird durch maternale IgG-Antikörper bei fetomaternaler Blutgruppeninkompatibilität verursacht. Unbehandelt kann die Erkrankung zu fetaler Anämie, Hydrops fetalis und Kindstod führen. Eine früh auftretende Anämie (vor der 24. Schwangerschaftswoche (SS)) ist in einer Folgeschwangerschaft mit einem sehr hohen Risiko für eine frühe intrauterine Transfusion (IUT), neonatale Transfusionen sowie fetale/neonatale Morbidität und Mortalität assoziiert. Die Evidenz für eine Prophylaxe fetaler Komplikationen durch die Gabe von hochdosiertem intravenösem Immunglobulin beschränkt sich auf retrospektive Studien und Fallserien. An einer Phase-2-Studie zur Prophylaxe fetaler Komplikationen nahmen 13 Schwangere mit einem hohen Risiko für eine früh auftretende HDFN teil. Sie erhielten zwischen der 14. und 35. SS einen blockierenden Antikörper (Nipocalimab) gegen den neonatalen Fc-Rezeptor (FcRn). Von den 13 Schwangerschaften führten 12 zu Lebendgeburten. Zehn der zwölf Kinder wurden zwischen der 35. und 37. SS geboren. Ein intrauteriner Fruchttod trat nach Komplikationen im Zusammenhang mit einer IUT auf. Von den sieben Kindern, die keine IUT benötigten und deren Mütter die geplante Behandlung mit Nipocalimab vollständig absolvierten, erhielt eines nach der Geburt eine einmalige Bluttransfusion. Im Gegensatz dazu erhielten alle fünf Neugeborenen, deren Mütter aufgrund einer IUT die Nipocalimab-Behandlung vorzeitig abbrachen, nach der Geburt Transfusionen. Insgesamt lag das Wachstum der Kinder bis zum 6. Lebensmonat innerhalb der erwarteten Perzentile. Die frühkindliche Entwicklung der Kinder im Alter von 6, 12 und 24 Monaten war unauffällig. Gegenwärtig wird Nipocalimab im Rahmen mehrerer Phase-3-Studien geprüft. Die Hemmung des plazentaren Transports mütterlicher Antikörper durch Anti-FcRn-Antikörper könnte künftig auch eine wirksame Prophylaxe gegen schwerwiegende fetale Komplikationen bei anderen Erkrankungen darstellen. ■

Pränatale Diagnostik von Blutgruppenantigenen



Prof. Dr. rer. nat. Peter Bugert

Abteilungsleiter Molekulare Diagnostik
Institut für Transfusionsmedizin und Immunologie Mannheim,
DRK-Blutspendedienst Baden-Württemberg – Hessen gemeinnützige GmbH

p.bugert@blutspende.de

Bis zur Entdeckung zellfreier fetaler DNA (cell-free fetal DNA, cffDNA) im mütterlichen Blut war die pränatale genetische Diagnostik von der invasiven Gewinnung fetaler Zellen durch Amniozentese oder Chorionzottenbiopsie abhängig. Eines der ersten genetischen Merkmale, das mittels nichtinvasiver Pränataldiagnostik (NIPD) nachgewiesen wurde, war das RHD Gen bei RhD-negativen Schwangeren. Die NIPD beruht seitdem auf der Gewinnung zellfreier DNA (cfDNA) aus dem mütterlichen Plasma und dem sowohl sensitiven als auch spezifischen Nachweis fetaler DNA-Merkmale mit Hilfe von molekulargenetischen Labormethoden. Die besonderen Herausforderungen bestehen dabei in der geringen Konzentration der cffDNA bei gleichzeitigem Überschuss an mütterlicher cfDNA und in der geringen Molekülgröße (<150 bp) der cfDNA im Vergleich zur genomischen DNA in den Zellen. Der spezifische Nachweis von Abschnitten des RHD Gens (meist Exon 5 und 7) mittels RealTime-PCR wurde entwickelt und in nationalen Screening Programmen eingeführt, allen voran in den Niederlanden und in Dänemark. Ziel ist es, zur Vermeidung einer Alloimmunisierung der Mutter und der hämolytischen Erkrankung des Feten oder Neugeborenen (Hemolytic Disease of the Fetus and Newborn, HDFN) die D-negativen Schwangeren mit einem D-positiven Feten zu identifizieren, da nur in diesen Fällen die Anti-D-Prophylaxe gegeben werden muss. Aufgrund der Häufigkeit des D-negativen Phänotyps in der Europäischen Population kann eine unnötige

Anti-D-Prophylaxe in 35–40 % der D-negativen Schwangeren vermieden werden. In Deutschland hat die RHD-NIPD Einzug gefunden in die Mutterschaftsrichtlinie, ist aber nicht für das Screening vorgesehen.

Das RhD-Antigen ist die Hauptursache für die HDFN, aber weitere Blutgruppenantigene können die Erkrankung ebenfalls verursachen. Während das RhD-Antigen erst bei der zweiten Schwangerschaft mit einem D-positiven Feten die HDFN auslöst, kann das Kell-Antigen bereits in der ersten Schwangerschaft zu einer schweren HDFN führen. Somit ist die NIPD für Kell von hoher Relevanz, aber bislang für die Routinediagnostik noch nicht ausreichend etabliert. Moderne molekulargenetische Labormethoden, wie z. B. die digitale PCR oder die Hochdurchsatzsequenzierung, werden für KEL-NIPD im Forschungs- und Entwicklungskontext eingesetzt. Gleiches gilt für weitere klinisch relevante Blutgruppenantigene, wie RhC, Rhc, Duffy, Kidd und andere. Auch wenn es sich hierbei um sehr seltene Fälle handelt, besteht der Bedarf und das Potential für die Weiterentwicklung der NIPD. ■

Platelets and Megakaryocytes in Host Defense



Prof. Dr. Dr. med. Florian Gärtner

Interfakultäres Zentrum für Endokrine und Kardiovaskuläre Erkrankungen (ICON LMU)

Ludwig-Maximilians-Universität München

F.Gaertner@med.uni-muenchen.de

Eine wirksame Immunabwehr erfordert die schnelle Erkennung und Eindämmung von Krankheitserregern, die Aufrechterhaltung der Gewebeintegrität sowie die Anpassung der Blutzellproduktion an den entzündungsbedingten Bedarf. Obwohl Thrombozyten und Megakaryozyten traditionell vor allem als Regulatoren der Hämostase betrachtet wurden, gelten sie zunehmend als wichtige Bestandteile der angeborenen Immunabwehr. Dieser Vortrag beleuchtet, wie Zellmotilität von Thrombozyten und eine entzündungsabhängige Thrombozytenproduktion die megakaryozytär-thrombozytäre Zelllinie zur Wirtsabwehr befähigen.

Obwohl ihnen ein Zellkern fehlt, sind Thrombozyten motile Zellen. Sie bilden Aktin-reiche Fortsätze, gehen Integrin-vermittelte Adhäsionen ein und erzeugen Myosin-abhängige Zugkräfte. Dadurch können sie Fibrinogengradienten zu Mikroläsionen folgen, die infolge der Transmigration von Leukozyten entstehen¹. Dort verschließen sie Gefäßschäden und bewahren während einer Entzündung die Integrität des Endothels. Migrierende Thrombozyten wirken zudem als „Mechanoscavenger“: Sie fangen Bakterien ein, bündeln sie auf ihrer Oberfläche und übergeben diese Pakete an neutrophile Granulozyten². Die anschließende Phagozytose, Aktivierung der Neutrophilen und NET-Bildung fördern die Beseitigung der Erreger. Eine übermäßige Aktivierung kann jedoch die Entzündungsreaktion während einer Sepsis verstärken.

Die megakaryozytäre Zelllinie unterstützt die Wirtsabwehr, indem sie unter anderen die Thrombozytenproduktion an einen erhöhten Bedarf anpasst. Intravitalmikroskopische Untersuchungen zeigten, dass reife Megakaryozyten weitgehend ortsständig bleiben, während ihre Vorläuferzellen in vaskuläre Nischen einwandern, um die während der Thrombopoese verbrauchten Megakaryozyten zu ersetzen. Diese Reaktion wird lokal durch plasmazytoide dendritische Zellen koordiniert. Sie überwachen Megakaryozyten, erkennen die beim Megakaryozytenumsatz freigesetzte zellfreie DNA und setzen in Folge Interferon- α frei. Die dadurch ausgelöste lokale Proliferation der Vorläuferzellen ist wichtig für die Aufrechterhaltung der Thrombozytenproduktion sowohl unter homöostatischen Bedingungen als auch bei gesteigerten Bedarf wie z. B. nach einer Thrombozytendepletion und während einer Infektion³.

Zusammen zeigen diese Ergebnisse, dass Thrombozyten und Megakaryozyten ein integriertes System der Wirtsabwehr bilden: Thrombozyten übernehmen räumlich gezielte Immunfunktionen in peripheren Geweben, während die Knochenmarknische ihren Verbrauch registriert und ihre Nachproduktion entsprechend anpasst. ■

Targeting the bone marrow to improve normal and inhibit malignant haematopoiesis



Univ.-Prof. Dr. med. Daniela S. Krause

Direktorin des Instituts für Transfusionsmedizin – Transfusionszentrale
UNIVERSITÄTSMEDIZIN der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz
daniela.krause@unimedizin-mainz.de

Die Mikroumgebung des Knochenmarks, die sogenannte Knochenmarksnische, spielt eine entscheidende Rolle bei der Regulierung der normalen und der malignen Hämatopoese. Störungen in diesem spezialisierten Mikromilieu können das Fortschreiten hämatologischer Malignome begünstigen. Moderne Ansätze versuchen, nicht nur durch zell-intrinsische Therapien maligne hämatopoetische Zellen zu eliminieren, sondern auch durch Kombination mit Medikamenten, die extrinsische Nischenfaktoren modulieren, den Krankheitsverlauf günstig zu beeinflussen. Andererseits zielen innovative Therapien darauf ab, die Funktion von normalen hämatopoetischen Stammzellen durch Modulation der Nische zu stärken.

Dieser Vortrag beleuchtet aktuelle Fortschritte bei der gezielten Beeinflussung der Knochenmarksmikroumgebung bei den Leukämien, z. B. durch Modulation von Adhäsionsmolekülen oder Zytokinen, die Leukämiezellen in der Nische zurückhalten, durch Modulation der Sensibilität von Leukämiezellen gegenüber Kalziumionen aus dem Knochenmarksmikromilieu, oder der Plasmin-assoziierten Modulation der extrazellulären Matrix im Knochenmark, welches die Leukämieprogression beeinflusst. Auch die Möglichkeit der therapeutischen Nutzung von Unterschieden im Knochenmarksmikromilieu von jungen versus alten Organismen werden gezeigt. Letztlich wird die Wirkung und der Mechanismus eines Proteins der extrazellulären Matrix des Knochenmarks dargestellt, welches in ersten Experimenten eine Stärkung der normalen blutbildenden Stammzelle vermuten lässt. Dies könnte zu einer Förderung der Blutbildung bei Patienten, die mit wiederholter Chemotherapie behandelt werden, Patienten mit myelodysplastischem Syndrom, älteren Individuen mit eingeschränkter Blutbildung oder bei der Stammzelltransplantation führen. ■

Umsetzung der EU-SoHO-Verordnung – regulatorische Perspektiven und Herausforderungen aus Sicht der zuständigen Bundesoberbehörde



Prof. Dr. med. Daniel Nowak

Facharzt für Innere Medizin und Hämatologie und Onkologie
Abteilungsleiter für Hämatologie, Zell- und Gentherapie, Paul-Ehrlich-Institut, Langen
daniel.nowak@pei.de

Mit der Verordnung (EU) 2024/1938 über Substanzen menschlichen Ursprungs (SoHO) wird ab August 2027 ein neuer europäischer Rechtsrahmen für Blut, Gewebe, Zellen und weitere Substanzen menschlichen Ursprungs wirksam. Die Verordnung verfolgt das Ziel, Qualität, Sicherheit und Verfügbarkeit von SoHO europaweit weiter zu harmonisieren sowie den Schutz von Spendern und Empfängern zu stärken. Für die Transfusionsmedizin ergeben sich hieraus regulatorische und organisatorische Änderungen.

Transfusionsmedizinische Einrichtungen werden künftig in ein einheitliches europäisches Regulierungssystem eingebunden. Hierzu gehören neue Behördenstrukturen mit einer sogenannten Nationalen SoHO-Behörde und für SoHO zuständige Behörden, europaweiten Koordinierungsgremien sowie einer zentralen SoHO-Plattform für Registrierung und

Informationsaustausch. Gleichzeitig erhalten die technischen Leitlinien des EDQM (Blood Guide) und des ECDC einen verbindlicheren Stellenwert und sollen die Grundlage harmonisierter Qualitäts- und Sicherheitsstandards bilden.

Von besonderer Bedeutung für die Transfusionsmedizin sind die neuen Anforderungen an die Sicherstellung der Versorgung mit kritischen SoHO. Hierzu zählen nationale und einrichtungsbezogene Notfallpläne, ein Bestandsmonitoring sowie ein Versorgungswarnsystem. Ergänzend sieht die Verordnung für Blut- und Plasmaspenden die Einführung nationaler Spenderregister vor, um Spendefrequenzen einrichtungsübergreifend überwachen und den Spenderschutz weiter verbessern zu können. Auch Vigilanz, Rückverfolgbarkeit und die Meldung von Tätigkeitsdaten werden europaweit einheitlich und stärker digitalisiert.

Für Zulassungsverfahren von SoHO-Präparaten ergeben sich neue europäische Regelungen einschließlich risikobasierter Anforderungen an klinische Nachweise. Für transfusionsmedizinische Einrichtungen liegen die wesentlichen Auswirkungen in der Harmonisierung der regulatorischen Anforderungen für Blut und Blutkomponenten sowie in der Stärkung der Versorgungssicherheit. Mit dem geplanten deutschen SoHO-Gesetz sollen diese Vorgaben in den bestehenden nationalen Rechtsrahmen integriert werden. ■

Bakterielle Sicherheit von Thrombozytenkonzentraten



Dr. med. Ruth Offergeld

Fachärztin für Transfusionsmedizin und Epidemiologin

Abteilung für Infektionsepidemiologie, Robert Koch-Institut, Berlin

offergeldr@rki.de

Transfusionsassoziierten Infektionen (transfusion-transmitted infections, TTI) Betreffen aufgrund der sorgfältigen Spendeauswahl und der Testung jeder Spende seit vielen Jahren überwiegend bakterielle Kontaminationen. Hierbei sind Thrombozytenkonzentrate (TK) besonders im Fokus, da diese bei Raumtemperatur gelagert werden und somit Bakterien auch bei geringem initialem Eintrag in ein TK zu infektiologisch relevanten Konzentrationen anwachsen können.

Zur Reduktion der bakteriellen Kontaminationen gibt es Empfehlungen zu sterilen Schlauchverbindungen, zur Hautdesinfektion vor Punktion, eine Vorgabe zum Predonation Sampling sowie die Begrenzung der Lagerungsdauer auf vier Tage zuzüglich Entnahmetag.

Wie aus den Hämovigilanzdaten des Paul-Ehrlich-Instituts und weiteren Studien ersichtlich ist, können diese Maßnahmen eine Kontamination von TK nicht völlig verhindern. In 2022 wurden sechs transfusionsassoziierte Infektionen mit Bakterien als gesichert oder wahrscheinlich eingestuft, davon vier nach Transfusion von TK. Zwei dieser durch TK übertragenen TTI verliefen tödlich.

Der Arbeitskreis Blut hat daher 2025 empfohlen, weitere risikominimierende Maßnahmen zur Verhinderung einer bakteriellen Kontamination zu ergreifen und das Paul-Ehrlich-Institut hat seinen Stufenplan dazu fortgesetzt. Mögliche Maßnahmen wären die Durchführung einer Pathogenreduktion oder eine Testung der Produkte. Beide Verfahren haben jeweils spezifische Vor- und Nachteile. Die Pathogenreduktion ist ein vergleichsweise kostenintensives und zum Teil aufwändiges Verfahren, das abhängig vom Anbieter zu einem Verlust von Thrombozyten führen kann. Es bietet jedoch eine hohe Sicherheit hinsichtlich bakterieller Kontaminationen. Die Testung ist preiswerter, aber logistisch aufwändiger und kann, insbesondere wenn kulturelle Methoden wie ein großvolumiges verzögertes Screening (LVDS) durchgeführt werden, erst nach 36–48 Stunden erfolgen, um Probennahmefehler zu reduzieren. International werden beide Strategien mit Erfolg durchgeführt.

Die Anzahl der transfundierten TK lag in den letzten Jahren bei knapp 500.000 Einheiten mit einer kombinierten Verfall- / Verwurfsrate von 6,9 %. Dennoch ist die Versorgung im klinischen Alltag aufgrund der kurzen Haltbarkeit häufig schwierig, besonders nach Feiertagen. Eine Verlängerung der Haltbarkeit auf sieben Tage wäre bezogen auf das Risiko einer bakteriellen Kontamination nach vorliegenden Daten möglich, sofern diese getestet oder einem Pathogenreduktionsverfahren unterzogen wurden. Hinsichtlich der Funktionalität der TK für die Hämostase zeigt sich in aktuellen Studien, dass die zur Wirksamkeit verwendeten in vitro Qualitätsparameter möglicherweise auch abhängig von der Transfusionsindikation neu bewertet werden müssen. Auch die Lagerungstemperatur von TK wird neu diskutiert. Eine Kaltlagerung von TK würde auch die Wahrscheinlichkeit einer klinisch relevanten bakteriellen Kontamination reduzieren.

Insgesamt zeigt die aktuelle Diskussion, dass eine Neubewertung der Herstellung und Qualitätsprüfung von TK zur Gewährleistung einer gesicherten und sicheren Versorgung erfolgen sollte. ■

Rekrutierung und Management von Spendern mit seltenen Blutgruppen – Strategien und Ergebnisse



Dr. rer. nat. Sarah Petermann

Leiterin des Labors für Immungenetik / HLA des am Zentrum Bad Kreuznach
DRK-Blutspendedienst West gemeinnützigen GmbH
s.petermann@bsdwest.de



Priv.-Doz. Dr. med. Dr. phil. Lambros Kordelas

Ärztlicher Geschäftsführer
DRK-Blutspendedienst West gemeinnützigen GmbH
l.kordelas@bsdwest.de

Die Versorgung von Patientinnen und Patienten mit seltenen Blutgruppenmerkmalen gehört zu den größten Herausforderungen der Transfusionsmedizin. Obwohl moderne serologische und molekulare Verfahren eine zuverlässige Identifizierung seltener Blutgruppen ermöglichen, entsteht ein klinischer Nutzen erst dann, wenn aus diesen Erkenntnissen ein dauerhaft verfügbarer Spenderpool aufgebaut wird. Einen wesentlichen Impuls hierfür lieferte das Forschungsprojekt „BluStar“ (DRK-BSD West, UK Essen, UK Düsseldorf, WSZE). Die dort entwickelten Konzepte zur Identifizierung und langfristigen Betreuung seltener Blutspender prägen die heute etablierten Strategien und werden inzwischen im Routinebetrieb umgesetzt.

Nationale und internationale Projekte haben gezeigt, dass sich ein Netzwerk von Blutspenderinnen und Blutspendern mit seltenen Blutgruppen nur durch die Kombination komplementärer Strategien aufbauen lässt. Dazu gehören großflächige Hochdurchsatz-Screenings ebenso wie die gezielte Ansprache von Bevölkerungsgruppen, in denen bestimmte seltene Blutgruppenmerkmale häufiger vorkommen. Anknüpfend an die im BluStar-Projekt entwickelten Konzepte werden seit 2022 im BSD West im Rahmen eines neuen Projekts jährlich rund 15.000 Spenderinnen und Spender untersucht. Auf diese Weise konnten bislang 730 Personen mit seltenen Blutgruppenmerkmalen identifiziert werden, darunter Träger der Blutgruppen Fy_o, Vel⁻, Lu(a⁺), Kp(a⁺) und Js(a⁺). Durch die gezielte Untersuchung von rund 1.700 Spenderinnen und Spendern mit nicht-europäischer Herkunft wurden zusätzlich 36 CD36-negative Personen (2,1 %) identifiziert.

Der Erfolg dieser Strategien bemisst sich jedoch nicht allein an der Zahl identifizierter seltener Spenderinnen und Spender, sondern vor allem an der Verfügbarkeit kompatibler Blutprodukte. Die vom BSD West aufgebaute Infrastruktur er-

möglicht es, seltene Blutprodukte bedarfsgerecht für Patientinnen und Patienten mit komplexem Transfusionsbedarf bereitzustellen.

Unsere Erfahrungen zeigen, dass Rare-Donor-Programme nicht allein auf Laboranalytik beruhen können. Erst durch die Kombination aus systematischer Identifizierung, gezielter Spenderansprache und langfristiger Betreuung entsteht ein belastbares Netzwerk, das die Versorgung von Patientinnen und Patienten mit seltenen Blutgruppenmerkmalen dauerhaft verbessert. ■

Platelet-derived Integrin and Tetraspanin-enriched Tethers Exacerbate Severe Inflammation



Prof. Dr. rer. nat. David Stegner

Professor für Vaskuläre Bildgebung

Institut für Experimentelle Biomedizin, Lehrstuhl I, Universitätsklinikum Würzburg und Rudolf-Virchow-Zentrum für integrative und translational Biobildgebung, Julius-Maximilians-Universität Würzburg (JMU)

david.stegner@uni-wuerzburg.de



Prof. Dr. rer. nat. Bernhard Nieswandt

Professor und Lehrstuhlinhaber für Experimentelle Biomedizin

Institut für Experimentelle Biomedizin, Lehrstuhl I, Universitätsklinikum Würzburg und Rudolf-Virchow-Zentrum für integrative und translational Biobildgebung, Julius-Maximilians-Universität Würzburg (JMU)

bernhard.nieswandt@uni-wuerzburg.de

Thrombozyten sind zentrale Effektorzellen der Hämostase, übernehmen jedoch auch wichtige Funktionen bei Entzündungs- und Immunreaktionen^{1,2}. Unsere Ergebnisse zeigen, dass ihr wichtigster Adhäsionsrezeptor, das Integrin α IIb β 3, je nach Situation entweder zur Blutstillung beiträgt oder Entzündungsreaktionen verstärkt.

Bei einer Gefäßverletzung wird α IIb β 3 durch klassische Thrombozytenaktivierung in einen hochaffinen Zustand für seine Liganden überführt. Es bindet Fibrinogen, vermittelt die Aggregation der Thrombozyten und ermöglicht so die Bildung eines stabilen Blutgerinnsels^{3,4}. Bei schweren Infektionen und systemischen Entzündungsreaktionen beobachteten wir dagegen einen bislang unbekannten Mechanismus: Thrombozyten bilden lange, fadenförmige Membranstrukturen, die selektiv mit α IIb β 3 und dem assoziierten Tetraspanin CD9 angereichert sind. Wir bezeichneten sie als platelet-derived integrin- and tetraspanin-enriched tethers, kurz PITTs⁵.

Die Bildung von PITTs wird unter Flussbedingungen durch die Bindung von α IIb β 3 an von-Willebrand-Faktor oder Fibrin ausgelöst. Sie erfolgt jedoch ohne die typischen Zeichen einer klassischen Thrombozytenaktivierung, insbesondere ohne nachweisbare Degranulation, Phosphatidylserin-exposition oder Aktivierung von α IIb β 3. PITTs bleiben an der entzündeten Gefäßwand oder an Leukozyten haften, während sich der Thrombozytenkörper ablöst und in die Zirkulation zurückkehrt. Dabei verliert er selektiv einen Teil seines α IIb β 3- und CD9-Bestands. Diese Thrombozyten bleiben strukturell intakt und reaktiv, sind jedoch in ihrer Adhäsions- und Aggregationsfähigkeit deutlich eingeschränkt⁵.

Eine gestörte Thrombozytenfunktion wurde bereits für kritisch kranke Patientinnen und Patienten mit Sepsis oder COVID-19 beschrieben^{6,7}. PITTs konnten wir erstmals in entsprechenden Blutproben nachweisen. In experimentellen Modellen pulmonaler Entzündung und Infektion lagerten sie sich insbesondere an Neutrophile und Endothelzellen an und förderten deren Aktivierung. Eine genetische Ausschaltung des von-Willebrand-Faktors oder die Blockade von α IIb β 3 führte zu verringerter PITT-Bildung, Neutrophilenrekrutierung und -aktivierung und deutlich reduzierter Gewebeschädigung. Bei Sepsis war eine verminderte Expression des thrombozytären CD41a (α IIb) als indirekter Hinweis auf

verstärkte PITT-Freisetzung mit stärkerem Organversagen, gemessen anhand des Sequential Organ Failure Assessment (SOFA)-Scores, sowie mit einem akuten Atemnotsyndrom (ARDS) und erhöhter 28-Tage-Mortalität assoziiert⁵.

PITTs stellen somit eine neuartige thrombozytäre Effektorstruktur dar, die vaskuläre Entzündungsreaktionen verstärkt und zugleich die hämostatische Funktion der zirkulierenden Thrombozyten vermindert. Dieser Mechanismus könnte erklären, warum schwere Infektionen häufig durch gewebschädigende Thrombo-Inflammation und gleichzeitig erhöhte Blutungsneigung gekennzeichnet sind. Die gezielte Beeinflussung der PITT-Bildung könnte künftig einen neuen Ansatz zur Behandlung thrombo-inflammatorischer Erkrankungen darstellen. ■

Evidence based Platelet Transfusion



Prof. Dr. med. Thomas Thiele

Facharzt für Transfusionsmedizin mit der Zusatzbezeichnung Hämostaseologie, Direktor des Instituts für Transfusionsmedizin an der Universitätsmedizin Greifswald
thomas.thiele@med.uni-greifswald.de

Thrombozytentransfusionen sind wesentlich für die Prophylaxe und Therapie von Blutungen bei Patienten mit Thrombozytopenie oder Thrombozytenfunktionsstörungen. Die Indikation zur Thrombozytentransfusion muss dabei anhand der klinischen Situation gestellt und im individuellen Kontext abgewogen werden. Evidenzbasierte Leitlinien bilden den Rahmen für die Transfusion von Thrombozytenkonzentraten in der klinischen Praxis.

Dieser State-of-the-Art-Vortrag vermittelt den Stand der nationalen und internationalen Leitlinienempfehlungen zur Thrombozytentransfusion und stellt die Empfehlungen vergleichend gegenüber. Er fokussiert auf die Indikationsstellung bei onkologischen und kritisch kranken Patienten, vor invasiven Eingriffen, in der Neonatologie sowie bei akuten Blutungen. Sich unterscheidende Empfehlungen werden dabei anhand der aktuellen Evidenz erläutert und kritisch diskutiert.

Der Vortrag vermittelt so einen aktuellen Überblick über die Indikationsstellung, den Nutzen und die Risiken der Thrombozytentransfusion im klinischen Kontext und beleuchtet Lücken in der Evidenz, die durch zukünftige Studien geschlossen werden müssen. ■

Weitere Informationen zu den Rednern finden Sie unter

www.drk-haemotherapie.de/autoren

oder in der hämo-App



Direkt zum Beitrag:

www.drk-haemotherapie.de/beitraege/47-dgti

NEUE

Die Blutspende-App

Dein digitaler Spenderservice

Die neue Blutspende-App bietet ein neues User-Interface und Design und verbindet zentrale neue Funktionen in einer persönlichen Oberfläche für die Spenderinnen und Spender.

✓ Persönliche Startseite

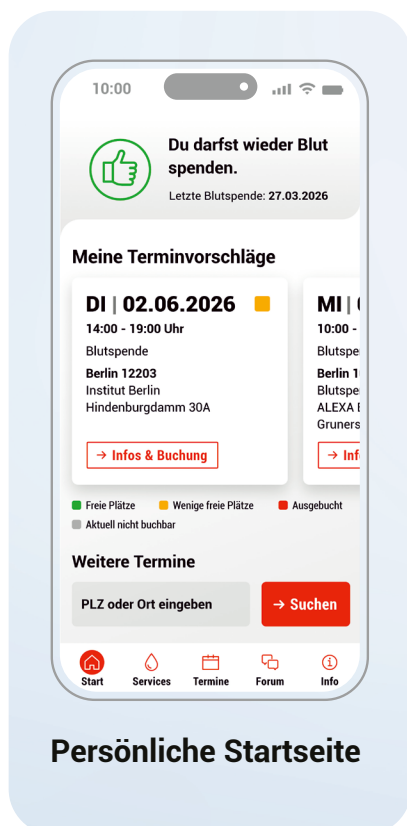
Die Startseite bietet einen schnellen Überblick über die wichtigsten Informationen: bisherige Spenden, das nächstmögliche Spendedatum und passende Blutspendetermine. Die Inhalte sind auf die individuelle Situation der Spenderinnen abgestimmt.

✓ Termine

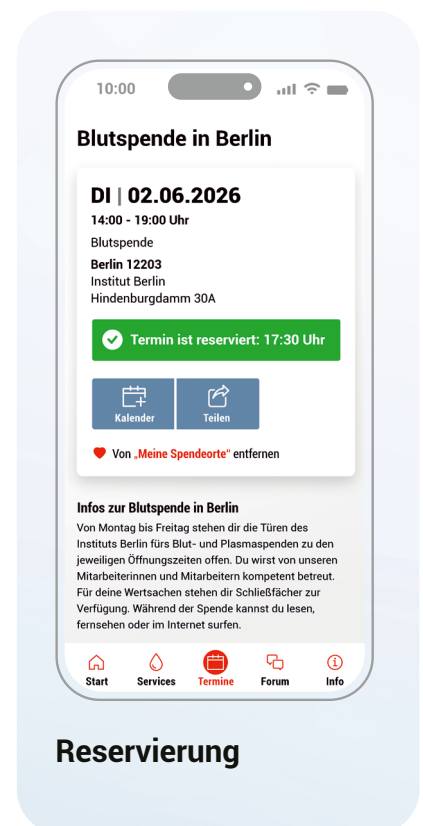
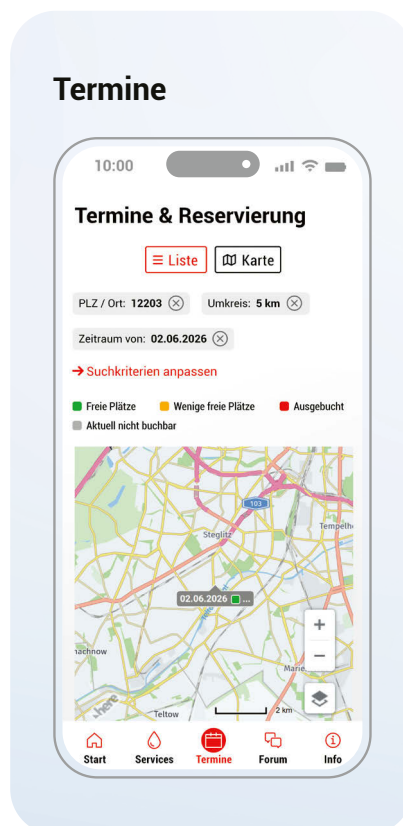
Über die Terminalsuche lassen sich passende Blutspendetermine schnell und unkompliziert finden. Ergänzende Informationen und Hinweise zu Aktionen sind direkt bei den jeweiligen Terminen zu finden.

✓ Reservierung

Ein passender Blutspendetermin kann direkt über die App reserviert werden. Die Reservierung lässt sich in den persönlichen Kalender übernehmen, teilen und mit einer Erinnerung versehen.



Persönliche Startseite



Reservierung

✓ Am Termintag

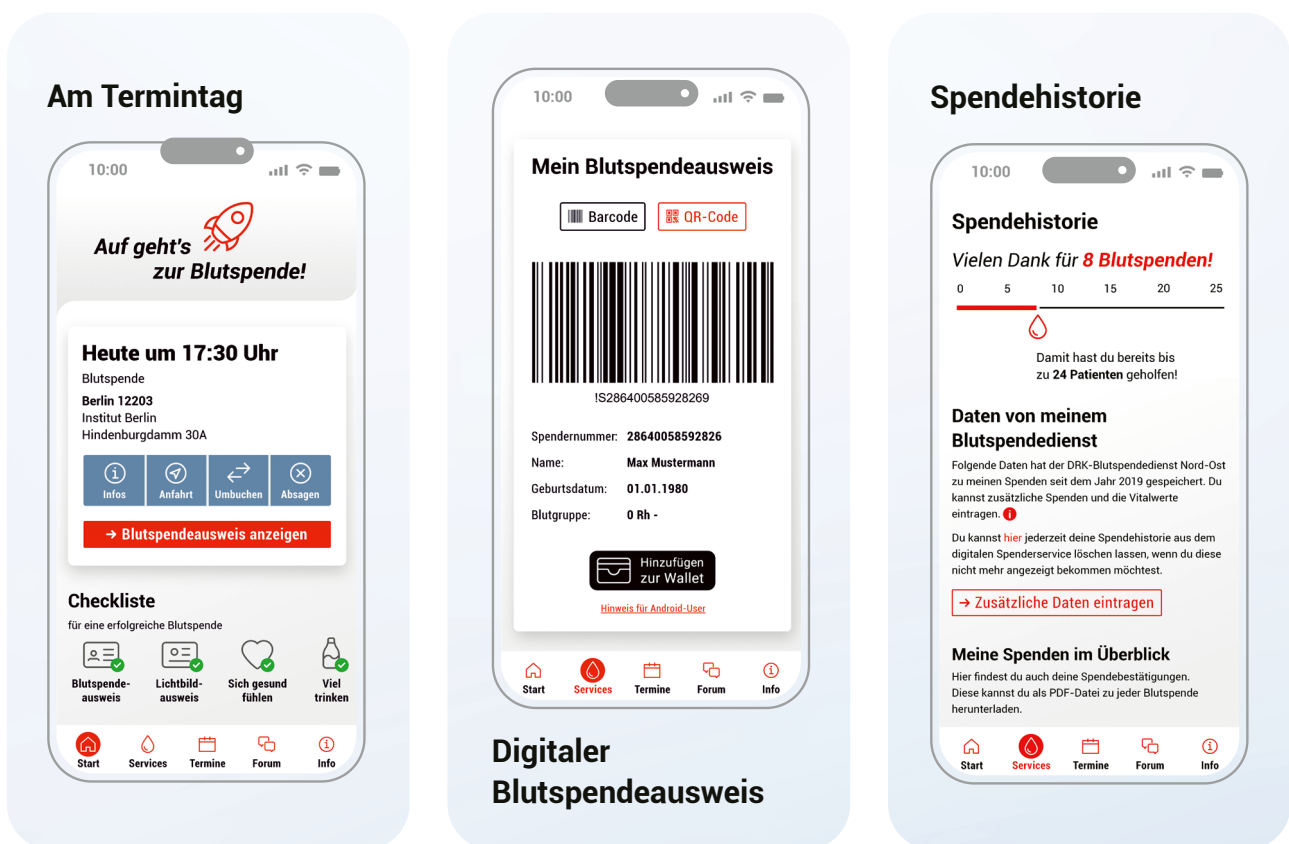
Am Tag der Blutspende bündelt die App alle relevanten Informationen auf dem Dashboard. Neben der Terminreservierung stehen eine praktische Checkliste sowie der direkte Zugriff auf den digitalen Blutspendeausweis zur Verfügung.

✓ Digitaler Blutspendeausweis

Der digitale Blutspendeausweis ist jederzeit abrufbar und damit auch am Blutspendetermin schnell verfügbar.

✓ Spendehistorie

In der Spendehistorie werden die bisherigen Blutspenden übersichtlich dargestellt. Persönliche Spendenbestätigungen können als PDF heruntergeladen werden.



Ein digitaler Begleiter rund um die Blutspende

Mit der Blutspende-App stehen zentrale Services vor, während und nach der Blutspende zur Verfügung. Der digitale Spenderservice verbindet Terminsuche, Reservierung, den digitalen Blutspendeausweis und die Spendehistorie in einer digitalen Plattform.

Die neue Blutspende-App ist ab sofort in den App-Stores verfügbar.



Impressum

Herausgeber:

Die DRK-Blutspendedienste:

DRK-Blutspendedienst Baden-Württemberg – Hessen,
Mannheim

Blutspendedienst des Bayerischen Roten Kreuzes,
München

Blutspendedienst der Landesverbände des
DRK Niedersachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen,
Oldenburg und Bremen, Springe

DRK-Blutspendedienst Nord-Ost, Dresden

DRK-Blutspendedienst West, Ratingen

(gemeinnützige GmbHs)

Realisation:

deltacity.NET GmbH & Co. KG
www.deltacity.net
Rehms Druck GmbH

Auflagen:

Gesamtauflage: 14.500 Ex.

ISSN-Angaben auf der Rückseite

Zitierweise:

hämotherapie, 47/2026, Seite ...

Hinweise:

Mit Autorennamen gekennzeichnete Fachartikel geben die Meinung des Autors wieder und müssen nicht unbedingt die Meinung der Redaktion und der Herausgeber widerspiegeln.

Der Herausgeber der „hämotherapie“ haftet nicht für die Inhalte der Fachautoren.

Die Fachinformationen entbinden den behandelnden Arzt nicht, sich weiterführend zu informieren.

Redaktion (verantwortlich):

Dr. med. Andreas Opitz, Kassel

Dr. med. Markus M. Müller, Frankfurt am Main

Adresse der Redaktion:

DRK-Blutspendedienst Baden-Württemberg – Hessen
gemeinnützige GmbH

Friedrich-Ebert-Straße 107

68167 Mannheim

E-Mail: redaktion@drk-haemotherapie.de

Redaktion:

Univ.-Prof. Dr. med. Tamam Bakchoul, Tübingen

Priv.-Doz. Dr. med. Dr. phil. Lambros Kordelas, Ratingen

Prof. Dr. med. Markus Löffler, Tübingen

Priv.-Doz. Dr. Oliver Meyer, Springe

Claudia Müller, Münster

Dr. med. Markus M. Müller, Frankfurt am Main

Martin Oesterer, Mannheim

Dr. med. Andreas Opitz, Kassel

Dr. med. Ernst-Markus Quenzel, München

Univ.-Prof. Dr. med. Hubert Schrezenmeier, Ulm

Univ.-Prof. Dr. med. Torsten Tonn, Frankfurt am Main

Priv.-Doz. Dr. med. Franz Wagner, Springe

In eigener Sache ...

Im Interesse einer besseren Lesbarkeit wird davon abgesehen, bei Fehlen einer geschlechtsneutralen Formulierung sowohl die männliche als auch weitere Formen anzuführen. Die gewählten männlichen Formulierungen gelten deshalb selbstverständlich und uneingeschränkt auch für die weiteren Geschlechter.



Die Autorinnen und Autoren



Dr. med. Tobias Bexte

DRK-Blutspendedienst Baden-Württemberg – Hessen

Dr. med. Tobias Bexte ist Clinician Scientist am Institut für Transfusionsmedizin und Immunhämatologie des DRK-Blutspendedienstes Baden-Württemberg-Hessen. Er leitet eine eigene Forschungsgruppe an der Klinik für Kinder- und Jugendmedizin der Goethe-Universität Frankfurt. Seine medizinische Ausbildung absolvierte er an der Goethe-Universität Frankfurt und der Charité – Universitätsmedizin Berlin. Er ist Teil von unterschiedlichen Exzellenz Clustern. Seine aktuellen Forschungsschwerpunkte liegen in der genetischen Optimierung des Immunsystems, insbesondere beschäftigt er sich mit neuen virus-freien CRISPR-Technologien für die Entwicklung innovativer und sichere Zelltherapien und arbeitet dafür unter anderem mit primären NK-Zellen. E-Mail: bexte@med.uni-frankfurt.de



Prof. Dr. Peter Bradl MHMM

Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt (THWS)

Prof. Dr. Peter Bradl MHMM ist Leiter des Instituts für Rettungswesen, Notfall- und Katastrophenmanagement (IREM) an der Technischen Hochschule Würzburg-Schweinfurt (THWS).

Studium des Wirtschaftsingenieurwesen (Diplom) und Wirtschaftsinformatik (Promotion) sowie Medical Process Management (Master) in Deutschland und USA. Forschungsaufenthalte und Gastdozentur u. a. in Norwegen sowie Australien. Seit Mitte der 90er-Jahre Arbeit und Forschung im Kontext systemischer Zusammenhänge sowie Kritischer Infrastruktur und den sich ergebenden Folgen für die Gesundheitsversorgung. Leitung des Krisenstabs der THWS und Ideengeber sowie Gründungsdirektor des Institut Rettungswesen, Notfall- und Katastrophenmanagement der THWS sowie Forschungsprofessor (SP: Gesundheitlicher Bevölkerungsschutz) und bestellter Erstgutachter und Erstbetreuer im Promotionszentrum LiWA an der THWS. Über 40 Jahre aktive Erfahrung im Katastrophenschutz sowie bei der Bewältigung von Großschadenslagen als Einsatz- und Führungskraft. Aufbau und Koordination der Corona-Impfzentren im Auftrag des Senats in Berlin.

E-Mail: peter.bradl@thws.de



Dr. med. Christian Brockmann

DRK-Blutspendedienst NSTOB

Dr. med. Christian Brockmann ist Facharzt für Transfusionsmedizin und Facharzt für Anästhesiologie. Nach seinen Tätigkeiten an der Med. Universität zu Lübeck (UKSH) wurde er 2022 ärztlicher Leiter des Instituts Bremen-Oldenburg des DRK-Blutspendedienstes der Landesverbände NSTOB. Die Schwerpunkte der Standorte sind, neben der Blutgruppen-Forschung am Standort Oldenburg, die Versorgung mit immunhämatologischer Diagnostik und Blutprodukten, inkl. autologer und allogener HSC und DLI für ca. 70 Kliniken und Praxen im Weser-Ems-Bereich und Einrichtungen der Maximalversorgung (European Medical School und Klinikum Bremen Mitte). Des Weiteren in Berufsausübungsgemeinschaft in der Praxis für Transfusionsmedizin Oldenburg.

E-Mail: christian.brockmann@bsd-nstob.de



Dr. med. univ. Emilie Han

Medizinische Universität Wien

Dr. med. univ. Emilie Han ist seit 2024 als Ärztin in Facharztausbildung an der Universitätsklinik für Transfusionsmedizin und Zelltherapie der Medizinischen Universität Wien tätig. Ihr fachlicher Schwerpunkt liegt im Bereich der Transplantationsimmunologie, HLA-Diagnostik und Immungenetik. Ihr aktueller Forschungsschwerpunkt liegt auf der Immunrekonstitution nach allogener hämatopoetischer Stammzelltransplantation, insbesondere auf der Analyse von T-Zell-Repertoires bei unterschiedlichen Spenderkonstellationen.

E-Mail: emilie.han@meduniwien.ac.at



Jonathan Knieling

DRK-Blutspendedienst West

Jonathan Knieling (Master of Arts, Gesundheitsökonomie) ist seit Oktober 2021 beim DRK-Blutspendedienst West tätig (zunächst als Controller, dann einige Monate als kommissarischer Zentralbereichsleiter Finanz- und Rechnungswesen und seit Juli 2025 als Zentralbereichsleiter Controlling). Er hat Gesundheitsökonomie (Bachelor und Master of Arts) an der Apollon Hochschule der Gesundheitswirtschaft in Bremen studiert. Seine Masterarbeit hat er über die Herausforderungen der zukünftigen Sicherstellung von ausreichend Vollblutspendenden des DRK-BSD West geschrieben. Vor seiner Tätigkeit beim DRK-BSD West war er bei unterschiedlichen Trägern von Altenhilfeeinrichtungen, u. a. in der Debitorenbuchhaltung sowie im Personal- und Sachkostencontrolling beschäftigt.

E-Mail: j.knieling@bsdwest.de



Priv.-Doz. Dr. med. Dr. phil.

Lambros Kordelas

DRK-Blutspendedienst West

Priv.-Doz. Dr. med. Dr. phil. Lambros Kordelas ist seit 2023 Ärztlicher Geschäftsführer des DRK-Blutspendedienst West. Zuvor war er seit 2006 am Universitätsklinikum Essen tätig, zuletzt als Oberarzt der Klinik für Knochenmarktransplantation. Er ist Facharzt für Innere Medizin, Hämatologie und Onkologie. Davor hatte Dr. Kordelas in der Unternehmensberatung (McKinsey, BCG) gearbeitet.

E-Mail: l.kordelas@bsdwest.de



Prof. Dr. med. Markus W. Löffler

Universität Tübingen

Prof. Dr. med. Markus W. Löffler ist Assistenzarzt für Transfusionsmedizin Institut für klinische und experimentelle Transfusionsmedizin (IKET), Universität Tübingen & Zentrum für klinische Transfusionsmedizin (ZKT) gGmbH
E-Mail: markus.loeffler@med.uni-tuebingen.de



Dr. med. Josephine Meininger

DRK-Blutspendedienst Baden-Württemberg – Hessen

Dr. med. Josephine Meininger ist seit Januar 2026 als Ärztin in Weiterbildung im Bereich Transfusionsmedizin am Institut für Transfusionsmedizin und Immunhämatologie des DRK Blutspendedienstes Baden Württemberg – Hessen in Frankfurt am Main tätig. Zuvor arbeitete sie in der Nephrologie des Universitätsklinikums Frankfurt sowie in der Allgemeinmedizin. Sie promovierte 2023 am Zentrum für Pharmakologie der Goethe Universität Frankfurt. Ihre medizinische Ausbildung absolvierte sie ebenfalls in Frankfurt (Approbation 2020).

E-Mail: j.meininger@blutspende.de



Dr. rer. nat. Corinna Opitz

DRK-Blutspendedienst Nord-Ost

Dr. rer. nat. Corinna Opitz ist promovierte Immunologin und Fachimmunogenetikerin (DGI) mit ESHI Diplom. Sie studierte Biologie mit Schwerpunkt Molekularbiologie in Dresden, Heidelberg und Yale. Für ihre Promotion wechselte sie an das Robert Koch-Institut in Berlin, wo sie zur Funktion des Chemokins XCL1 arbeitete und 2007 an der Humboldt-Universität Berlin promovierte. Anschließend war sie im KMT-Zentrum am Universitätsklinikum Münster zunächst zum GvT-Effekt und später im Bereich der Chimärismusanalyse nach Stammzelltransplantation tätig. Seit 2017 ist sie beim DRK-Blutspendedienst Nord-Ost gGmbH im Transplantationsimmunologischen Labor in Dresden als wissenschaftliche Mitarbeiterin, seit 2025 auch als EFI Director tätig, und arbeitet u. a. mit dem Nierentransplantationszentrum an der Universitätsklinik in Dresden zusammen.

E-Mail: c.opitz@blutspende.de



Dr. med. Norbert Ostendorf

St. Franziskus-Hospital Münster

Dr. med. Norbert Ostendorf ist Facharzt für Laboratoriumsmedizin und Facharzt für Transfusionsmedizin mit der Zusatzbezeichnung Medizinische Informatik. Nach einem kurzen Ausflug in die Urologie absolvierte er die Ausbildung zum Facharzt für Transfusionsmedizin an den Instituten für Transfusionsmedizin der Universitätsklinken Bonn und Münster. Anschließend durchlief er die Weiterbildung im Fach Laboratoriumsmedizin am Institut für Mikrobiologie und Medizinische Immunologie des Helios-Klinikums Wuppertal. Von 2007 bis 2020 war er Leiter des Zentrallabors am St. Katharinen-Hospital Frechen. Seit dem 01.01.2021 ist er Leiter des Zentrallabors am St. Franziskus-Hospital Münster.

E-Mail: m.oesterer@blutspende.de



Dr. rer. nat. Eduard K. Petershofen

DRK-Blutspendedienst NSTOB

Dr. rer. nat. Eduard K. Petershofen ist promovierter Molekularbiologe und Facharzt für Transfusionsmedizin. Nach seiner hämatologischen Grundausbildung an der Medizinischen Hochschule Hannover und der Universitätsklinikum Rostock erfolgte die Weiterbildung in Transfusionsmedizin und Immungenetik im DRK-Blutspendedienst Baden-Württemberg – Hessen in Frankfurt und im DRK-Blutspendedienst NSTOB in Oldenburg. Dort war er bis 2022 ärztlicher Leiter des Instituts Bremen-Oldenburg und ist tätig in BAG in der Praxis für Transfusionsmedizin Oldenburg. Berufspolitische Tätigkeiten beim BDT, der DGTI und der European Federation for Immunogenetics. Langjähriger Begutachter für medizinische Laboratorien (TFM, H&I) für die EFI und DAkkS.

E-Mail: eduard.petershofen@bsd-nstob.de



Stefanie Popp, M.Sc., B.A.

Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt – THWS

Stefanie Popp, M.Sc., B.A. ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Rettungswesen, Notfall- und Katastrophenmanagement (IREM) der Technischen Hochschule Würzburg-Schweinfurt (THWS). Ihre Forschungsschwerpunkte liegen im Katastrophenmanagement, in der organisationalen Resilienz sowie im Einsatz von Sensorplatern zur Vitaldatenerfassung bei einem Massenanfall von Verletzten (MANV). Sie studierte Gesundheitsmanagement (B.A.) sowie Gesundheitsmanagement und Gesundheitsökonomie (M.Sc.). Neben ihrer wissenschaftlichen Tätigkeit verfügt sie über langjährige Erfahrung im Rettungsdienst und Katastrophenschutz und übernimmt als Zugführerin und Leitungskraft einer BRK-Bereitschaft ehrenamtlich Führungsverantwortung. Aktuell promoviert sie an der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg zur Resilienz von Blutspendediensten.

E-Mail: stefanie.popp@thws.de



Denise Schuster, M.Sc., B.A

Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt – THWS

Denise Schuster, M.Sc., B.A. ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Rettungswesen, Notfall- und Katastrophenmanagement (IREM) der Technischen Hochschule Würzburg-Schweinfurt (THWS). Nach einem Studium des Gesundheitsmanagements (B.A.) absolvierte sie ein Masterstudium in Public Health (M.Sc.). Als Rettungssanitäterin ist sie im Einsatzdienst des Bayerischen Roten Kreuzes (BRK) tätig und engagiert sich ehrenamtlich im Katastrophenschutz. Vor ihrer wissenschaftlichen Laufbahn war sie beim BRK-Kreisverband Kitzingen als Assistentin der Geschäftsführung tätig und verantwortete die Bereiche Öffentlichkeitsarbeit und Fundraising. Ihre Arbeit verbindet die praktische Notfallmedizin mit der theoretischen Forschung im Bereich Katastrophenschutz und Rettungswesen.

E-Mail: denise.schuster@thws.de



Prof. Dr. med. Christian Seidl

DRK-Blutspendedienst Baden-Württemberg – Hessen

Prof. Dr. med. Christian Seidl ist Abteilungsleiter und klinischer Oberarzt am Institut für Transfusionsmedizin und Immunhämatologie, Abteilung Transplantationsimmunologie und Immungenetik. Nach einem Clinical Scholarship in Biomedical Research am Memorial Sloan Kettering Cancer Center, USA und Weiterbildung in Innerer Medizin, Hämatologie-Onkologie ist Herr Professor Seidl seit mehr als 10 Jahren in dem Fach Transfusionsmedizin tätig. Als Mitglied oder Vorsitzender zahlreicher Kommissionen und ehemaliger Vorsitzender der Deutschen Gesellschaft für Immungenetik (DGI) hat er sich intensiv mit den fachlichen und wissenschaftlichen Standards in der Transplantationsimmunologie und Immungenetik auseinandergesetzt. Weiterhin beschäftigt sich Herr Professor Seidl mit transfusionsmedizinischen Anforderungen in der Hämotherapie und leitet hierzu eine Europäische Projektgruppe mit Partner-Institutionen aus 16 Europäischen Mitglieds-/EFTA oder Beitrittsländern. Ein Schwerpunkt seiner wissenschaftlichen Arbeit ist die Ursachenforschung von Mechanismen der Toleranzinduktion nach Blutstammzelltransplantation oder bei Autoimmunerkrankungen. Hierbei steht insbesondere die Regulation zwischen natürlicher und erworbener Immunität im Vordergrund.

E-Mail: c.seidl@blutspende.de



Dr. med. Anna-Lena Semmler

DRK-Blutspendedienst Baden-Württemberg – Hessen

Dr. med. Anna-Lena Semmler ist Fachärztin für Transfusionsmedizin und Anästhesiologie. Nach dem Studium der Humanmedizin absolvierte sie ihre erste Facharztausbildung in der Abteilung für Anästhesiologie des Sana Klinikums Offenbach. Seit 2021 ist sie beim DRK-Blutspendedienst Baden-Württemberg – Hessen gGmbH im Institut für Transfusionsmedizin und Immunhämatologie in Frankfurt tätig. Schwerpunktmäßig liegt ihre Tätigkeit in der Transplantationsimmunologie, seit 2026 ist sie auch EFI-Direktorin und bekleidet die Position der stellvertretenden Abteilungsleiterin für Transplantationsimmunologie und Immungenetik.

E-Mail: a.semmler@blutspende.de



Dr. med. Lina Susana Silva Bermudez

DRK-Blutspendedienst Baden-Württemberg – Hessen

Dr. med. Lina Susana Silva Bermudez ist Assistenzärztin für Transfusionsmedizin am Institut für Transfusionsmedizin und Immunologie in Mannheim. Nach ihrem Medizinstudium an der Universidad de los Andes in Kolumbien, welches sie 2019 abschloss, setzte sie ihre akademische Laufbahn an der Medizinischen Fakultät Mannheim der Universität Heidelberg fort. Dort erwarb sie 2020 einen M.Sc. in translationaler medizinischer Forschung. 2024 schloss sie an derselben Universität ihre Promotion mit dem Schwerpunkt Programmierung menschlicher Makrophagen ab. Ihre aktuellen Forschungsschwerpunkte liegen in der Aktivierung myeloischer Zellen durch anti-körperbasierte Immuntherapien.

E-Mail: l.silva-bermudez@blutspende.de



Lenka Trojanova

DRK-Blutspendedienst Nord-Ost

Lenka Trojanova ist Fachärztin für Transfusionsmedizin. Nach dem Studium der Humanmedizin an der Karls Universität in Prag absolvierte sie ihre Facharztausbildung beim DRK-Blutspendedienst Baden-Württemberg-Hessen im Institut in Mannheim. Seit 2023 ist sie im DRK-Blutspendedienst Nord-Ost im Institut Dresden tätig. Zu ihrem Schwerpunkt gehört die Betreuung des immunhämatologischen und des HLA-Labors und die medizinische Betreuung der DSSD Nord-Ost. Zusätzlich ist sie als externe Transfusionsverantwortliche und Qualitätsbeauftragte Hämotherapie tätig.

E-Mail: l.trojanova@blutspende.de

Weitere Informationen zu den folgenden deutschsprachigen Rednern Plenary und den Rednern der Fortbildungsveranstaltung DGTI finden Sie auch unter www.drk-haemotherapie.de/autoren



Dr. med. Elke Bätz
Universitätsklinikum Freiburg



Prof. Dr. med. Daniel Nowak
Paul-Ehrlich-Institut, Langen



Prof. em. Dr. med. Gregor Bein
Universitätsklinikum Gießen und Marburg



Dr. med. Ruth Offergeld
Robert Koch-Institut, Berlin



Prof. Dr. rer. nat. Peter Bugert
DRK-Blutspendedienst Baden-Württemberg – Hessen



Dr. rer. nat. Sarah Petermann
DRK-Blutspendedienst West



Prof. Dr. Dr. med. Florian Gärtner
Ludwig-Maximilians-Universität München



Prof. Dr. rer. nat. David Stegner
Julius-Maximilians-Universität Würzburg (JMU)



Priv.-Doz. Dr. med. Dr. phil. Lambros Kordelas
DRK-Blutspendedienst West



Prof. Dr. rer. nat. Bernhard Nieswandt
Julius-Maximilians-Universität Würzburg (JMU)



Univ.-Prof. Dr. med. Daniela S. Krause
Johannes-Gutenberg-Universität Mainz



Prof. Dr. med. Thomas Thiele
Universitätsmedizin Greifswald

Arbeiten beim Blutspendedienst – ein Job, der wirklich zählt

*Sie suchen eine Aufgabe, die Sinn stiftet und Menschen hilft?
Bei den DRK-Blutspendediensten steht genau das im Mittelpunkt: Gemeinsam sichern wir die Versorgung von Patientinnen und Patienten mit lebenswichtigen Blutpräparaten.*

Warum wir ein besonderer Arbeitgeber sind:

- ✓ Gemeinnützig & sinnstiftend
- ✓ Arbeiten mit gesunden Spenderinnen und Spendern
- ✓ Systemrelevant & krisensicher
- ✓ Moderne Entwicklungsmöglichkeiten – auch für Quereinsteiger
- ✓ Familienfreundliche Arbeitszeiten (keine Nacht-/Wochenenddienste)
- ✓ Flexible Arbeitsmodelle

Eine Auswahl offener Positionen finden Sie hier:

DRK-Blutspendedienst West gemeinnützige GmbH

Arzt für Immunhämatologie (m/w/d)
Ratingen, zum nächstmögl. Zeitpunkt in Vollzeit.

(Honorar-) Arzt (m/w/d)
Münster, Bad Salzuflen, Hagen, Ratingen, zum nächstmögl. Zeitpunkt in Vollzeit.

Fachärzte (m/w/d) für Transfusions- und/oder Laboratoriumsmedizin
Münster, Hagen, Ratingen, zum nächstmögl. Zeitpunkt in Vollzeit.



Deutsches Rotes Kreuz 
DRK-Blutspendedienste

DRK-Blutspendedienst NSTOB gemeinnützige GmbH

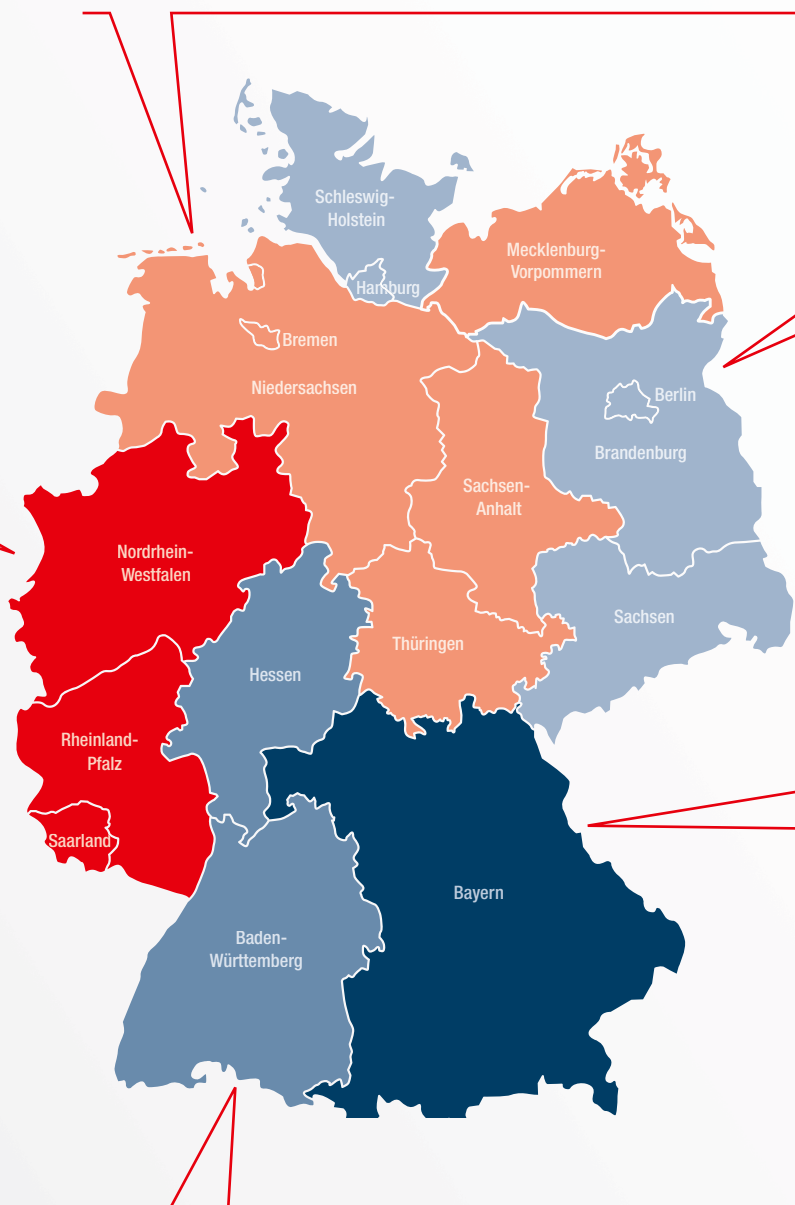
Ärztlicher Mitarbeiter (m/w/d) als Facharzt (m/w/d) für Transfusionsmedizin oder zur Weiterbildung zum Facharzt (m/w/d) für Transfusionsmedizin
Bremen, zum nächstmögl. Zeitpunkt in Teil- oder Vollzeit.

Facharzt (m/w/d) für Arbeitsmedizin

Springe, zum nächstmögl. Zeitpunkt in Vollzeit.

Arzt (m/w/d) im Blutspendedienst

Neubrandenburg, zum nächstmögl. Zeitpunkt in Teilzeit.



DRK-Blutspendedienst Nord-Ost gemeinnützige GmbH

Facharzt als Institutsleitung (m/w/d)

Lütjensee, zum nächstmögl. Zeitpunkt in Vollzeit.

Facharzt für Transfusionsmedizin (w/m/d)

Berlin, zum nächstmögl. Zeitpunkt in Teil- oder Vollzeit.

Arzt in Weiterbildung / Facharzt Transfusionsmedizin mit Perspektive Oberarzt (m/w/d)

Chemnitz, zum nächstmögl. Zeitpunkt in Vollzeit.

Blutspendedienst des Bayerischen Roten Kreuzes gemeinnützige GmbH

Perspektive Herstellungsleitung (m/w/d)

Würzburg, zum nächstmögl. Zeitpunkt in Teil- oder Vollzeit.

Facharzt für Transfusionsmedizin (m/w/d)

München, Nürnberg, Regensburg, zum nächstmögl. Zeitpunkt in Teil- oder Vollzeit.

Arzt in Weiterbildung zum Facharzt für Transfusionsmedizin (m/w/d)

München, Nürnberg, Regensburg, zum nächstmögl. Zeitpunkt in Teil- oder Vollzeit.

DRK-Blutspendedienst Baden-Württemberg – Hessen gemeinnützige GmbH

Facharzt für Labormedizin (m/w/d)

Ulm, zum nächstmögl. Zeitpunkt in Vollzeit.

Facharzt für Transfusionsmedizin (m/w/d)

Ulm, zum nächstmögl. Zeitpunkt in Vollzeit.

Assistenzarzt / Arzt in Weiterbildung Transfusionsmedizin (m/w/d)

Kassel, zum nächstmögl. Zeitpunkt in Teil- oder Vollzeit.



Diese und weitere
aktuelle Jobangebote
finden Sie auch hier:

www.drk-haemotherapie.de/karriere

AUS DER PRAXIS FÜR DIE PRAXIS

Werden Sie Autorin oder Autor für die hämotherapie!

Ob aktuelle Fallbeispiele, neueste Forschungsergebnisse oder Fachbeiträge aus den unterschiedlichsten Bereichen der Transfusionsmedizin – die hämotherapie ist Deutschlands führendes Fachmagazin rund um aktuelle Themen der Transfusionsmedizin.

Mit bereits über 210 Autorinnen und Autoren, die uns Ausgabe für Ausgabe mit ihrer Expertise unterstützen, bieten wir fundierte und praxisrelevante Inhalte für Fachkreise.

Sie möchten selbst einen Beitrag in der hämotherapie veröffentlichen?

Alle Informationen finden Sie hier:

www.drk-haemotherapie.de/autor-werden



ISSN 3057-2940

hämotherapie
Fachmagazin der Transfusionsmedizin

Alle Ausgaben sind auch digital erhältlich unter
www.drk-haemotherapie.de/ausgaben