



Die Perfusion 4

Technische Medizin · Perfusion · Organprotektion · Rhythmologie · Medizininformatik

Vorstellung und Einordnung der europäischen Guideline zur Anwendung des kardiopulmonalen Bypasses 2024

A. Bauer, E. Joubert-Hübner, S. Schmidt

Retrospektive Evaluation eines interdisziplinären Ansatzes zur Reduktion von allogenen Blutprodukten in der Kinderherzchirurgie

A. Teske, F. Münch

Erstellung einer Oxygennatortransferleistung für den Sorin Inspire 8F™ Dual PH.I.S.I.O. Oxygenator

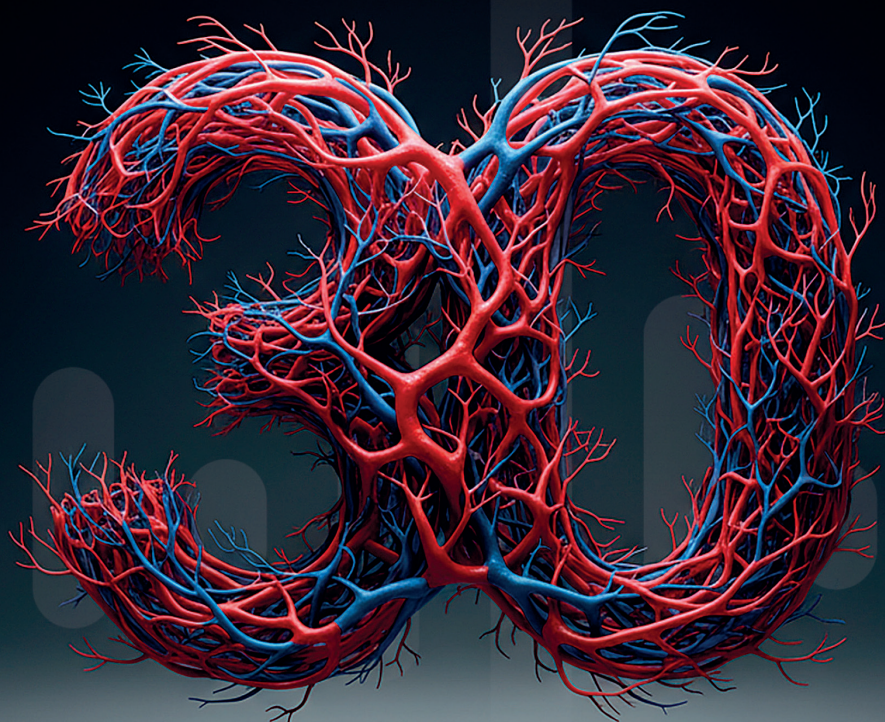
J. Turra, N. Misevski, A. Dietz, M. Demuth, H. Adam, D.M. Riesterer

**Tutorial:
Statistik Teil 16:
pp- und qq-Plot**

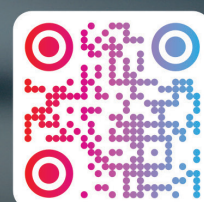
M. Kohl, F. Münch

SEIT 30 JAHREN

erfolgreich in der Perfusion

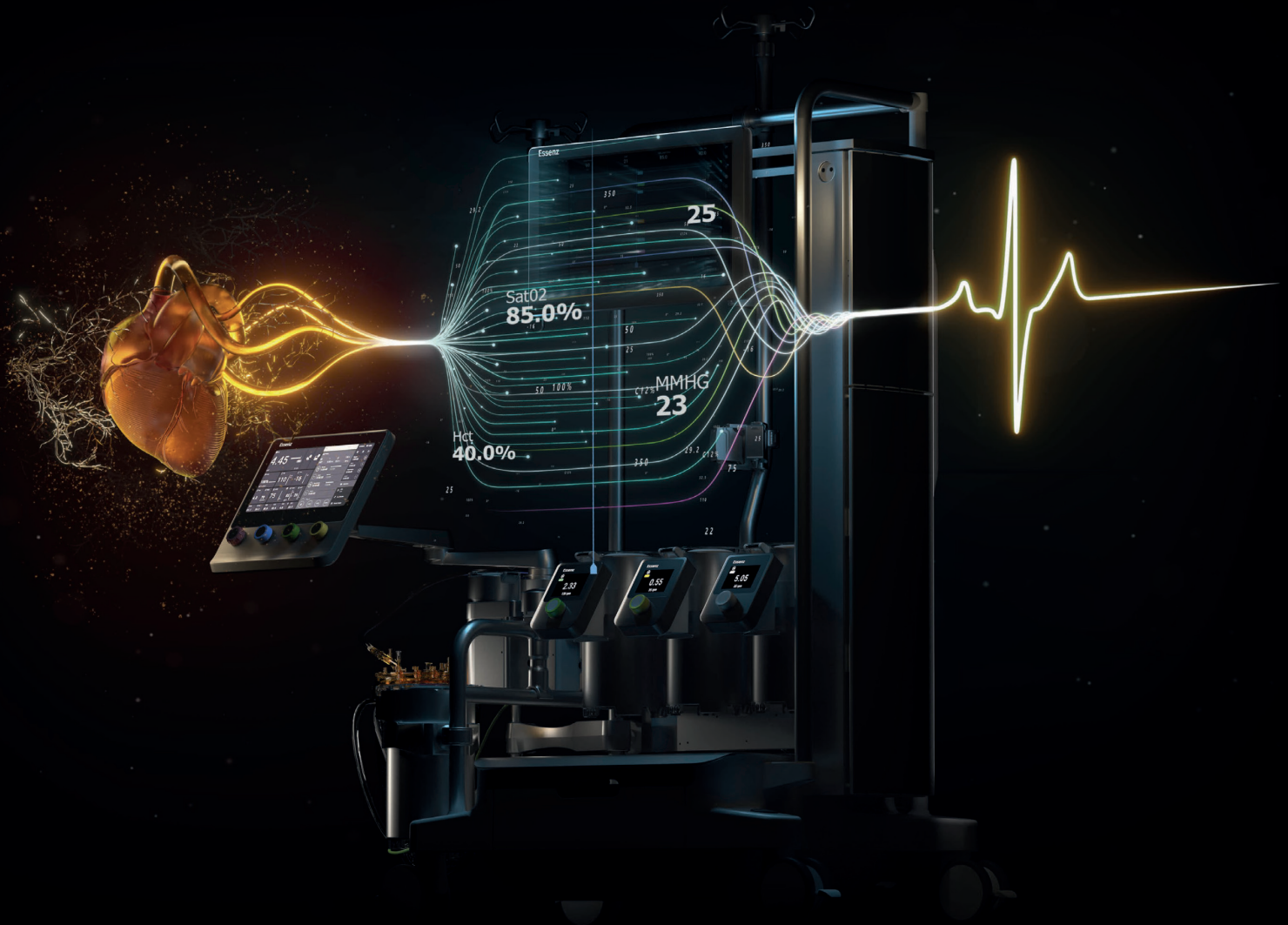


Life
Systems



Essenz™

Perfusion System



Elevating Perfusion into a New Era

Verlag/Publisher Deutsche Gesellschaft für Perfusiologie und Technische Medizin e. V.,
Rödelstraße 13, 04229 Leipzig

Herausgeber/Editor Dr. Johannes Gehron (Editor-in-Chief) und die
Deutsche Gesellschaft für Perfusiologie und Technische Medizin e. V.

**Mitherausgeber/
Associate Editor** Dr. Johannes Gehron, PD Dr. Frank Münch, Benjamin Haupt,
Prof. Sven Maier, Dr. Maik Foltan

**Gutachterbeirat/
Editorial Board** Jan Turra MSc., Prof. Dr. Bernd Niemann, Prof. Dr. Christina Feldmann,
Prof. Dr. Thomas Schiepp, Dr. Adrian Bauer, Dr. Dirk Buchwald,
Dipl. Ing. Sebastian Tiedge, Dipl. Ing. Sebastian Schmidt

**Redaktion/
Managing Editor** Dipl. Ing. Petra Kirsten-Treptow

Die Zeitschrift **Die Perfusiologie** veröffentlicht im Peer-Review-Verfahren Originalartikel, klinische und experimentelle Arbeiten, Fallberichte, Übersichtsreferate, Leserbriefe und Buchbesprechungen aus dem Bereich technische Medizin, Perfusion, Organprotektion, Rhythmologie und Medizininformatik.

The German Journal of Perfusion is a peer-reviewed journal. It publishes original articles, clinical and experimental papers, case reports, review articles, letters to the editors and book reviews in the field of technical medicine, perfusion, organ protection, rhythmology and medical informatics.

Redaktion Die Perfusiologie <https://die.Perfusiologie.de>

Gelistet und indexiert in Current Contents Medizin, EMBASE – Excerpta Medica,
SCImago Journal and Country Rank, SCOPUS

Inhalt

Ausgabe 4
November 2025

Editorial	150
Vorstellung und Einordnung der europäischen Guideline zur Anwendung des kardiopulmonalen Bypasses 2024	151
A. Bauer, E. Joubert-Hübner, S. Schmidt	
Retrospektive Evaluation eines interdisziplinären Ansatzes zur Reduktion von allogenen Blutprodukten in der Kinderherzchirurgie	158
A. Teske, F. Münch	
Erstellung einer Oxygenatortransferleistung für den Sorin Inspire 8F™ Dual PH.I.S.I.O. Oxygenator	166
J. Turra, N. Misevski, A. Dietz, M. Demuth, H. Adam, D.M. Riesterer	
Tutorial: Statistik Teil 16: pp- und qq-Plot	174
M. Kohl, F. Münch	
Education	180
Kongressnotizen	182
Industrie	184
Journalclub	186
Aktuell	190
Blaue Seiten	193

Termine

Die Perfusiologie 1-2026 | Erscheinungstermin 18.2.2026
Einsendeschluss für redakt. Beiträge 21.11.2025 | Anzeigenschluss 20.1.2026

Die Perfusiologie 2-2026 | Erscheinungstermin 31.5.2026
Einsendeschluss für redakt. Beiträge 10.3.2026 | Anzeigenschluss 22.4.2026

Impressum

Verlag, Herausgeber Deutsche Gesellschaft für Perfusiologie und Technische Medizin e. V.,
Rödelstraße 13, 04229 Leipzig
E-Mail: geschaeftsstelle@dgptm.de

**Anschrift für Autoren bzw.
Fachbeiträge** Dr. Johannes Gehron, Editor in Chief, Herausgeber
Universitätsklinikum Gießen u. Marburg GmbH, Klinik f. Herz-, Kinderherz- u.
Gefäßchirurgie, Telefon 0641 985-44917, E-Mail: j.gehron@dgptm.de

**Redaktion, Firmenporträts,
Abonnentenservice,
Anzeigenverwaltung** Dipl.-Ing. Petra Kirsten-Treptow, Managing Editor
Telefon 040 27809144
E-Mail: pkt@kirsten-treptow.de

Lektorat, Schlussredaktion Friederike Meltendorf

Gestaltung Tobias Kurtz

Druck Strube Druck & Medien GmbH

Erscheinungsweise 4 x jährlich: Februar, Mai, September, November

Druckauflage 1.000 Exemplare

ISSN 2941-556X (Print), 3052-6256 (Online)

Veranstaltungen



Mit dem Scan dieses QR-Codes gelangen Sie auf die
aktuelle Veranstaltungsseite der DGPTM, auf der Sie alle
relevanten Veranstaltungen finden.

Preis Jahresabonnement
Preis Einzelheft

€ 34,- (Deutschland), € 40,- (Ausland)
€ 10,- (Deutschland), € 12,- (Ausland)
jeweils zzgl. Versandkosten. Inlandspreise inkl. ges. MwSt.
Abonnementbestellung schriftlich beim Verlag, Mindestbezugsdauer 1 Jahr,
Verlängerung jeweils um 1 Jahr, wenn keine Abbestellung erfolgt.
Kündigung 3 Monate zum Jahresende.

Von Autoren gekennzeichnete Beiträge geben nicht unbedingt die Meinung des Editor in Chief wieder. Für unverlangt eingesandte Manuskripte übernehmen Herausgeber, Editor in Chief und Verlag keine Haftung. Mit der Annahme der Manuskripte von Erstveröffentlichungen erwirbt der Verlag das ausschließliche Recht der Vervielfältigung, Verbreitung und Übersetzung. Die in der Zeitschrift veröffentlichten Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in andere Sprachen, Mikroverfilmung, Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen einschl. Aufnahme auf die Internetseite der DGPTM, auch auszugsweise, sind dem Herausgeber/Verlag vorbehalten. Nachdrucke, auch auszugsweise, sind nur mit Genehmigung und mit Quellenangabe gestattet. Fotokopien für den persönlichen und sonstigen eigenen Gebrauch dürfen nur von einzelnen Beiträgen oder Teilen daraus als Einzelkopien hergestellt werden.

Die Perfusiologie wird auf chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt.

Liebe Kolleginnen und Kollegen,



Johannes Gehron

seit inzwischen fast 20 Jahren lenke ich in verschiedenen Positionen mit dem Redaktionsteam die Inhalte dieses wissenschaftlichen Journals. 2006 hatte man mich in das Team berufen, damals fanden Redaktionstreffen noch ganz analog in der Uniklinik Köln in den Räumen des Personalrates statt. Wir waren damals weit von digitalen Medien und Online-Meetings entfernt – Präsenz hatte etwas.

Ab 2008 wurde ich dann federführender Schriftleiter und entschied und entscheide kritisch, aber wohlwollend und konstruktiv über eingereichte Originalarbeiten und lenke die thematische Richtung. Dies alles funktioniert natürlich nur, weil ein großes und hervorragendes Team an Mitherausgebern, Redakteurin, Lektorin und wissenschaftlichen Beiräten zum Gelingen beiträgt.

Der letzten Pandemie geschuldet ist Präsenz inzwischen passe und Online angesagt. Das kommt der Arbeitsverdichtung und den nicht wirklich üppigen personellen Ressourcen durchaus entgegen.

Inzwischen sind es aber nicht mehr nur pandemische und weltpolitische Aspekte, die uns umtreiben, sondern aktuell vor allem Angriffe auf die Wissenschaftsfreiheit, wie sie in den USA stattfinden. Wenn Wissenschaftler dort in den großen Medizinjournalen wie *Lancet*, *New England Journal of Medicine* und *JAMA* publizieren, droht ihnen der Entzug von Forschungsgeldern; eingereichte Manuskripte sollten außerdem vorab überprüft werden. Das International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE), deren Grundsätzen wir uns auch verpflichtet haben, unterstreicht die redaktionelle Unabhängigkeit wissenschaftlicher Journals als redaktionellen wichtigen Standard. Eine institutionelle Beeinflussung erschwert aber ergebnisoffene Forschung und einen sauberen Diskurs.

Umso wichtiger sind deswegen auch wissenschaftliche Beiträge unserer noch jungen Fachdisziplin, um diesen freien Diskurs zu erhalten. So konnte ich neben der Namensänderung und der Einführung der DOI-Registrierung dieser Fachzeitschrift viele Dinge maßgeblich lenken und einleiten, gebe die Verantwortung als Editor-in-Chief (EIC) jetzt aber nach vielen Jahren gerne ab, um jüngere Kollegen umfangreich einzuarbeiten. So werden Sie ab 2026 den Kollegen Lars Saeemann aus Halle als EIC sehen. Ich bleibe der Zeitschrift aber weiterhin als Mitherausgeber erhalten.

Zum Schluss eine kurze Zusammenfassung des wissenschaftlichen Teils dieser Ausgabe:

Eine Vorstellung und Einordnung der europäischen Guideline zur Anwendung des kardiopulmonalen Bypasses 2024 wird in dieser Ausgabe von einem Team aus Adrian Bauer, Elrina Joubert-Hübner und Sebastian Schmidt zusammenfassend beschrieben. Es ist die erste Episode von insgesamt 4, die in den kommenden Ausgaben folgen werden.

Von Andreas Teske und Frank Münch gibt es einen umfangreichen Artikel mit dem Titel *Retrospektive Evaluation eines interdisziplinären Ansatzes zur Reduktion von allogenen Blutprodukten in der Kinderherzchirurgie*.

Ein Team um Jan Turra beschreibt eine Studie zur Erstellung einer Korrelationsfunktion, um die *Oxygenatortransferleistung für den Sorin Inspire 8F™ Dual PH.I.S.I.O.* zu untersuchen.

Ich wünsche viel Spaß beim Lesen dieser Ausgabe und verbleibe mit herzlichen Grüßen

Ihr Johannes Gehron

Vorstellung und Einordnung der europäischen Guideline zur Anwendung des kardiopulmonalen Bypasses 2024

Presentation and classification of the European guideline on the use of cardiopulmonary bypass 2024

Einleitung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den Leser:innen eine Einordnung der Empfehlungen und eine Hilfe zur Umsetzung dieser wichtigen Handlungsanweisungen in den klinischen Alltag zu geben. Insgesamt wurden in der vorliegenden sehr umfassenden Guideline (GL) 160 Empfehlungen ausgesprochen. Um dem Umfang der hier vorgestellten Guideline gerecht werden zu können, werden die Empfehlungen in einer Serie von Publikationen vorgestellt und diskutiert.

Der hier vorliegende Artikel wird die Guideline und ihre spezielle Methodik vorstellen und die ersten drei inhaltlichen Kapitel der GL besprechen.

Mit einem vom European Board of Extracorporeal Perfusion (EBCP) für diese Guideline entwickelten Excel-Tool können die Empfehlungen außerdem kompakt und im Abgleich zu 2019 eingesehen werden. Weiterhin kann dieses Tool genutzt werden, um die Empfehlungen leichter in die Routine und Standards der jeweiligen Klinik zu übernehmen. Das Tool und die Guideline sind unter folgendem Link auf der Website des EBCP zu finden.



<https://www.ebcp.eu/?oid=454&pid=169284>

Hintergrund

Die erste europäische Guideline zur Anwendung des kardiopulmonalen Bypasses (engl. cardiopulmonary bypass, CPB) erschien 2019. Für die Erstellung dieser strukturierten Handlungsempfehlungen arbeiteten zum ersten Mal die europäischen Fachgesellschaften der Herzchirurgie (EACTS), der Kardioanästhesie (EACTAIC) und das European Board of Cardiovascular Perfusion (EBCP) in dieser Form zusammen. Die Leitlinie entstand somit in interdisziplinärer und paritätischer Zusammenarbeit von Herzchirurg:innen, Anästhesist:innen und Perfusionist:innen aus ganz Europa. So wie die bereits 2019 veröffentlichte Guideline bietet nun auch die aktualisierte Version von 2024 evidenzbasierte, praxisnahe Empfehlungen für den Einsatz der Herz-Lungen-Maschine (HLM/CPB) bei erwachsenen Patient:innen. Die Empfehlungen basieren auf systematischer Literaturschau und Expertenkonsens.

Solche evidenzbasierten medizinischen Guidelines sind notwendig, um eine qualitativ hochwertige und sichere Patientenversorgung sicherzustellen, indem sie aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse, klinische Erfahrung und Patientenwerte systematisch integrieren.



<https://www.bundesgesundheitsministerium.de/service/begriffe-von-a-z/e/evidenzbasierte-medizin.html#:~:text=unter%20Beteiligung%20von%20Patientenvertreterinnen%20und%20Patientenvertretern>

Episode 1

- Hintergrund, Methodik der Guideline
- Training, Ausbildung von Perfusionist:innen, strukturelle Anforderungen an eine Abteilung für Perfusiologie
- Herz-Lungen-Maschine (Hardware-seitige Komponenten)
- Kardiopulmonaler Bypass – Einwegartikel

Adrian Bauer, Elrina Joubert-Hübner, Sebastian Schmidt

Sie dienen dabei der Qualitätssicherung und helfen, die Behandlung nach dem aktuellen Stand der medizinischen Forschung auszurichten, um Wirksamkeit und Nutzen von Therapien zu gewährleisten. Sie sollen vor Fehlentscheidungen schützen, indem sie den Einsatz nutzloser oder schädlicher Verfahren vermeiden und somit Patient:innen vor unnötigen Risiken schützen. Durch klare Handlungsempfehlungen geben sie den Akteuren in der Medizin eine verlässliche Orientierung bei der Wahl diagnostischer und therapeutischer Maßnahmen. Leitlinien stärken außerdem das Recht von Patient:innen auf evidenzbasierte Informationen und Behandlungen. Perfusionist:innen, Ärzt:innen und alle Beteiligten im Herzteam werden in ihren Entscheidungen durch evidenzbasierte Leitlinien gefördert, und diese ermöglichen es ihnen, verschiedene Therapieoptionen objektiv zu bewerten und somit „shared decision making“ besser praktizieren zu können.



https://www.ebm-netzwerk.de/de/medien/pdf/ebm-09_16_web_kvh_journal.pdf#:~:text=konzentrieren%20sich%20meist%20auf%20einen%20einzigen%20Behandlungsweg

Für die Einordnung der Bedeutung von Guidelines sind weitere Grundsätze zu beachten. Solche Empfehlungen bieten Orientierung, ersetzen jedoch nicht die klinische Entscheidung im Einzelfall. Eine Leitlinie ist nicht rechtlich bindend, sondern eine Hilfestellung für die medizinische Praxis. Weitere Forschung und Innovation bleiben erforderlich.

Insbesondere für das relativ junge Fach der Perfusiologie spielen allerdings solche strukturierten Handlungsempfehlungen eine eminent wichtige Rolle. Verorten sie doch das Tätigkeitsfeld der klinischen Perfusion in den Kontext der anderen medizinischen Fachbereiche und fördern somit die Darstellbarkeit des Berufsfeldes der klinischen Perfusion in der Krankenhauslandschaft.

Weiterhin können klinisch Tätige und Personen mit Personal- und Materialverantwortung die Empfehlungen nutzen, um notwendige Entscheidungen und Anschaffungen evidenzbasiert zu rechtfertigen, was wiederum die Prozessqualität und Patientenversorgung verbessern kann.

Waren die Anfangsjahre der Perfusiologie noch von Erfindergeist und der Bereitschaft zur Anwendung experimenteller Verfahren geprägt, so ist dieses Berufsfeld mittlerweile ein fester Bestandteil der medizinischen Routineverfahren und unterliegt somit auch zunehmend der Einhaltung evidenzbasierter Medizin und damit der leitliniengerechten Behandlung von Patient:innen.

Im folgenden Artikel werden insbesondere die Änderungen und Neuerungen der aktuellen Guideline vorgestellt und diskutiert. Es wird darauf eingegangen, wie solche Handlungsempfehlungen Eingang in den klinischen Alltag der Perfusiologie finden können und welche Tools dabei hilfreich sein können.

Methodik der Guideline

Die Methodik der „2024 EACTS/EACTAIC/EBCP-Guidelines on Cardiopulmonary Bypass in Adult Cardiac Surgery“ ist sehr detailliert und streng an die Prinzipien evidenzbasierter Medizin angelehnt. Die entscheidenden Schritte und Prinzipien zur Erstellung der Empfehlungen dieser Leitlinie wurden durchgeführt.

Der erste entscheidende Schritt war die Festlegung auf eine ausgewogene Zusammensetzung des Expertengremiums. Das multidisziplinäre Task-Force-Team bestand aus erfahrenen Herzchirurg:innen, Perfusionist:innen und Kardioanästhesist:innen aus verschiedenen europäischen Ländern. Hierbei wurde Wert auf Diversität in Bezug auf Fachrichtung, Geschlecht und geografische Verteilung gelegt. Alle Mitglieder deklarierten mögliche Interessenkonflikte, um Unabhängigkeit und Transparenz sicherzustellen.

Da sich das medizinisch wissenschaftliche Feld stetig weiterentwickelt, müssen regelmäßige Überarbeitungen von Guidelines durchgeführt werden. Der avisierte Zeitraum hierfür beträgt in der Regel fünf Jahre. Die aktuelle Leitlinie stellt eine Überarbeitung der Version von 2019 dar. Neue Publikationen und wissenschaftliche Erkenntnisse aus den Jahren bis 2023 wurden integriert und die Fachgesellschaften (EACTS, EACTAIC, EBCP) haben sich zur fortlaufenden Aktualisierung verpflichtet.

Alle Empfehlungen basieren auf einer systematischen Literaturrecherche (systematic literature review, SLR), bei der ein Spezialist für medizinische Informatik die Task-Force unterstützte. Es wurden gezielt Fragen im PICOT-Format (population, intervention, comparison, outcome, time) gestellt und anhand dieser Methode die jeweiligen Fragestellungen beantwortet. Die Recherche wurde in den Datenbanken MEDLINE, EMBASE und Cochrane Library für alle relevanten Studien (RCTs, Register, Fallserien etc.) im Zeitraum Mai bis September 2023 sowie für weitere aktuelle Literatur bis zur Fertigstellung durchgeführt.

Auf europäischer Ebene wird die Evidenz und Empfehlungsstärke nach einem dreistufigen System bewertet:

Die **Evidenz** wurde nach folgendem Schema bewertet:

- **Level A:** Daten aus mehreren randomisierten, kontrollierten Studien (RCTs) oder Metaanalysen
- **Level B:** Daten aus einer einzelnen RCT oder großen nicht-randomisierten Studien
- **Level C:** Konsens von Expertenmeinung und/oder kleine, retrospektive Studien, Register

Die **Empfehlungen** bekamen zusätzlich einen **Empfehlungsgrad** (Class I, IIa, IIb, III):

- **I:** ist empfohlen/angezeigt
- **IIa:** sollte erwogen werden
- **IIb:** kann erwogen werden
- **III:** ist nicht empfohlen

In einzelnen Arbeitsgruppen zu den verschiedenen Themenbereichen wurden alle vorgenannten Schritte durchgeführt. Dies bedeutet, dass sich zunächst die Task-Force auf die wissenschaftlichen Fragestellungen geeinigt hat. Danach haben die Arbeitsgruppen (auch diese waren paritätisch besetzt) die Literatur aus der Recherche mittels PICOT beantwortet und haben Empfehlungsvorschläge erarbeitet, welche mit der gesamten Task-Force im Konsens abgestimmt wurden. Diese Konsensbildung für die Empfehlungen führte über eine Diskussion zur Abstimmung bei der mindestens 75 % Zustimmung innerhalb der Task-Force erreicht werden musste. Die dann durchgeführte elektronische Abstimmung über die Empfehlungen musste mindestens 80 % Rücklaufquote und 75 % Zustimmung erreichen.

Als letzter Schritt wurden die Prüfung und Freigabe der Leitlinie durchgeführt. Der Leitlinien-Entwurf wurde zuerst von einem externen Expertengremium (Reviewer) überprüft. Nach Einarbeitung dieses Feedbacks erfolgte die Verabschiedung durch die Gremien der EACTS, EACTAIC und EBCP. Bei allen Schritten wurden Neutralität und Transparenz beachtet und die Entwicklung wurde ausschließlich durch die Fachgesellschaften finanziert. Es gab keine Einflüsse seitens der Industrie.

Wo robuste Studien fehlten, wurden Empfehlungen im Expertenkonsens beschlossen und als solche ausgewiesen. Dies war insbesondere dort der Fall, wo Studien schwer oder nicht durchführbar sind. Dies betrifft z. B. die Empfehlungen zu Sicherheitseinrichtungen an der Herz-Lungen-Maschine wie die Verwendung von Niveau-Blasen- und Drucksensoren, aber auch bei den personellen Mindestbesetzungen oder Kompetenz- und Qualifikationsniveaus von Perfusionist:innen.

Im Fazit zur Beurteilung und Einordnung der Methodik lässt sich postulieren, dass die Leitlinie evidenzbasierte Forschung mit Expertenkonsens und transparenten Standards kombiniert. Sie ist so aufgebaut, dass Anwender:innen stets den Empfehlungsgrad sowie das Evidenzniveau nachvollziehen können. Die Empfehlungen werden regelmäßig aktualisiert und bei methodischen Schwächen oder Forschungsbedarf wird deutlich darauf hingewiesen.

Training, Ausbildung von Perfusionist:innen, strukturelle Anforderungen an eine Abteilung für Perfusiologie

Dieses Kapitel behandelt umfassend die Qualifikation, Ausbildung, kontinuierliche Weiterbildung sowie die Struktur und Organisation des Perfusionsdienstes bei erwachsenen Patient:innen unter Herz-Lungen-Maschine.

Perfusionist:innen werden in der GL als Mitglieder eines interdisziplinären Teams genannt und als solches arbeiten sie eng mit Chirurg:innen, Anästhesist:innen und dem OP-Personal zusammen. Das operative und auch das Servicemanagement der CPB liegt in ihrer direkten Verantwortung. Dafür benötigen Perfusionist:innen eine angemessene Qualifizierung mit entsprechenden Kenntnissen, Fähigkeiten und Fachkenntnissen, um die sichere und effektive klinische Praxis gewährleisten zu können.

Wie bereits auch in verschiedenen Veröffentlichungen der DGPTM (ehemals DGfK) gefordert, wird auch in dieser Guide-
line eine zertifizierte Ausbildung wie die des EBCPs mit dem Grad I C empfohlen.



<https://doi.org/10.47624/dp.033.NZML4738>
[doi:10.1093/icvts/ivaa005](https://doi.org/10.1093/icvts/ivaa005)

Ebenfalls mit dem höchsten Empfehlungsgrad – 2024 neu – wird der Beruf der Perfusionist:innen auf einem akademischen Level mit der Niveaustufe 6 (Bachelor, Europäischer Qualifikationsrahmen) verortet.

Zur aktuellen Einordnung: In einer Konsensuspublikation der drei führenden europäischen Fachgesellschaften (EBCP, EACTS, EACTAIC) aus dem Jahr 2025 wird darüber hinaus eine Weiterentwicklung des akademischen Abschlussniveaus auf Stufe 7 (Master-Abschluss) innerhalb der nächsten 5–10 Jahre empfohlen (Bauer et al. 2025 accepted manuscript).

Weiterhin werden Empfehlungen zur Struktur von Perfusionsabteilungen ausgegeben. Die Abteilungen für Perfusionologie müssen über ausreichend Personal und Ressourcen verfügen, um die Patientenversorgung gewährleisten zu können. Die empfohlene Personalstärke ist hierbei mit $n + 1$ (z. B. 4 Perfusionist:innen für 3 Operationssäle) angegeben. Diese Empfehlung bezieht sich im Rahmen der vorgestellten Leitlinie auf den operativen Arbeitsbereich der Perfusi-

onist:innen. Andere Tätigkeitsfelder sind in der Empfehlung nicht berücksichtigt

Es müssen für alle Vorgänge standardisierte Arbeitsanweisungen (SOPs) vorliegen, inklusive Verantwortlichkeiten, Sicherheitsvorkehrungen, Kompetenzen und Dokumentationen. Die Festlegung von Standards soll die Wirksamkeit der Versorgung durch die Überwachung der Patientenergebnisse regeln.

Im Sinne einer strukturierten Teamführung sind regelmäßige Meetings und eine offene Kommunikationskultur („Closed-Loop Communication“) durchzuführen. Briefings, Debriefings und Maßnahmen zur Förderung der Team- und Sicherheitskultur (Fehlerkultur!) sind angeraten.

Fehler, Zwischenfälle und Komplikationen müssen berichtet, systematisch analysiert und auf lokaler sowie nationaler Ebene zur Verbesserung der Versorgung geteilt werden.

Zusätzlich zur regelmäßigen Berichterstattung mittels zu führender Perfusionsprotokolle sollten Leistungsbewertungen und Bewertungen der aus unerwünschten Ereignissen gewonnenen Erkenntnisse eingeführt werden.

In dem Kapitel werden einheitliche und hohe europäische Standards für Perfusionist:innen gefordert sowie kontinuierliche Qualitätssicherung, ausgeprägte Fehlerkultur sowie die Vernetzung von Kliniken über Datenbanken. Ziel ist die optimale, sichere und evidenzbasierte Patientenversorgung bei CPB in der Erwachsenenherzchirurgie.

	Empfehlungen	2024		2019	
		Class	L.O.E.	Class	L.O.E.
1	Es wird empfohlen, dass Perfusionist:innen eine formale Ausbildung in einem vom EBCP und/oder nationalen Behörden anerkannten Ausbildungsprogramm absolvieren.	I	C	I	C
2	Es wird empfohlen, dass Perfusionist:innen die Zertifizierung durch das erfolgreiche Absolvieren einer Prüfung der Fähigkeiten und Kenntnisse erlangen. Durch den Nachweis eines angemessenen Niveaus der kontinuierlichen beruflichen Weiterentwicklung, einer Mindestfallzahl und professioneller Standards soll die Zertifizierung aufrechterhalten werden.	I	C	I	C
3	Es wird empfohlen, dass künftige Perfusionist:innen mindestens einen Bachelor-Abschluss der Stufe 6 (Europäischer Qualifikationsrahmen) haben.	I	C		
4	Simulationen im Bereich der Perfusion sollten in Betracht gezogen werden, um die Qualität der Versorgung und die Patientensicherheit zu verbessern.	IIa	B	IIa	C
5	Es wird empfohlen, dass die Perfusionsabteilungen auf der Grundlage eines von der Einrichtung genehmigten Qualitätsmanagementrahmens strukturiert werden.	I	C	I	C
6	Es wird empfohlen, dass jede Perfusionsabteilung über schriftliche Standardarbeitsanweisungen (SOPs) für die Durchführung der CPB verfügt.	I	C	I	C
7	Es wird empfohlen, dass die jeweilige Perfusionsabteilung personell, materiell und finanziell angemessen ausgestattet ist.	I	C	I	C
8	Es wird empfohlen, die mündliche Kommunikation zwischen den Teammitgliedern im Operationssaal zu standardisieren und stets mit Bestätigung zu kommunizieren.	I	C	I	C
9	Die Erfassung und Übermittlung von Aktivitäten und Ergebnissen an eine regionale Datenbank oder ein Register sollte in Betracht gezogen werden. Diese Daten sollten zur Qualitätssicherung und -verbesserung genutzt werden.	IIa	B	IIa	B
10	Es wird empfohlen, Fehler oder unerwünschte Ereignisse zu melden und systematisch zu analysieren, einschließlich der Verbreitung von Ergebnissen, um daraus zu lernen.	I	C	I	C

Herz-Lungen-Maschine (Hardware-seitige Komponenten)

Dieses Kapitel der Leitlinie fokussiert sich auf die technischen und sicherheitstechnischen Anforderungen an die Herz-Lungen-Maschine (HLM) und deren Zubehör, um maximale Patientensicherheit während der extrakorporalen Zirkulation zu gewährleisten.

Im Mittelpunkt steht der Hardware-seitige Grundaufbau der Herz-Lungen-Maschine. Einig sind sich die Fachgesellschaften über die wichtigsten Ausstattungsmerkmale, die primär der Überwachung und Sicherheit dienen (so auch in Guidelines anderer Länder: Australian and New Zealand College of Anaesthetists: Regulations and Guidelines for Perfusionists.



Accessed on 15 August 2024.

Available from:

<https://anzcp.org/wp-content/uploads/2023/08/ANZCP-Standards-and-Guidelines-Final-Approved-15072022-1.pdf>

American Society of Extracorporeal Circulation: Standards and Guidelines for Perfusion Practice. Accessed on 15 August 2024.



Available from:

https://www.amsect.org/Portals/0/AmSECT_Perfusion_S%26G_2023%20Ratified%20021023_Digital%20edition.pdf

Dazu gehören Drucküberwachung, Luftdetektoren, Low-Level-Alarm, die elektrische Sicherheit, Rücklaufstopps, „Runaway protection“ und ein möglicher Notfallbetrieb per Handkurbel und/oder automatischen elektronischen Backupumpen.

Um höchste Sicherheit zu gewährleisten, müssen folgende Sicherheitsfeatures und Funktionen verpflichtend integriert sein (I C):

- Druckmessungen an allen patientenzuführenden Linien sowie vor und nach dem Oxygenator
- Blasendetektoren für alle patientenzuführenden Schläuche
- Level/Niveausensoren am venösen Reservoir
- Akustische und visuelle Alarmer mit Abschaltmechanismen (Verlinkung zwischen Sensorik und zuführenden Pumpen) bei Gefahr für die Patient:innen
- Back-up-Systeme und Not-Stromversorgung (Batterie)
- Das ständige Vorhalten eines Ersatzgeräts (Backup HLM)

Außerdem müssen regelmäßige Wartungs- und Prüfungsprotokolle (wie die Sicherheitstechnische Kontrolle) für alle Geräte nachweisbar durchgeführt werden (I C).

Der Betriebsort der HLM muss über eine gesicherte, redundante Versorgung mit Sauerstoff, Luft und CO₂ verfügen. Die Empfehlung zur Überwachung ein- und ausgehender Gase wurde von 2019 zu 2024 von Grad 2b (kann) auf Grad 2a (sollte) hochgestuft. Volatile Anästhetika im Sweep-Gas erfordern Absauganlagen für Abluft am Oxygenator, um dem Umfeld Schutz vor Gasexposition zu bieten.

Weiterhin stark empfohlen wird das CO₂-Flushing des HLM-Systems vor dem Priming, um Lufteinschlüsse und Embolien zu minimieren (I B). Währenddessen wird die CO₂-Insufflation in der chirurgischen Kavität zur Reduktion von Mikroembolien als optional angesehen, da keine klinisch bewiesene Outcome-Verbesserung nachgewiesen ist. Allerdings, wenn diese Methode angewendet wird, wird in einer neuen Empfehlung darauf verwiesen, den Gasaustausch am Gasblender anzupassen, um eine Hyperkapnie und Azidose zu vermeiden (Neu: I C).

Weiter ausgebaut wurden die Empfehlungen zu Heater-Cooler-Geräten (HCU), da aufgrund des nachgewiesenen Risikos einer Kontaminierung der Geräte mit dem Mycobacterium chimaera erweiterte Maßnahmen unbedingt nötig sind. Dazu gehören die strikte Reinigung gemäß den Herstellerempfehlungen oder einem anderen validierten Protokoll. Empfohlen werden regelmäßige mikrobiologische Tests und – wo möglich – die räumliche Trennung (I C) vom Operationssaal. Wo dies nicht möglich ist, sollen die Geräte so weit wie möglich (aber mindestens 2 Meter) vom Patienten entfernt stehen oder es sollen Abdeckungen oder/und Absaugungen für die Abluft der HCU verwendet werden (NEU: IIb C).

Institutionelle Protokolle zur Infektionsvermeidung gemäß ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control) müssen installiert werden (Neu: I B).

Hochgestuft wurden die Empfehlungen zur automatisierten elektronischen Datenerfassung, da moderne HLMs in der Regel über diese Möglichkeit verfügen (von IIa B auf II B). Eine künftige Integration dieser Daten in Register, Qualitätssicherung und gegebenenfalls KI-gestützte Entscheidungsunterstützung (Neu: IIb C) sollte ermöglicht werden. Prinzipiell wird eine systematische Datendokumentation empfohlen, um die Versorgung zu verbessern und neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu gewinnen.

Ebenfalls neu in diesem Abschnitt ist die Empfehlung zur Nutzung von Zentrifugalpumpen (Anmerkung des Autors: Hier geht es um die Vorhaltung der Hardware, Pumpenkopf) für potenziell längere Perfusionszeiten, dadurch sollen sich die Hämostabilität und Sicherheit für die Patient:innen verbessern (Neu: IIa C).

Alle Maßnahmen, Hardwareupdates und technische Innovationen müssen mit institutionellen QM-Prozessen abgestimmt werden.

Die sichere und effektive Nutzung der Herz-Lungen-Maschine basiert auf aktueller Technik, redundanter Sicherung, lückenloser Überwachung und striktem Datenmanagement. Die Empfehlungen des Kapitels unterstützen eine kontinuierliche Modernisierung der Hardware und betonen die Notwendigkeit von Qualitätssicherung, regelmäßiger Wartung und einem hohen Standard der Patientensicherheit.

	Empfehlungen	2024		2019	
		Class	L.O.E.	Class	L.O.E.
11	Es wird empfohlen, während der CPB Drucküberwachungen vor und nach dem Oxygenator und an den Kardioplegiesystemen zu verwenden.	I	C	I	C
12	Bei CPB-Verfahren wird empfohlen, dass ein Blasendetektor auf allen zum Patienten führenden Linien eingesetzt wird.	I	C	I	C
13	Es wird empfohlen, am venösen Hartschalenreservoir einen Levelsensor zu verwenden.	I	C	I	C
14	Es wird empfohlen, jederzeit Backups für lebenswichtige Systeme oder eine zusätzliche komplette Herz-Lungen-Maschine bereitzuhalten.	I	C	I	C
15	Es wird ein Wartungsplan für die HLM empfohlen.	I	C	I	C
16	Zur Verbesserung der Hämokompatibilität und Sicherheit sollte die Verwendung von arteriellen Zentrifugalpumpen in Betracht gezogen werden.	IIa	C		
17	Es wird empfohlen, schwerwiegende unerwünschte Ereignisse im Zusammenhang mit CPB-Verfahren effizient und zeitnah (elektronisch) zu erfassen, zu melden, zu beurteilen und zu analysieren.	I	C	I	C
18	Es wird empfohlen, innerhalb des Krankenhauses eine Sicherheitskultur zu schaffen, um unerwünschte Ereignisse im Zusammenhang mit der CPB zu minimieren.	I	C		
19	Es wird empfohlen, die kontinuierliche Versorgung mit Sauerstoff, Luft und Kohlendioxid über Zuleitungen vor der CPB zu überprüfen und während der CPB zu überwachen, wobei eine Reserveflasche zur Verfügung stehen sollte.	I	C	I	C
20	Die Überwachung aller ein- und austretenden Gase sollte in Betracht gezogen werden.	IIa	C	IIb	C
21	Wenn ein Versorgungssystem für volatile Anästhetika verwendet wird, wird eine Narkosegasabsaugung am Ausgang des Oxygenators empfohlen.	I	C	I	C
22	Es wird empfohlen, die CO ₂ -Spülung des CPB-Kreislaufs vor dem Priming als Standardmaßnahme zur Reduzierung von gasförmigen Mikroembolien zu etablieren.	I	B	I	B
23	Eine CO ₂ -Insufflation des Operationsfeldes kann in Betracht gezogen werden, um Embolien zu reduzieren.	IIb	B	IIb	B
24	Bei der CO ₂ -Insufflation des Operationsfeldes wird empfohlen, den Gasfluss anzupassen, um eine hyperkapnische Azidose zu vermeiden.	I	C		
25	Es wird empfohlen, dass Protokolle für den Nachweis von Mycobacterium chimaera-Infektionen, die möglicherweise mit HCU in Verbindung stehen, im Rahmen institutioneller Richtlinien angewendet werden, die den ECDC-Standards entsprechen.	I	B		
26	Polymerase-Kettenreaktionsmethoden können zusammen mit Standardkulturen in Betracht gezogen werden, um die Genauigkeitsschwellen für die Diagnose einer HCU-Kontamination durch NTM zu erhöhen.	IIb	C		
27	Probenentnahme-, Reinigungs- und Desinfektionsverfahren gemäß den Herstellerempfehlungen oder einem anderen validierten Protokoll müssen regelmäßig, mindestens jedoch einmal jährlich, durchgeführt werden.	I	C	I	C
28	Es wird empfohlen, die HCUs nach Möglichkeit außerhalb der Operationssäle zu platzieren, um zu verhindern, dass kontaminierte Luft in das Operationsfeld gelangt.	I	C	I	C
29	Um die Kontamination des Operationsfeldes zu verringern, kann die Verwendung von Abdeckungen in Betracht gezogen werden, die so konzipiert sind, dass die Abluft der HCU direkt aus dem Operationssaal und so weit wie möglich vom Patienten weggeleitet wird, wobei ein Mindestabstand von 2 Metern zum Operationstisch einzuhalten ist oder die Verwendung eines Vakuums zur Beseitigung der Abluft zu verwenden ist.	IIb	C		

Empfehlungen		2024		2019	
		Class	L.O.E.	Class	L.O.E.
HERZ-LUNGEN-MASCHINE: Systeme zur Verwaltung von Patientendaten und Qualitätsverbesserung					
30	Die elektronische, automatische Datenaufzeichnung von Perfusionsparametern wird in einem Perfusionsprogramm zur weiteren Auswertung und Risikostratifizierung empfohlen.	I	B	<i>Ila</i>	B
31	Es wird empfohlen, dass der/die Perfusionist:in Daten über die Durchführung von Perfusionen über ein klinisches Register oder eine Datenbank sammelt und diese Daten nutzt, um sich aktiv an institutionellen und abteilungsinternen Qualitätssicherungs- und Verbesserungsprogrammen zu beteiligen.	I	B	I	B
32	Die Unterstützung durch künstliche Intelligenz bei der Datenerfassung und -analyse kann im Zusammenhang mit dem CPB-Verfahren in Betracht gezogen werden.	<i>IIb</i>	C		

Kardiopulmonaler Bypass – Einwegartikel

Dieses Kapitel der Leitlinie behandelt die Einwegmaterialien (Disposables) der Herz-Lungen-Maschine und deren Bedeutung für die Patientensicherheit und -versorgung. Es wird empfohlen, einen eigenen Bereich zur Lagerung von Disposables (Kanülen, Filter, Oxygenatoren, Schläuche usw.) einzurichten. Die Lagerung soll sauber, trocken, dunkel, temperatur- und feuchtigkeitskontrolliert erfolgen.

Die verschiedenen Kanülentypen (arteriell und venös) werden nach Indikation, Patientenanatomie und geplantem Eingriff in einer Teamentscheidung zwischen Herzchirurgen:innen und Perfusionist:innen ausgewählt (I C). Dabei werden Kanülen mit Druckverteilungsspitzen bevorzugt, um den Fluss zu optimieren und Komplikationen zu reduzieren. Bei schwierigen anatomischen Verhältnissen sind alternative Kanülierungsstellen zu erwägen. Eine Aufwertung der Empfehlung (IIb B zu IIa B) fand für die epiaortale Ultraschalluntersuchung statt. Ziel ist es, die aufsteigende Aorta auf atherosklerotische Plaques zu untersuchen und so das Risiko von cerebralen Embolien zu verringern.

Für die Anwendung von Vent- und anderen Saugvorrichtungen zur Absaugung von Blut aus dem Operationsfeld (z. B. Herzventrikeln, Pleura, Perikard) wird ein nur mäßiger Gebrauch empfohlen (IIa B), da zu viel Luftkontakt Zellschäden oder Hämolyse fördern kann.

Offene venöse Reservoirs gelten als Standard und als sicher in der Handhabung, geschlossene Systeme hingegen können biokompatibler sein und so Entzündungsreaktionen minimieren, werden aber nur mit einem Grad IIb B empfohlen. Für beide Varianten gibt es keine klare Überlegenheit, die Auswahl ist individuell zu treffen. Wie 2019 gibt es auch 2024 eine IIa B-Empfehlung für die Verwendung von separaten Kardiotomiereservoirs. (Anmerkung des Autors: Kardiotomiereservoirs sind ohnehin fester Bestandteil moderner venöser Reservoirs und teils auch mit einer Funktion zur Separierung versehen).

Ein Standardprodukt in modernen CPB-Sets ist der Membranoxygenator, seine Auswahl richtet sich nach Flussanforderungen, Oberfläche und ggf. zusätzlicher Filterintegration. Biokompatible Oberflächenbeschichtungen können Transfusionsraten, Entzündungsreaktionen und Komplikationen wie die transiente Druckexkursion oder komplette Thrombosierung

senken. Es ist zu beachten, dass Polymethylpenthen-Oxygenatoren beim Einsatz von volatiler Narkose am CPB ungeeignet sind, da sie keinen Narkosegastransfer über die Membran zulassen (III – nicht anwenden!).

Als arterielle Pumpe werden hauptsächlich Roller- und Zentrifugalpumpen eingesetzt. Zentrifugalpumpen werden für potenziell längere Perfusionen wegen geringerer Hämolyse als vorteilhaft eingeschätzt und für diesen Fall mit IIa C empfohlen. Die Auswahl richtet sich somit nach OP-Setting, Dauer und Patientenfaktoren.

Arterienlinienfilter werden eingesetzt, um Luft-, Fett- und Partikel-Embolien aus dem Blut zu filtern. Sie sind entweder eigenständig oder im Oxygenator integriert. Obwohl sie häufig in der Routine eingesetzt werden, besitzen sie sowohl in der GL aus 2019 als auch in der aktuellen GL nur eine IIb C-Empfehlung. Die routinemäßige Verwendung von Leukozytendepletionsfiltern bringt keinen klaren Zusatznutzen und wird nicht empfohlen (III).

Biokompatible Materialien und Oberflächenbeschichtungen (z. B. Heparin, Phosphorylcholin) verringern Thrombozytenaktivierung, Entzündungs- und Gerinnungsreaktionen, reduzieren Transfusions- und Blutungsraten und werden mit IIa B empfohlen, dasselbe gilt für ihren Einsatz, um die Lunge vor Entzündungsreaktionen zu schützen.

In der GL aus 2024 gibt es zwei neue Empfehlungen für die Schläuche des CPB-Systems. Diese bestehen in der Regel aus PVC, allerdings werden Silikonschläuche für die Pumpen empfohlen, da sie geringerer elektrostatischer Aufladung unterliegen (IIa C). Und nach Möglichkeit sollen DEHP-freie Schläuche eingesetzt werden, da diese im Gegensatz zu flexiblen Weichmachern wie TOTM eine geringere Toxizität aufweisen (IIa C). Die Auswahl aller Disposables muss individuell nach Patientenmerkmalen, Operationstyp und aktueller Evidenz erfolgen. Biokompatible und moderne Materialien verringern Komplikationen. Regelmäßige Wartung, nachvollziehbare Dokumentation und ein strukturierter Workflow sind zentrale Qualitätsfaktoren.

Einwegmaterialien sind ein kritischer Sicherheits- und Qualitätsaspekt bei der extrakorporalen Zirkulation. Die Guideline empfiehlt die konsequente Auswahl moderner, biokompatibler Materialien und gibt detaillierte Hinweise zur sicheren Anwendung und Lagerung dieser Komponenten.

Empfehlungen		2024		2019	
		Class	L.O.E.	Class	L.O.E.
KARDIOPULMONALER BYPASS: DISPOSABLES – Kanülen					
33	Es wird empfohlen, dass sich die Perfusionist:innen und Chirurg:innen präoperativ auf die Größe und den Typ der venösen und arteriellen Kanülen einigen, um einen angemessenen und sicheren venösen Rückfluss und einen geeigneten arteriellen Fluss zu gewährleisten, der auf die Bedürfnisse des Patienten und des Verfahrens zugeschnitten ist.	I	C	I	C
34	Eine epi-aortale Ultraschalluntersuchung sollte in Betracht gezogen werden, um die aufsteigende Aorta auf atherosklerotische Plaques zu untersuchen und so das Risiko von cerebralen Embolien zu verringern.	IIa	B	IIb	B
KARDIOPULMONALER BYPASS: DISPOSABLES – Entlüftungs- und Absaugvorrichtungen					
35	Zur Minimierung von Traumata an Blutzellen sollte der Einsatz der Kardiotomiesaugung reduziert und das Ansaugen von Luft in das Kardiotomiereservoir sowie über die Ventleitungen vermieden werden.	IIa	B	IIa	B
KARDIOPULMONALER BYPASS: DISPOSABLES – Reservoirs					
36	Die Verwendung eines separaten Kardiotomiereservoirs sollte in Betracht gezogen werden, um die schädliche Wirkung von SMB (Shed Mediastinal Blood) zu verringern.	IIa	B	IIa	B
37	Ein geschlossenes venöses Reservoir kann in Betracht gezogen werden, um die Entzündungsreaktion zu dämpfen und die Biokompatibilität zu verbessern, wenn es zusammen mit anderen Elementen verwendet wird.	IIb	B	IIb	B
KARDIOPULMONALER BYPASS: DISPOSABLES – Oxygenatoren					
38	Oxygenatoren mit mikroporösen Membranen werden als Standard für das CPB-Verfahren empfohlen.	I	B	I	B
39	Polymethylpenten-Membranoxygenatoren werden nicht empfohlen, wenn während des CPB-Verfahrens volatile Anästhetika verwendet werden.	III	B	III	B
KARDIOPULMONALER BYPASS: DISPOSABLES – Pumpen					
40	Bei zu erwartenden längeren CPB-Zeiten sollte die Verwendung einer Zentrifugalpumpe in Betracht gezogen werden.	IIa	C	IIa	C
KARDIOPULMONALER BYPASS: DISPOSABLES – Arterieller Linienfilter					
41	Arterielle Linienfilter (ALFs) können in Betracht gezogen werden, um die Zahl der Mikroembolien zu verringern.	IIb	C	IIb	C
42	Die routinemäßige Verwendung von Leukozytendepletionsfiltern in Kombination mit Membranoxygenatoren wird nicht empfohlen.	III	B	III	B
KARDIOPULMONALER BYPASS: DISPOSABLES – Material und Oberflächenbehandlung					
43	Die Verwendung von biokompatiblen Oberflächenbeschichtungen der Systemkomponenten zur Verringerung von Komplikationen sollte in Betracht gezogen werden.	IIa	B	IIa	B
44	Um die Lunge vor Entzündungsreaktionen zu schützen und den oxidativen Stress zu begrenzen, sollten biokompatible Beschichtungen in Betracht gezogen werden.	IIa	B	IIa	B
KARDIOPULMONALER BYPASS: DISPOSABLES – Schläuche					
45	Zur Vermeidung triboelektrischer Aufladungen sollte die Verwendung von Silikonschläuchen in pumpenberührenden Flächen oder einer Zentrifugalpumpe in Betracht gezogen werden.	IIa	C		
46	TOTM sollte gegenüber DEHP als Weichmacher für CPB-Schlauchsysteme in Betracht gezogen werden.	IIa	C		

Retrospektive Evaluation eines interdisziplinären Ansatzes zur Reduktion von allogenen Blutprodukten in der Kinderherzchirurgie

Retrospective Evaluation of an Interdisciplinary, Comprehensive Approach to Reduce Allogenic Blood Use in Paediatric Cardiac Surgery

Andreas Teske, MHBA, ECCP

Funktionsbereich Perfusionologie und Technische Medizin
Krankenhausstrasse 12 · 91054 Erlangen
E-Mail: andreas.teske@extern.uk-erlangen.de

A. Teske^{1,2}, F. Münch¹

Andreas Teske: 0000-0001-8702-3800, Frank Münch: 0000-0002-2790-0418

¹ Herzchirurgie, Universitätsklinikum Erlangen – Funktionsbereich Perfusionologie und Technische Medizin, Krankenhausstrasse 12, 91054 Erlangen

² WKK Perfusionsservice, Wernher-von-Braun Str. 5, 55128 Mainz-Hechtsheim

Zusammenfassung

Einleitung: Kleinkinder und insbesondere Neonaten reagieren sensibel auf die extrakorporale Zirkulation (EKZ), was u. a. zu einem erhöhten Blutungsrisiko führt. Verstärkt wird dies durch das proportional größere Missverhältnis zwischen benötigtem Primingvolumen und dem körpereigenen Blutvolumen. Damit gehen hohe Transfusionsvolumina und unproportional hohe Kosten für Gerinnungsprodukte einher. Die Auswirkungen der Umstellung von einem Vollblut- zu einem Vollelektrolytpriming, verbunden mit der Einführung einer Hyperfibrinolyseprophylaxe (HFP) durch Tranexamsäure (TXA), wurden evaluiert.

Methode: Nach Einführung der HFP, die ab der Narkoseeinführung bis zum OP-Ende kontinuierlich und bolusfrei mit 4 mg/h/kg KG TXA erfolgte, wurde eine Auswertung vorgenommen. In die retrospektive Studie wurden alle mit EKZ behandelten Patient:innen bis zu einem Körpergewicht von 10 kg eingeschlossen. Die Interventionsgruppe (TXA) umfasste 136 Patient:innen, die im Jahr nach Einführung der HFP operiert wurden. Verglichen wurden die Ergebnisse mit einer Kontrollgruppe (CON) von 123 Patient:innen, die ein Jahr vor Einführung der HFP-Therapie operiert wurden. Analysiert wurden die demographischen Daten, EKZ-Werte sowie der perioperative Fremdblut- und Gerinnungsfaktorenverbrauch. In der Analyse wurden als Outcome-Parameter intra- und perioperative Daten, Volumen-, Blutungs- und Transfusionsmengen, die verwendeten Gerinnungsprodukte und postoperativen Beatmungs- und Aufenthaltsdauern evaluiert.

Ergebnisse: Bei vergleichbaren präoperativen Daten und Laborwerten zeigten sich in der Interventionsgruppe Vorteile, welche vor allem mit einer verbesserten Gerinnung in Zusammenhang gebracht werden können. Beginnend mit signifikant kürzeren OP- (315 ± 136 min vs. 351 ± 124 min) und EKZ-Reperfusionzeiten (38 ± 28 min vs. 47 ± 37 min) konnte in der In-

terventionsgruppe zudem der Verbrauch an Fremdblut- und Gerinnungsprodukten (EK, GFP, TK, PPSB, rFVIIa) signifikant gesenkt werden. Je nach Produkt lag der Rückgang zwischen 28 % bis 90 %. Die Kosten für Fremdblut- und Gerinnungsprodukte gingen proportional zu diesen Ergebnissen zurück.

Fazit: Die routinemäßige Anwendung einer niedrig dosierten, bolusfreien TXA-Infusion resultierte in ähnlichen Kurzzeitergebnissen. Dabei konnten die benötigten Mengen und die damit verbundenen Kosten für Blut- und Gerinnungsprodukte effektiv halbiert werden.

Schlüsselwörter

Bluttransfusion, EKZ, angeborene Herzfehler, Tranexamsäure, Priming

Abstract

Introduction: Small infants, especially neonates, react sensitively to extracorporeal circulation (ECC), which entails an increased risk of bleeding. Further reinforced by the larger disparity between extracorporeal priming volume and the patient's native blood volume. This is associated with high transfusion volumes and disproportionately high costs for coagulation products. We instituted a comprehensive change in practice, including the switch from reconstituted whole blood priming to balanced electrolyte priming, combined with the introduction of a hyperfibrinolysis prophylactic (HFP) regimen using tranexamic acid (TXA). This was evaluated in a retrospective study.

Methods: The evaluation was performed after introduction of the HFP, which consisted of a bolus-free infusion of 4 mg/h/kg BW of TXA, starting after anesthesia induction and continuing until the end of the operation. The retrospective study included all patients with a bodyweight (BW) of 10 kg or less who underwent treatment with ECC. The intervention group (TXA) contained 136 patients, who were operated on in the year after the introduction of the HFP regimen. These were compared to a control group (CON) of 123 patients who were operated on up to one year before the change in practice. Intraoperative and perioperative patient data, the use of blood transfusions and the administration of coagulative products, as well as postoperative mechanical ventilation and stay lengths were analyzed.

Results: While preoperative demographic and laboratory data were similar, advantageous results were evident in the TXA group, which can be assumed to correlate with an improved coagulative state. Starting with significantly shorter operative (315 ± 136 min vs. 351 ± 124 min) and ECC reperfusion times (38 ± 28 min vs. 47 ± 37 min), it was furthermore possible to significantly reduce the use of allogenic blood products as well as coagulation products (PRBC, FFP, PC, PPSB and rFVIIa) by between 28% and 90%, depending on the product. Costs for blood and coagulative products were reduced in proportion to these results.

Conclusion: The routine application of a low-dose, bolus-free TXA infusion led to similar short-term results. In the process, the required amounts of and associated costs for blood and coagulative products were effectively halved.

Keywords

Blood transfusion, extracorporeal circulation, congenital heart defects, tranexamic acid, priming

Einleitung

Die frühzeitige Korrektur angeborener Herzfehler ermöglicht eine insgesamt geringere körperliche Belastung und zeigt bessere Entwicklungsergebnisse, was im Verlauf die knappen Ressourcen des Gesundheitssystems schont [1]. Neugeborene und Säuglinge, die sich einer Herzoperation mit extrakorporaler Zirkulation (EKZ) unterziehen, stellen aufgrund ihres geringen Körpergewichts, ihrer geringen Körpergröße und des entsprechend geringen Blutvolumens eine Reihe von Herausforderungen dar. Bei Neugeborenen und Säuglingen erreicht das EKZ-Priming einen erheblichen Anteil des Blutvolumens des Patienten [2]. Dies führt häufig zu einer signifikanten Hämodilution und der anschließenden Transfusion von Fremdblut in der perioperativen Phase [3,4]. Der allgemeine Kostendruck im Gesundheitswesen aufgrund steigender Personal- und Materialkosten fordert eine fortwährende Optimierung der klinisch eingesetzten Verfahren, um Qualitätseinbußen in der Behandlung zu verhindern [5]. Hinzu kommt der intrinsische Anspruch, den behandelten Kindern eine möglichst optimale und nebenwirkungsfreie Therapie zu bieten sowie verantwortungsvoll mit den genutzten Ressourcen umzugehen.

Neben den allgemeinen negativen pathophysiologischen Auswirkungen der extrakorporalen Zirkulation führen die Komplexität der jeweiligen Pathologien mit daraus resultierenden langen und komplexen chirurgischen Eingriffen zu einer längeren Exposition gegenüber den künstlichen extrakorporalen Oberflächen und einem erhöhten Verbrauch von Gerinnungsfaktoren sowie einer erhöhten Inzidenz der Hyperfibrinolyse [6,7]. Die zunehmende Verbreitung und Nutzung von Konzepten zum Patientenblutmanagement, gepaart mit modernen, kleineren EKZ-Kreisläufen und -Komponenten, kann zu einer Reduzierung von transfundiertem Blut und Gerinnungsprodukten beitragen [3,8–11]. Um einer Hyperfibrinolyse entgegenzuwirken, wird in der Herzchirurgie üblicherweise Tranexamsäure (TXA) als Antifibrinolytikum eingesetzt [5]. Leider ist die ideale und niedrigste Dosis zur ausreichenden Hemmung der Hyperfibrinolyse, insbesondere bei Neugeborenen und Säuglingen, noch nicht bekannt [12,13]. Sehr hohe Plasmakonzentrationen an TXA sind zudem mit neurologischen Komplikationen verbunden [14].

Wir berichten über unsere Erfahrungen mit der Wirkung eines interdisziplinären, blutsparenden Ansatzes mit patientenadaptiertem EKZ-Priming und sehr niedrig dosierten TXA-Gaben bei Kindern bis 10 kg mit angeborenen Herzfehlern, die eine Operation mit EKZ durchliefen.

Methode

Ziel der retrospektiven Studie war es, Unterschiede bei transfundierten Blutkonserven und verwendeten Gerinnungsprodukten in der perioperativen Phase sowie die daraus resultierenden Auswirkungen auf das postoperative Ergebnis zu bewerten. Dies beinhaltete auch eine Analyse der Kostenun-

terschiede für allogene Blutprodukte und die postoperative Versorgung.

Aufgrund des anonymisierten und retrospektiven Charakters wurde bei Genehmigung der Studie (Referenz: 21-421-ANF) seitens der klinischen Ethikkommission auf die Notwendigkeit einer patientenindividuellen Einverständniserklärung verzichtet.

Studiendesign

In die Studie wurden 259 Neugeborene und Säuglinge mit einem Körpergewicht (KG) bis 10 kg eingeschlossen, die sich einer Operation am offenen Herzen mit EKZ unterzogen. In die Kontrollgruppe (CON-Gruppe; n = 123) wurden alle Kinder eingeschlossen, die zwölf Monate vor Einführung des blutsparenden Ansatzes operiert wurden. Die Interventionsgruppe (TXA-Gruppe; n = 136) umfasste alle Fälle bis ein Jahr nach Einführung der Zugabe von Tranexamsäure.

Konfiguration und Durchführung der extrakorporalen Zirkulation

Für die EKZ verwendeten wir eine speziell für Neugeborene und Kleinkinder konfigurierte Sorin S5 Herz-Lungen-Maschine (HLM) (LivaNova, München, Deutschland). Die arterielle Pumpe, Kardioplegie, Ultrafiltration und drei Saugpumpen sind eng um das Kardiotomiereservoir gruppiert. So konnte, in Verbindung mit möglichst kurzen Schlauchlängen, ein sehr geringes statisches und dynamisches Primingvolumen erreicht werden. Bei allen Set-Konfigurationen wurde eine Pre-Bypassfiltration durchgeführt.

Es wurden hauptsächlich zwei EKZ-Sets verwendet. Für Neugeborene mit einem Körpergewicht von bis zu 5 kg und einem geschätzten Blutfluss von weniger als 800 ml/min: Oxygenator D100 (LivaNova, Mirandola, Italien) mit einem separaten arteriellen Filter D130 (LivaNova, Mirandola, Italien) und einem 1/4-Zoll-Pumpenschlauch. Der Durchmesser der arteriellen Linie beträgt hierbei 1/8 Zoll, auf venöser Seite kommt ein 3/16 Zoll-Schlauch zum Einsatz. In pädiatrischen Fällen bis 10 kg KG wurde der Oxygenator Capiiox FX05 (Terumo, Tokio, Japan) mit Blutflüssen bis zu 1.500 ml/min verwendet. Der arterielle Filter ist hier in den Oxygenator integriert. Der arterielle Pumpenschlauch hat einen Durchmesser von 5/16 Zoll. Die Durchmesser der arteriellen und venösen Linie betragen bei diesem Set 3/16 und 1/4 Zoll.

Die EKZ-Schlauchsets der Kontrollgruppe bestanden aus etwas größeren Sets mit einem 1/4-Zoll-Pumpenschlauch in einer S85-Arterienpumpe am Mast für beide Oxygenatoren bei Kindern bis zu 7 kg und einem 1/4-Zoll-Pumpenschlauch in einer S150-arteriellen Pumpe am Mast für Kinder mit einem Gewicht von bis zu 10 kg sowie längeren Schläuchen für die Saugleitungen. Die arteriellen und venösen Linien wiesen Durchmesser von respektive 3/16 und 1/4 Zoll auf.

Die EKZ wurde bevorzugt in milder Hypothermie (28–34 °C) [15] und einer modifizierten α -stat-Strategie durchgeführt, bei welcher der CO₂-Partialdruck mit Zielwerten zwischen 45 bis 50 mmHg leicht erhöht gehalten wurde. Der Grad der Hypothermie wurde von den Operateuren bestimmt und variierte je nach Komplexität des aktuellen Eingriffs sowie den indi-

viduellen Vorgaben der Operierenden. Der EKZ-Fluss wurde anhand der DuBois-BSA-Formel und einem Cardiac Index (CI) von 3,0 l/m²/min für Neugeborene und 2,8 l/m²/min für pädiatrische Fälle berechnet. Eine kontinuierliche Überwachung der Blutgasanalyse erfolgte mit dem Terumo CDI-500 (Terumo, Tokio, Japan).

Priming

Das Priming der Studiengruppe wurde auf eine primär kristalloide Lösung umgestellt. Die EKZ-Sets wurden mit einer balancierten, kristallinen Lösung, die mit Heparin versetzt ist, entlüftet, um eine Konzentration von 10 I.E. Heparin/ml Priming zu erreichen. Anschließend berechneten wir die notwendige Menge an Erythrozytenkonzentrat (EK), die dem Priming gemäß der Hämodilutionsformel (siehe Formel 1) [6] hinzugefügt werden musste, mit dem Ziel, den Hämoglobinspiegel nach Beginn der EKZ bei oder über einem Spiegel von 8,5 g/dl zu halten. Zusätzlich nutzten wir 250 mg Vitamin C als Antioxidans.

Formel 1:

$$\text{ben. EK [ml]} = \frac{\text{Ziel Hkt [\%]} * (\text{PBV [ml]} + \text{PV [ml]}) - \text{Patient Hkt [\%]} * \text{PBV [ml]}}{\text{Hkt EK [\%]}}$$

Abkürzungen:

ben. EK – die zur Substitution im Priming benötigte EK-Menge [ml]; Ziel Hkt – angestrebter Hkt an EKZ [%]; PBV – geschätztes Patientenblutvolumen vor EKZ (abgeschätzt als: 80 ml/kg KG) [ml]; Patient Hkt – der Hkt-Wert vor Initiierung der EKZ [%]; Hkt EK – Hämatokritwert des Erythrozytenkonzentrats [%]

Vor Einführung des kristallinen Primingschemas verwendeten wir bei allen Kindern mit einem Körpergewicht unter 10 kg ein rekonstituiertes Blutpriming. Dies beinhaltete eine von dem verwendeten EKZ-Set abhängige Verabreichung festgelegter Mengen an EK, gefrorenem Frischplasma (GFP) und zusätzlicher Dosen von 20 %-igem Mannitol (3 ml/kg KG), Vitamin C und Vitamin K, die je nach Größe des EKZ-Systems variierten. Abweichungen traten bei Patient:innen auf, bei denen ein blutfreies Priming für möglich gehalten wurde oder von Seiten der Operateure eine Änderung des angestrebten Hämatokritwerts angeordnet wurde.

TXA-Infusion

Die intravenöse Gabe von TXA beginnt ohne Initialdosis am Ende der Narkoseeinleitung mit einer Flussrate von 4 mg/kg/h. Dem EKZ-Priming wird kein TXA hinzugefügt. Die Infusion von TXA wird mit Abschluss der Hautnaht beendet, unmittelbar bevor die Patient:innen auf die pädiatrische Intensivstation (PICU) verlegt werden.

Studienparameter

Zu den untersuchten Parametern gehörten Informationen zu den allgemeinen demographischen Daten, zu dem Anteil von Operationen an Neonaten und von Wiederholungseingriffen sowie die RACHS-Scores.

An intra- und perioperativen Daten erfassten wir: Zusammensetzung des Primings, Menge der verabreichten und drainierten Flüssigkeiten, OP- und EKZ-Zeiten. Zur Analyse des Blutverbrauchs wurden die transfundierten Mengen an EK, GFP und

Thrombozytenkonzentrat (TK) sowie die applizierten Mengen der von unserer Transfusionsabteilung bereitgestellten Gerinnungsprodukte Prothrombinkomplekonzentrat (PPSB), Fibrinogen (Fib) und rekombinanter Faktor VIIa (rFVIIa) erfasst. Als Outcome-Parameter wurden die Dauer der Beatmung, Intensivaufenthalt, die Inzidenz der ECMO sowie die perioperative Mortalität berücksichtigt.

Wirtschaftliche Evaluation des Behandlungsschemas

Die Kosten für die verwendeten Gerinnungsfaktoren (PPSB, Fib, rFVIIa) wurden anhand der mit der Blutbank verrechneten Preise berechnet. Transfusionskosten konnten auf diese Weise nicht summiert werden, da PRBC, GFP und TK bei Bestellung berechnet werden, auch wenn sie nicht transfundiert werden. Für eine genauere Kostenberechnung wurden daher die bestellten Mengen ins Verhältnis zu den verwendeten Mengen gesetzt. Dies ermöglichte die Festlegung eines realistischen und verallgemeinerbaren Kostenfaktors je verwendeter Einheit unter Berücksichtigung der Bereitstellungskosten.

Statistik

Für die statistische Analyse wurde SPSS Statistics (IBM, Armonk, NNY, USA) verwendet. Der Vergleich intra- und postoperativer Unterschiede wurde mittels einseitigem t-Test berechnet, da ein Vorteil

für die CON-Gruppe erwartet wurde [10,12,13]. Für die prä-operativen Daten wurde ein zweiseitiger t-Test angewandt. Binäre Variablen wurden mit dem Chi²-Vier-Quadrat-Test auf Signifikanz geprüft. Alle Parameter mit einem p-Wert von 0,05 oder niedriger wurden als statistisch signifikant betrachtet. In allen Tabellen werden die Werte als statistischer Mittelwert ± Standardabweichung dargestellt. Patient:innen, die sich für gestufte Reoperationen vorstellten, wurden als Neu-Fälle betrachtet.

Ergebnisse

In den gewählten Zeiträumen wurden 259 Eingriffe bei 244 Kindern in die Analyse einbezogen. Davon wurden 123 Eingriffe bei 118 Kindern in der CON-Gruppe und 136 Operationen bei 125 Kindern in der TXA-Gruppe durchgeführt. Die präoperativen demographischen Daten der Vergleichsgruppen waren ähnlich (Tab. 1).

Intra- and perioperative Daten

Die Umstellung auf ein kristallines Priming in der TXA-Gruppe resultierte in signifikanten Unterschieden zum Vollblutpriming der CON-Gruppe. Der stärkere Fokus auf das Priming-Volumen und die angestrebten Hämoglobinwerte ermöglichte bei 27 % der TXA-Gruppe ein blutfreies Priming, verglichen mit nur 10 % in der CON-Gruppe (p < 0,001). Die Priming-Zusammensetzung ist in Tabelle 2 dargestellt.

Neben den erwarteten Unterschieden in den Priming-Volumina zeigten sich auch bei den Infusionsmengen während der EKZ einige Unterschiede. Patient:innen der TXA-Gruppe benö-

tigten signifikant geringere EK-Volumina (CON 24 ± 28 ml/kg vs. TXA 15 ± 15 ml/kg, $p = 0,001$). Eine vollständige, transfusionsfreie Operation wurde in 2 % der CON-Gruppe und 6 % der TXA-Gruppe ($p = 0,076$) erreicht.

Obwohl in der Kontrollgruppe im Laufe der OP weniger kristalloides Volumen infundiert, aber größere EK-Mengen transfundiert wurden, zeigten sich fast doppelt so viele Fälle in der CON-Gruppe, in denen die konventionelle Ultrafiltration (KUF) angewandt wurde. Zudem wurden in der CON-Gruppe größere KUF-Volumina abfiltriert. Die modifizierte Ultrafiltration (MUF) erfolgte routinemäßig und war in der Anwendungsrate und den erreichten Ultrafiltratvolumina ähnlich. Die Urinausscheidung zwischen den Gruppen zeigte keine Unterschiede. Das Volumen der Abfallabsaugung war in der TXA-Gruppe signifikant kleiner (Tab. 3).

Die summierte Flüssigkeitsbilanz war in der TXA-Gruppe signifikant erhöht (CON 27 ± 65 ml/kg vs. TXA 48 ± 62 ml/kg, $p = 0,008$). Die Applikation kristalloider Volumina durch die Anästhesie im OP-Verlauf war zwischen den Gruppen nahezu identisch (CON 67 ± 84 vs. TXA 68 ± 88 ml/kg, $p = 0,471$).

Die intraoperativen Zeiten zeigten eine kürzere Gesamtaufenthaltsdauer in der TXA-Gruppe (CON 351 ± 124 min vs. TXA 315 ± 136 min, $p = 0,01$) wie auch eine Tendenz zu kürzeren EKZ-Zeiten (CON 158 ± 78 min vs. TXA 141 ± 72 min, $p = 0,076$). Beides war mehrheitlich auf eine 20 %-ige Verkürzung der Reperfusionzeiten zurückzuführen (CON 47 ± 37 min vs. TXA 38 ± 28 min, $p = 0,026$). Die tiefste gemessene Körpertemperatur in der TXA-Gruppe war signifikant höher (CON $28,1 \pm 3,8$ °C vs. TXA $29,4 \pm 4,2$ °C; $p = 0,004$).

Transfusionsbedarf

Die Hämoglobinkonzentrationen waren vor dem chirurgischen Eingriff, während der EKZ und bei Ankunft auf der PICU ohne signifikante Unterschiede. Diese traten direkt nach der EKZ (CON $10,0 \pm 1,5$ g/dl vs. TXA $9,6 \pm 1,6$ g/dl, $p = 0,02$) und am ersten post-OP-Tag auf (CON $13,3 \pm 2,6$ g/dl vs. TXA $12,5 \pm 2,4$ g/dl, $p = 0,02$). TXA-Patient:innen zeigten bei Ankunft auf der PICU einen signifikant geringeren Laktatspiegel (CON $3,1 \pm 2,2$ mmol/l vs. TXA $2,3 \pm 1,4$ mmol/l, $p < 0,001$).

Die Mengen an intraoperativ transfundierten Blutprodukten und Plasmaderivaten waren in der TXA-Gruppe signifikant reduziert. Der relative Anteil der Fälle in der TXA-Gruppe, in denen Plasmaderivate verabreicht wurden, war ebenfalls geringer, ohne dabei das Signifikanzniveau zu erreichen (Fibrinogen $p = 0,112$; PPSB $p = 0,078$). Die Ausnahme bildet rFVIIa – die Verwendung im Rahmen des TXA-Ansatzes konnte von 23 auf 3 Fälle reduziert werden ($p = 0,001$) (Tab. 4).

Postoperative Daten

Postoperative Transfusionen von EK, GFP und TK traten bei TXA-Patient:innen signifikant weniger auf (CON EK: 58 % vs. TXA 38 %, $p < 0,001$; GFP: CON 41 % vs. TXA 24 %, $p = 0,005$). Urinausscheidung und Drainageverluste waren ähnlich (CON Urin: 73 ± 41 ml/kg vs. TXA 74 ± 37 ml/kg, $p = 0,355$; Drainage: CON 26 ± 33 ml/kg vs. TXA 27 ± 36 ml/kg, $p = 0,408$).

Die analysierten Outcome-Parameter zeigten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Gesamtüberlebens (CON

93 % vs. TXA 96 %; $p = 0,318$), der Dauer der mechanischen Beatmung (CON $7,8 \pm 17,2$ d vs. TXA $6,2 \pm 12,2$ d; $p = 0,318$), der Häufigkeit der ECMO-Unterstützung (CON 9,8 % vs. TXA 6,6 %; $p = 0,355$) oder des Intensiv-Aufenthalts (CON $11,8 \pm 22,7$ d vs. TXA $10,4 \pm 21,3$ d; $p = 0,251$).

Kostenanalyse

Die Kostenanalyse für transfundierte Blutprodukte und verwendete Gerinnungsfaktoren ist in Tabelle 5 dargestellt. Kostendeckende Zusatzentgelte, gemäß dem deutschen DRG-System, für PPSB wurden für 26 g in der CON-Gruppe und 8 g in der TXA-Gruppe mit den Krankenkassen verrechnet. Die angepassten Gesamt- und Einzelkosten sind in der letzten Zeile der Tabelle 5 aufgeführt. Für die postoperative Versorgung auf der PICU wurde die mit dem Klinikdezernat abgestimmte Kostenpauschale je individuellem Liegetag berechnet.

Die gruppenbezogene Aufsummierung der Liegezeit ergab pauschalisierte Kosten von 19.000 EUR je Behandlung in der Kontrollgruppe ggü. 17.315 EUR für Fälle aus der TXA-Gruppe. Dies zeigte eine Ersparnis von 1.686,11 EUR je Fall in der TXA-Gruppe.

Diskussion

Das Volumen des EKZ-Primings macht oft einen erheblichen Teil des Eigenblutvolumens pädiatrischer Patient:innen aus. Die Begrenzung des Priming-Volumens gestaltet sich aufgrund technischer Einschränkungen und unterschiedlicher Operationsstrategien oft schwierig. Die optimale Zusammensetzung des EKZ-Primings für Eingriffe bei Neugeborenen und Kindern wird häufig kontrovers diskutiert, wobei verschiedene Denk-schulen unterschiedliche Schwerpunkte vertreten [11,14,16]. Das in der Vergangenheit oft angestrebte Ziel, das Priming der Blutzusammensetzung der Kinder anzunähern, verliert zunehmend an Bedeutung. Trotz der „unphysiologischeren Komposition“ können durch Verzicht auf GFP und mit optimierten Priming-Strategien vergleichbare oder bessere klinische Ergebnisse erzielt werden [14,17–19]. Unsere Wahl einer kristalloiden Primingstrategie mit Zugabe individuell berechneter EK-Mengen erforderte erhebliche Änderungen im Vorgehen. Änderungen der HLM-Pumpenkonfiguration führten zu einem rechnerisch signifikanten Unterschied für das Priming-Volumen (Tab. 2). Dies mag einen Beitrag zu den veränderten Ergebnissen geleistet haben [20]. Wir schlussfolgerten jedoch, dass die Umstellung auf die kristalloide Priming-Maßnahme den größeren Einfluss auf die beobachteten Ergebnisse hatte. Eine Reduzierung des EK-Anteils im Priming und eine stärkere Fokussierung auf den Hämoglobinspiegel während der EKZ, mit einer Transfusionsschwelle von 8 g/dl, begrenzten Übertransfusionen und die damit verbundenen Nebenwirkungen [7,21]. Der Gesamtverbrauch an EK wurde reduziert, ohne dass es zu einer kritischen Abnahme der perioperativen Sauerstoffzufuhr kam. Die Laktatkonzentration, häufig als Marker für unzureichende Sauerstoffzufuhr verwendet [6], war verglichen mit der Kontrollgruppe in der TXA-Gruppe zu keinem Zeitpunkt erhöht. Wir führen die erhöhte Laktatkonzentration in der CON-Gruppe auf die größeren Mengen an intraoperativ transfundierten EK zurück, welche bekanntermaßen eine hohe Laktatkonzentration aufweisen [22,23]. Gelagerte EK können vor der Zuga-

be in das Priming gewaschen werden, was die postoperative Laktatkonzentration reduzieren kann, aber keinen Einfluss auf die postoperativen Verläufe zu haben scheint [24]. In beiden Gruppen übersteigt der postoperative Hämoglobinspiegel die aktuellen Transfusionstrigger bei stabilen, nicht blutenden Patient:innen [10], sodass das Sauerstoffangebot im Durchschnitt nicht beeinträchtigt wurde [22].

Der Ansatz der bolusfreien Gabe von Tranexamsäure in niedriger Dosis widerspricht rechnerisch den publizierten Daten zur Pharmakokinetik von TXA von Wesley et al. [12]. Allerdings handelt es sich hierbei um simulierte Berechnungen zur Aufrechterhaltung einer Plasmakonzentration über 20, 60 oder 150 µg/ml im Plasma, mit einem weiten Vertrauenskorridor. Die Mindestkonzentration zur vollständigen Hemmung der Fibrinolyse kann offenbar viel niedriger sein, wie von Yee et al. mit Konzentrationen von 6,54 µg/ml in neonatalem Plasma beschrieben [13]. Derzeit liegen keine Daten zu der tatsächlich erforderlichen Plasmakonzentration von TXA vor, um eine ausreichende Hemmung der Hyperfibrinolyse zu erreichen. Zudem steigern hohe Konzentrationen das Risiko neurologischer Komplikationen [25,26]. Wir gehen daher davon aus, dass unsere Ergebnisse die Möglichkeit aufzeigen, eine gute Prophylaxe der Hyperfibrinolyse ohne potenziell nachteilige Spitzen in der TXA-Konzentration zu erzielen. In einer Metaanalyse von Zufferey et al. [27], welche die Expositions-Wirkungs-Beziehung bei erwachsenen Patient:innen nach Herzoperationen untersuchte, wurde eine Gesamtdosis von 20 mg/kg KG ermittelt, über die hinaus nur marginale Verbesserungen der Blutungsergebnisse zu beobachten sind. Ausgehend von den Ergebnissen von Yee et al. [13], die zeigten, dass die zur Hemmung der Fibrinolyse erforderlichen TXA-Konzentrationen bei Neugeborenen etwa 40 % der Konzentrationen bei Erwachsenen betragen, sind wir überzeugt, dass unser Ansatz ohne Aufsättigungsdosis und mit einer mittleren Flussrate von 4 mg/h/kg ausreicht, um einen adäquaten Schutz vor einer Hyperfibrinolyse zu erreichen. Da wir keine Unterschiede bei den postoperativen Blutungsergebnissen feststellen konnten, wurde geschlussfolgert, dass beide Transfusionsstrategien zu angemessenen postoperativen Ergebnissen führten, jedoch die TXA-Strategie eine deutliche Reduktion des transfundierten Blutes sowie reduzierte Volumina bei der intraoperativen Abfallabsaugung aufwies. Daher bevorzugen wir den prophylaktischen TXA-Ansatz.

Das Ziel, Transfusionen von allogenen Blutprodukten zu reduzieren, wurde erreicht. Zudem ging auch die intraoperative Blutungsmenge bei Kindern, die im Rahmen des interdisziplinären Ansatzes operiert wurden, zurück. Der Verzicht auf GFP im EKZ-Priming hatte anscheinend keine nachteiligen Auswirkungen auf die Hämostase. Der Gesamtverbrauch an Gerinnungsprodukten in der TXA-Gruppe wurde im Hinblick auf die absoluten, je Fall verabreichten Mengen sowie den relativen Anteil der Patient:innen welche EK, GFP, TK oder rFVIIa benötigten, signifikant reduziert. Fibrinogen und PPSB als plasma-basierte Gerinnungsfaktoren gelten als Gerinnungspräparate der ersten Wahl, da sie präziser eingesetzt werden können als GFP [28]. Die Mehrheit der Patient:innen mit niedrigem Körpergewicht benötigt diese Substitute für EKZ-bedingte Koagulo-

pathien [28,29]. Der Rückgang des rFVIIa-Verbrauchs um 90 % weist auf einen klaren Vorteil für Patient:innen im Rahmen des prophylaktischen Ansatzes hin, da rFVIIa oft das letzte Mittel zur Behandlung von Koagulopathien nach EKZ darstellt [30]. Die deutliche Verringerung des allogenen Blutverbrauchs in der intraoperativen Phase führte jedoch nicht zu signifikant besseren postoperativen Ergebnissen. Für die frühe postoperative Phase war eine Verkürzung der Beatmungszeit erwartet worden, da weniger Transfusionen mit einem geringeren Grad der Lungenschädigung und einer schnelleren Genesung assoziiert sind [31]. Die Ergebnisse unseres prophylaktischen Ansatzes blieben zwar nicht signifikant, jedoch entspricht die proportionale Verringerung der postoperativen Beatmungsstunden publizierten Bereichen [32]. Als Absolutwerte betrachtet führten nominell kürzere postoperative Beatmungszeiten und eine frühere Entlassung aus der PICU zu geringeren Kosten pro Fall. Die absolute Verringerung der Beatmungszeit und die frühere Entlassung aus der PICU reduzieren, unabhängig von der Kausalität, die Kosten für das Krankenhaus. Ein fiskalisch negativer Effekt war die zahlenmäßige Abnahme der Fälle, die für eine Erstattung der Kosten durch eine längere Beatmung in Frage kamen – der einzige Faktor unseres Konzepts, der sich aus finanzieller Sicht als nachteilig erwies. Trotz eines relativen Anstiegs der täglichen Arbeitskosten auf der Intensivstation führte die Verkürzung der Intensivstationsaufenthalte im Jahr nach Einführung unseres umfassenden Ansatzes zu zusätzlichen Einsparungen von rund 1.700 EUR pro Fall, vorausgesetzt, diese sind tatsächlich auf die Veränderungen in der klinischen Praxis zurückzuführen.

Limitationen

Die Einschränkungen dieser Studie liegen offensichtlich in ihrem retrospektiven Ansatz einer einzelnen Klinik. Dennoch konnten zwei umfangreiche und ähnlich zusammengesetzte Gruppen miteinander verglichen werden. Die gleichzeitige Umstellung des EKZ-Primings auf eine primär kristalloide Zusammensetzung und die Einführung der perioperativen TXA-Infusion erschweren eine einfache Analyse der beitragenden Faktoren. Der Verzicht auf GFP wird nicht als großer Nachteil angesehen, da GFP im Allgemeinen nur ein geringer Nutzen bei der Korrektur von EKZ-assoziierten Koagulopathien bei Kindern zugesprochen wird [28].

Ein weiterer Faktor ist das Fehlen eines protokollgeführten Algorithmus für die Transfusion von Blut und Gerinnungsprodukten. Ein solcher könnte die Anzahl unnötiger Transfusionen reduzieren [33]. Ohne weitere Änderungen der Standardverfahren und Point-of-Care-Diagnostik für den OP oder die Intensivstation im Zusammenhang mit der Verwendung von Blutprodukten und bei nur sehr geringer Personalfuktuation im untersuchten Zeitraum, werden die Ergebnisse beider Gruppen als repräsentativ für Entscheidungen in der alltäglichen klinischen Praxis angesehen.

Ein wesentlicher Störfaktor, der bei der Datenanalyse auffiel, war die höhere angestrebte Körperkerntemperatur bei TXA-Patient:innen. Dies könnte zu der beobachteten Verkürzung der Reperfusionzeit beigetragen haben. Sowohl eine niedrigere Körpertemperatur als auch längere EKZ-Zeiten mit entsprechend längerer Fibrinolyse, sind Faktoren, die mit

einem höheren Auftreten von Koagulopathien assoziiert sind und zu verlängerten Phasen der Blutstillung beitragen. Die durchschnittlichen Wiedererwärmungszeiten korrelieren ebenfalls gut mit den Unterschieden in der Körperkerntemperatur. Der exakte Einfluss auf die beobachteten Zeitunterschiede ist jedoch schwer zu quantifizieren. Ein Einfluss durch die zugrundeliegenden Vitien oder erhöhte Eingriffskomplexität wird nicht angenommen, da zwischen den Gruppen keine deutlichen Unterschiede bestanden.

Schlussfolgerung

Die vorliegende Studie zeigt die Machbarkeit und die positiven Auswirkungen eines umfassenden blutsparenden Ansatzes während der EKZ in der Kinderherzchirurgie. Die bolusfreie, kontinuierliche Infusion von TXA in Kombination mit einer kristalloiden Priming-Strategie hat sich als ergebnisneutral erwiesen. Sie ist mit einem geringeren Verbrauch von Fremdblut verbunden und deutet auf eine günstigere postoperative Genesung bei Neugeborenen und Säuglingen mit angeborenen Herzfehlern nach einer Operation am offenen Herzen unter Einsatz der EKZ hin.

Die Kosten für transfundiertes Blut und plasmabasierte Gerinnungsfaktoren von rund 1.200 EUR pro Fall konnten durch die Einführung einer kristalloiden Priming-Strategie in Kombination mit einem Antifibrinolytikum (ca. 6 EUR pro Patientendosis) effektiv auf ca. 600 EUR halbiert werden.

Interessenkonflikte

Die Autoren geben an, dass keine Interessenkonflikte bestehen. Die Studie wurde ohne externe Finanzierung oder Unterstützung durchgeführt.

Wissenschaftlicher Kurzlebenslauf

Andreas Teske studierte an der Hochschule Furtwangen Medical Engineering (B.Sc.) und ergänzte dies durch einen Master in Gesundheitsökonomie an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (MHBA). Mit einjähriger Unterbrechung ist er seit September 2013 im Universitätsklinikum Erlangen-Nürnberg als Perfusionist tätig. Schwerpunkte der klinischen und wissenschaftlichen Tätigkeit sind pädiatrische Perfusion, mechanische Kreislaufunterstützung und insbesondere die Therapie mit ECMO.

Tabellen

	CON (n = 123)	TXA (n = 136)	p-Wert
Alter [Tage]	144 ± 152	156 ± 170	0,564
Größe [cm]	59 ± 9	60 ± 10	0,372
Gewicht [kg]	5,0 ± 1,8	5,4 ± 2,0	0,189
Neugeborene [%]	26	28	0,728
Re-Operation [%]	7,3	9,5	0,518
RACHS-SCORE	3,1 ± 1,2	2,9 ± 1,1	0,348

Tab. 1: demographische Daten der Patientengruppen

	CON (n = 123)	TXA (n = 136)	p-Wert
Priming [ml/kg]	47 ± 15	42 ± 15	0,004*
Jonosteril® [ml/kg]	18 ± 32	30 ± 11	<0,001*
EK [ml/kg]/ % der Fälle	18 ± 9/ 88	11 ± 10/ 73	<0,001* 0,001*
GFP [ml/kg]/ % der Fälle	5 ± 4/ 82	0/ 0	// <0,001*
Bikarbonat [ml/kg]	1,2 ± 0,4	1 ± 0,5	0,001*
Mannitol® [ml/kg]	2,8 ± 0,7	0	// <0,001*
Vitamin C [mg/kg]	56 ± 22	55 ± 21	0,202
Vitamin K [mg/kg]	2,1 ± 1	0	// <0,001*

Tab. 2: Priming der EKZ-Systeme

Priming Zusammensetzung indexiert pro kg Körpergewicht.
Abkürzungen: EK = Erythrozytenkonzentrat; GFP = gefrorenes Frischplasma;
'//' für Variablen, bei denen der Student-t-Test formal nicht valide ist

	CON (n = 123)	TXA (n = 136)	p-Wert
Input			
Jonosteril® [ml/kg]	58 ± 43	100 ± 69	<0,001*
EK [ml/kg]/ % der Fälle	42 ± 32/ 97	28 ± 20/ 92	<0,001* 0,096
GFP [ml/kg]/ % der Fälle	23 ± 17/ 92	6,3 ± 0,3/ 2	<0,001* <0,001*
Bikarbonat [ml/kg]/ % der Fälle	3,4 ± 3,0/ 100	2,9 ± 2,6/ 99	0,301 0,177
Output			
Urin [ml/kg]	41 ± 37	45 ± 50	0,255
KUF [ml/kg]/ % der Fälle	76 ± 70/ 50	35 ± 33/ 28	0,001 <0,001*
MUF [ml/kg]/ % der Fälle	36 ± 20/ 84	35 ± 17/ 84	0,296 0,985
Abfallsauger [ml/kg]	55 ± 53	36 ± 32	0,004*

Tab. 3: applizierte und drainierte Volumina während der EKZ

Übersicht der verabreichten und abgezogenen Volumina während der EKZ, indexiert auf das Körpergewicht in kg. Die zweite Zeile beschreibt die relative Fallzahl jeder Gruppe, in der diese Produkte und Volumina appliziert wurden. Abkürzungen: EK – Erythrozytenkonzentrat; GFP = gefrorenes Frischplasma; KUF – konventionelle Ultrafiltration und MUF – modifizierte Ultrafiltration

* markierte p-Werte liegen unterhalb der Signifikanzschwelle

	CON (n = 123)	TXA (n = 136)	p-Wert
EK [ml/kg]/ % der Fälle	88 ± 80/ 98	56 ± 46/ 94	<0,001* 0,076
FFP [ml/kg]/ % der Fälle	44 ± 25/ 94	42 ± 17/ 16	0,255 <0,001*
TK [ml/kg]/ % der Fälle	34 ± 27/ 72	38 ± 24/ 29	0,383 <0,001*
Fibrinogen [mg/kg]/ % der Fälle	173 ± 133/ 73	127 ± 80/ 60	0,008* 0,112
PPSB [l.E./kg]/ % der Fälle	108 ± 78/ 717	78 ± 43/ 60	0,001* 0,078
rFVIIa [mg/kg]/ % der Fälle	780 ± 570/ 18	180 ± 133/ 2	<0,098 <0,001*

Tab. 4 (links): kumulierte intraoperative Anwendung von Blutprodukten und Gerinnungsfaktoren

Angewandte Mengen/Volumina der Blutprodukte und Gerinnungsfaktoren in den Fällen, in denen diese im Operationssaal angewandt wurden, indiziert auf das Körpergewicht in kg. Die zweite Zeile beschreibt die relative Fallzahl jeder Gruppe, in der diese Produkte und Volumina appliziert wurden. Abkürzungen: EK – Erythrozytenkonzentrat; GFP = gefrorenes Frischplasma; TK – Thrombozytenkonzentrat; PPSB – Prothrombinkomplexkonzentrat; rFVIIa – rekombinanter Faktor VIIa-Konzentrat

Tab. 5 (unten): Kosten der angewandten Produkte

Übersicht der verabreichten Produkteinheiten und der berechneten Kosten. Sowohl über die Gruppe aufsummiert [Spalte: Σ €], als auch fallindexiert [Spalte: €/Fall]. Abkürzungen: EK – Erythrozytenkonzentrat; GFP = gefrorenes Frischplasma; TK – Thrombozytenkonzentrat; PPSB – Prothrombinkomplexkonzentrat; rFVIIa – rekombinanter Faktor VIIa-Konzentrat

Produkt	€/Einheit	CON (n = 123)			TXA (n = 136)		
		Menge [n]	Σ €	€/Fall	Menge [n]	Σ €	€/Fall
Blutkonserven							
EK	121	187	22.601	184	146	17.646	130
GFP	52	147	7.623	62	23	1.193	9
TK	438	102	44.668	364	42	18.393	135
Plasmaderivate							
Fibrinogen	302/g	134	40.471	329	106	32.014	235
PPSB	122/500l.E.	100	12.053	98	80	9.664	71
rFVIIa	928/mg	26	25.061	204	3	2.742	20
Gesamtkosten							
Σ			152.477	1.240		81.693	631
Σ (DRG adjustiert)			149.306	1.214		80.743	594

Literatur

1. Castañeda A. Angeborene Herzfehler — Eine chirurgischgeschichtliche Betrachtung. Herzchirurgie. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010, 213-220.

2. Tiedge S, Klüß C, Springer D, et al. Kinderperfusion in Deutschland 4.0 "Priming"-AG "Kinder und Säuglingsperfusion" der Deutschen Gesellschaft für Kardiotechnik. Kardiotechnik 2023. doi: <https://doi.org/10.47624/kt.032.UJQY2958>.

3. Wu T, Liu J, Wang Q, et al. Superior blood-saving effect and postoperative recovery of comprehensive blood-saving strategy in infants undergoing open heart surgery under cardiopulmonary bypass. Medicine (Baltimore) 2018; 97: e11248. 2018/07/07. doi: 10.1097/md.00000000000011248.

4. Murin P, Boettcher W, Ozaki S, et al. Asanguineous cardiopulmonary bypass in infants: impact on postoperative mortality and morbidity. Thorac Cardiovasc Surg 2020; 68: 59-67. 20190102. doi: 10.1055/s-0038-1676789.

5. Sebastian R, Ahmed MI. Blood conservation and hemostasis management in pediatric cardiac surgery. Front Cardiovasc Med 2021; 8: 689623. 2021/09/08. doi: 10.3389/fcvm.2021.689623.

6. Tschaut. Extracorporeal-circulation in theory and practice. 5 ed. Lengerich: Pabst Publishing, 2020.

7. Boettcher W, Schulz A, Sinzobahamvya N, et al. Coagulation profile of neonates undergoing arterial switch surgery with crystalloid priming of the cardiopulmonary bypass circuit. J Cardiothorac Vasc Anesth 2022; 36: 1598-1605. 20210808. doi: 10.1053/j.jvca.2021.08.006.

8. Cholette JM, Faraoni D, Goobie SM, et al. Patient blood management in pediatric cardiac surgery: A review. Anesth Analg 2018; 127: 1002-1016. 2017/10/11. doi: 10.1213/ANE.0000000000002504.

9. Boettcher W, Dehmel F, Redlin M, et al. Cardiopulmonary bypass strategy to facilitate transfusion-free congenital heart surgery in neonates and infants. Thorac Cardiovasc Surg 2020; 68: 2-14. 20191103. ddoi: 10.1055/s-0039-1700529.

10. Faraoni D, Meier J, New HV, et al. Patient blood management for neonates and children undergoing cardiac surgery: 2019 NATA Guidelines. J Cardiothorac Vasc Anesth 2019; 33: 3249-63. 20190320. doi: 10.1053/j.jvca.2019.03.036.

11. Tiedge S, Klüß C, Amha M, et al. Kinderperfusion in Deutschland 4.0 "Hardware". Kardiotechnik 2021; 30: 8-25.

12. Wesley MC, Pereira LM, Scharp LA, et al. Pharmacokinetics of tranexamic acid in neonates, infants, and children undergoing cardiac surgery with cardiopulmonary bypass. Anesthesiology 2015; 122: 746-758. 2015/01/15. doi: 10.1097/ALN.0000000000000570.

13. Yee BE, Wissler RN, Zanghi CN, et al. The effective concentration of tranexamic acid for inhibition of fibrinolysis in neonatal plasma in vitro. Anesth Analg 2013; 117: 767-772. 2013/09/12. doi: 10.1213/ANE.0b013e3182a22258.

14. Faraoni D, Rahe C and Cybulski KA. Use of antifibrinolytics in pediatric cardiac surgery: Where are we now? Paediatr Anaesth 2019; 29: 435-440. 2018/10/27. doi: 10.1111/pan.13533.

15. Wahba A, Kunst G, De Somer F, et al. 2024 EACTS/EACTAIC/EBCCP Guidelines on cardiopulmonary bypass in adult cardiac surgery. Eur J Cardiothorac Surg 2025; 67. doi: 10.1093/ejcts/ezae354.

16. Oldeen ME, Angona RE, Hodge A, et al. American Society of ExtraCorporeal Technology: Development of standards and guidelines for pediatric and congenital perfusion practice (2019). J Extra Corpor Technol 2020; 52: 319-326. 2020/12/22. doi: 10.1182/ject-2000045.

17. Böttcher W, Sinzobahamvya N, Miera O, et al. Routine application of bloodless priming in neonatal cardiopulmonary bypass: a 3-year experience. Pediatr Cardiol 2017; 38: 807-812. 2017/02/16. doi: 10.1007/s00246-017-1585-x.

18. Miao X, Liu J, Zhao M, et al. The influence of cardiopulmonary bypass priming without FFP on postoperative coagulation and recovery in pediatric patients with cyanotic congenital heart disease. Eur J Pediatr 2014; 173: 1437-1443. 2014/05/28. doi: 10.1007/s00431-014-2335-1.

19. Münch F, Bakir B, Cesnjevar R, et al. Blutbasiertes versus elektrolytbasiertes Priming: Vorteile für die Säuglinge? Kardiotechnik (3)2020.

20. McRobb CM, Ing RJ, Lawson DS, et al. Retrospective analysis of eliminating modified ultrafiltration after pediatric cardiopulmonary bypass. Perfusion 2017; 32: 97-109. 2016/10/21. doi: 10.1177/0267659116669587.

21. Timpa JG, O'Meara LC, Goldberg KG, et al. Implementation of a Multidisciplinary Bleeding and Transfusion Protocol Significantly Decreases Perioperative Blood Product Utilization and Improves Some Bleeding Outcomes. *J Extra Corpor Technol* 2016; 48: 11-18. 2016/05/03.
22. Bojan M, Gioia E, Di Corte F, et al. Lower limit of adequate oxygen delivery for the maintenance of aerobic metabolism during cardiopulmonary bypass in neonates. *Br J Anaesth* 2020 2020/02/10. doi: 10.1016/j.bja.2019.12.034.
23. Münch F, Purbojo A, Wenzel F, et al. Improved quality of stored packed red blood cells by mechanical rinsing. *Anesthesiology* 2022; 71: 882-892. 20220815. doi: 10.1007/s00101-022-01189-6.
24. Wang H, Jin Y, Gao P, et al. Is it useful to wash stored red blood cells in cardiopulmonary bypass priming fluid for neonatal cardiac surgery? A single-centre retrospective study. *Vox Sang* 2024; 119: 1072-1081. 20240902. doi: 10.1111/vox.13716.
25. Faraoni D and Levy JH. Optimal tranexamic acid dosing regimen in cardiac surgery: What are the missing pieces? *Anesthesiology* 2021; 134: 143-146. 2021/01/13. doi: 10.1097/ALN.0000000000003637.
26. Goobie SM and Faraoni D. Tranexamic acid and perioperative bleeding in children: what do we still need to know? *Curr Opin Anaesthesiol* 2019; 32: 343-352. 2019/03/21. doi: 10.1097/ACO.0000000000000728.
27. Zufferey PJ, Lanoiselee J, Graouch B, et al. Exposure-response relationship of tranexamic acid in cardiac surgery. *Anesthesiology* 2021; 134: 165-178. 2020/12/15. doi: 10.1097/ALN.0000000000003633.
28. Miller BE, Mochizuki T, Levy JH, et al. Predicting and treating coagulopathies after cardiopulmonary bypass in children. *Anesth Analg* 1997; 85: 1196-1202. 1997/12/09. doi: 10.1097/0000539-199712000-00003.
29. Singbartl G and Walther-Wenke G. *Transfusionspraxis*. 2014.
30. Bauer F, Gary T, Gattringer T, et al. *Gerinnung im klinischen Alltag*. 8 ed.: Interdisziplinäre Gerinnungsgruppe Steiermark, 2019.
31. Redlin M, Kukucka M, Boettcher W, et al. Blood transfusion determines postoperative morbidity in pediatric cardiac surgery applying a comprehensive blood-sparing approach. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2013; 146: 537-542. 2012/12/12. doi: 10.1016/j.jtcvs.2012.09.101.
32. De Rita F, Marchi D, Lucchese G, et al. Comparison between D901 Lilliput 1 and Kids D100 neonatal oxygenators: toward bypass circuit miniaturization. *Artif Organs* 2013; 37: E24-28. 2013/01/12. doi: 10.1111/aor.12017.
33. Society of Thoracic Surgeons Blood Conservation Guideline Task F, Ferraris VA, Brown JR, et al. 2011 update to the society of thoracic surgeons and the society of cardiovascular anesthesiologists blood conservation clinical practice guidelines. *Ann Thorac Surg* 2011; 91: 944-982. 2011/03/01. doi: 10.1016/j.athoracsur.2010.11.078.

Erratum zu

Die Perfusiologie 03/2025 – Fachartikel:

Myokardprotektion in der Kinderherzmedizin:

Kristalloide versus Mikroplegie

Myocardial protection in paediatric cardiac medicine: crystalloid versus microplegia

Leider ist hier eine falsche Abbildungsnummer sowie Bildunterschrift reingerutscht!

Richtig muss es für Abbildung 6 heißen:



Link zu:

Die Perfusiologie 03/2025 – Fachartikel:
Myokardprotektion in der Kinderherzmedizin:
Kristalloide versus Mikroplegie
Myocardial protection in paediatric cardiac medicine: crystalloid versus microplegia

<https://perfusiologie.de/publikationen/myokardprotektion-in-der-kinderherzmedizin-kristalloide-versus-mikroplegie-myocardial-protection-in-paediatric-cardiac-medicine-crystalloid-versus-microplegia/>

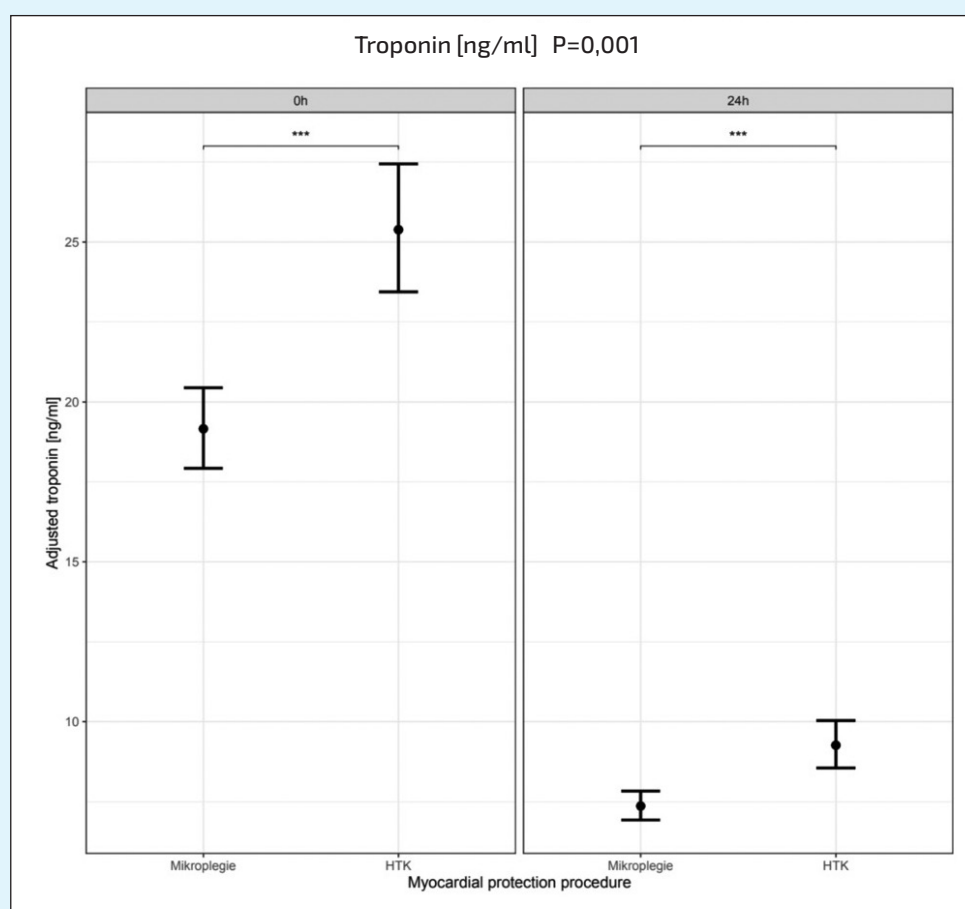


Abb. 6: Ergebnisdarstellung des Kardioplegievergleichs Mikroplegie versus kristalloide Kardioplegie für das Herzenzym Troponin [ng/ml], direkt nach der Operation (T3) und am ersten postoperativen Tag (T4)

Erstellung einer Oxygenator-transferleistung für den Sorin Inspire 8F™ Dual PH.I.S.I.O. Oxygenator

Creation of an Oxygenator Transfer Service for the Sorin Inspire 8F™ Dual PH.I.S.I.O. Oxygenator



Jan Turra, M.Sc., ECCP
 Universitätsklinikum Heidelberg, Chirurgische Klinik, Perfusionologie
 Im Neuenheimer Feld 420
 69120 Heidelberg
 Telefon: 06221/56-34675
 E-Mail: jan.turra@med.uni-heidelberg.de

J. Turra¹, N. Misevski^{1,2}, A. Dietz², M. Demuth¹, H. Adam¹, D.M. Riesterer¹

J. Turra: 0000-0003-1452-625X; D.M. Riesterer: 0000-0001-6273-362X;
 N. Misevski: 0009-0007-1102-5501

¹ Universitätsklinikum Heidelberg, Abtl. Perfusionologie
 Im Neuenheimer Feld 420, D-69120 Heidelberg

² Furtwangen University – Campus Villingen-Schwenningen
 Fakultät Mechanical and Medical Engineering, Jakob-Kienzle-Straße 17
 D-78054 Villingen-Schwenningen

Zusammenfassung

Einleitung: Perfusionstechniken haben sich seit der Etablierung der extrakorporalen Zirkulation (EKZ) in den 50er Jahren ständig weiterentwickelt. Die Perfusionist:innen folgen den Richtlinien der „Goal-directed Perfusion“, um das bestmögliche Outcome für die Patient:innen zu gewährleisten. Für die Perfusionist:innen ist es wichtig, die Sauerstofftransferleistung (VO_2) in Abhängigkeit von der inspiratorischen Sauerstofffraktion (F_{iO_2}) bei einem gewählten Sauerstoffpartialdruck (paO_2) darzustellen. Für den untersuchten Oxygenator Inspire™ 8F liegt zum jetzigen Zeitpunkt keine Literatur zu dieser Thematik vor. Das Ziel dieser Studie ist es, eine Korrelationsfunktion zu erstellen, bei welcher die VO_2 des Oxygenators Inspire 8F in Abhängigkeit zum F_{iO_2} untersucht wird.

Material und Methoden: In dieser retrospektiven, monozentrischen Studie wurden von Mai 2023 bis April 2024 insgesamt 415 arterielle und venöse Blutgasproben aufgenommen. Die Auswertung erfolgte mit dem elektronischen Datensystem COBRA. Um die postulierte Regressionsfunktion auf ihre Richtigkeit zu prüfen, wurde ein Zweistichproben T-Test durchgeführt. Das Signifikanzniveau lag bei $\alpha = 0,05$.

Ergebnisse: Die VO_2 betrug im arithmetischen Mittel $169,2 \pm 40,4$ ml O_2 /min, das F_{iO_2} $0,53 \pm 0,1$ und der korrigierte Sauerstoffpartialdruck 150 mmHg (cF_{iO_2}) war $0,45 \pm 0,11$. Es konnte folgende Regressionsfunktion erstellt werden: $VO_2 = 266,03 \cdot cF_{iO_2} + 48,718$. Die aus dieser Formel resultierenden VO_2 -Werte wurden mit den aus der Fick'schen Formel berechneten VO_2 -Werten verglichen. Die Regressionsfunktion hat sich als richtig bestätigt, da sich kein signifikanter Unterschied feststellen ließ ($p = 0,4996$).

Schlussfolgerung: Mit der in dieser Arbeit postulierten For-

mel ist es möglich, die VO_2 des Inspire 8F-Oxygenators in Abhängigkeit des F_{iO_2} zu bestimmen. Dies stellt einen großen Vorteil für die Perfusionsgemeinschaft dar, um die Leistung des Inspire 8F intraoperativ schnell evaluieren zu können.

Schlüsselwörter

Sauerstofftransferleistung, extrakorporale Zirkulation, Sauerstoffpartialdruck, inspiratorische Sauerstofffraktion

Abstract

Introduction: Perfusion techniques have evolved since the introduction of extracorporeal circulation in the 1950s. Perfusionists follow the guidelines of "goal-directed perfusion" to ensure the best possible patient outcome. It is therefore important for the perfusionist to determine the patient-specific oxygen transport rate (VO_2) as a function of the fraction of inspired oxygen (F_{iO_2}) at a selected oxygen partial pressure (paO_2). There is currently no literature available on this topic for the Inspire™ 8F oxygenator. The aim of this study is to establish the oxygenator's transfer performance, consisting of VO_2 as a function of F_{iO_2} .

Material and methods: In this retrospective, single-center study, a total of 415 arterial and venous blood gas samples were collected between May 2023 and April 2024. The analysis of the data was carried out using the COBRA® electronic data system. A two-sample t-test was performed to test the validity of the postulated regression function. The significance level was $\alpha = 0.05$.

Results: The arithmetic mean VO_2 was 169.2 ± 40.4 ml O_2 /min, the F_{iO_2} was 0.53 ± 0.12 and the corrected oxygen partial pressure 150 mmHg (cF_{iO_2}) was 0.45 ± 0.11 . The following regression function was able to be developed: $VO_2 = 266.03 \cdot cF_{iO_2} + 48.718$. The VO_2 values obtained from this formula were compared with the VO_2 values obtained from the Fick's formula. The regression function was confirmed as correct, as no significant difference was found ($p = 0.4996$).

Conclusion: The formula proposed in this study makes it possible to determine the VO_2 of the Inspire 8F oxygenator as a function of F_{iO_2} . This represents a major advantage for the perfusion community, enabling them to quickly evaluate the performance of the Inspire 8F intraoperatively.

Keywords

Oxygen transfer capacity, extracorporeal circulation, oxygen partial pressure, fraction of inspired oxygen

Einleitung

Um die Sauerstofftransferleistung eines Oxygenators zu ermitteln, werden von den Herstellern Tests unter Laborbedingungen durchgeführt, welche nach AAMI/ISO klassifiziert sind [1]. Hierbei wird die Sauerstofftransferleistung unter Verwendung von Rinderblut mit einer mittleren Hämoglobinkonzentration (Hb) von 12 g/dl, einem mittleren venösen Kohlendioxidpartialdruck (pCO_2) von 45 mmHg, einer venösen Sauerstoffsättigung (SvO_2) von 65 % und mit einem F_{iO_2} von 1,0 sowie einer mittleren Bluttemperatur von 37 °C ermittelt [2,3]. Die Ermittlung der Sauerstofftransferleistung durch den

Oxygenatorhersteller erfolgt unter Verwendung der zuvor genannten Daten und stellt die Mindestanforderung zur Zulassung eines Oxygenators durch die AAMI/ISO dar [1]. Hierbei wird der Sauerstofftransfer dem Perfusionsfluss gegenübergestellt. Die dargestellte Sauerstofftransferfunktion belegt, dass es bei steigendem Perfusionsfluss zu einer Zunahme des Sauerstofftransfers kommt. Allerdings wird die Testung der Oxygenatortransferleistung mit einer inspiratorischen Sauerstofffraktion von 1,0 durchgeführt. Unter realen klinischen Bedingungen hingegen herrschen sich ständig verändernde Zustände, beispielsweise durch den Perfusionsfluss, die Sedierungstiefe, die Einstellungen am Gasblender der HLM sowie durch den Hb des Patienten [2]. Unter Berücksichtigung der nicht konstanten intraoperativen Parameter ist es von entscheidender Bedeutung, die Sauerstofftransferleistung des Oxygenators beurteilen zu können. Neben der Validierung der Sauerstofftransferleistung unter Laborbedingungen durch den Hersteller ist auch im klinischen Alltag die Erstellung einer Funktion zur Evaluierung der Sauerstofftransferleistung in Abhängigkeit vom F_{iO_2} notwendig. Zur Vergleichbarkeit der Sauerstofftransferleistung in Abhängigkeit zu einem bestimmten F_{iO_2} , entwickelten Hamilton et al. eine Methode zur Normierung des F_{iO_2} [4]. Diese Normierung des F_{iO_2} , der so genannte cF_{iO_2} , korrigiert den verwendeten F_{iO_2} mathematisch auf einen cF_{iO_2} , bei welchem der pO_2 post-Oxygenator genau 150 mmHg beträgt und damit einer Sättigung von 100 % entspricht. Somit ist es möglich, aus Datenpaaren von venösen und arteriellen Blutgasparametern während der EKZ die Sauerstofftransferleistung eines Oxygenators in Abhängigkeit des F_{iO_2} zu beschreiben. Im Rahmen der nachfolgenden retrospektiven monozentrischen Datenanalyse wird ein Datenmapping zur Erstellung der Sauerstofftransferleistung des Sorin Inspire 8F Dual PH.I.S.I.O. durchgeführt. In der Konsequenz soll ein mathematischer Ausdruck zur Korrelation zwischen dem F_{iO_2} und dem Sauerstofftransfer des Inspire 8F erstellt werden. Damit wollen die Autoren ein weiteres Werkzeug zur Beurteilung und Evaluation des Inspire 8F während der EKZ zur Verfügung stellen, um potenzielle Leistungsverluste und Komplikationen intraoperativ identifizieren zu können. Die Sauerstofftransferleistung des Oxygenators im klinischen Alltag bei unterschiedlichen F_{iO_2} -Einstellungen ist für diesen Oxygenator bis zum heutigen Tag nicht ausreichend wissenschaftlich validiert [5,6]. Vergleichbare Studien liegen lediglich für den Medtronic Affinity Fusion von Hamilton et al. [4] vor. Im Rahmen dieser Studie wurden insgesamt 415 arterielle und 415 venöse Blutgasproben, welche im Zeitraum von Mai 2023 bis April 2024 erhoben wurden, retrospektiv aufgenommen und ausgewertet.

Material und Methodik

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine monozentrische und retrospektive Studie. Die Pseudonymisierung der Patientendaten wurde durch die Verwendung eines einzigartigen, von der Studienzentrale vergebenen Codes sichergestellt. Dieser Code ermöglicht eine interne Nachverfolgung, ohne dass die Original-Identifikationsmerkmale der Patient:innen preisgegeben werden müssen. Die Patientendaten wurden

im Zeitraum von Mai 2023 bis April 2024 aufgenommen und ausgewertet. Die Erhebung der Daten erfolgte nach dem positiven Ethikvotum der medizinischen Fakultät Heidelberg (S-267/2024 vom 22.05.2024) mit dem elektronischen Datensystem COBRA® (Version v6.86.0). Im oben genannten Zeitraum wurden Blutgasanalysedaten nach durchgeführten Operationen mit HLM unter Verwendung des Inspire 8F-Oxygenators selektiert. Es wurden nur arterielle und venöse Blutgasproben eingeschlossen, welche im zeitlichen Abstand zueinander von maximal einer Minute abgenommen wurden, um als Datenpaare zur Berechnung mit Formel 2 verwendet werden zu können. Die Abnahme der venösen und arteriellen Blutgasproben erfolgten alle 10 bis 15 Minuten. Die Perfusionsverhältnisse mussten zum Einschluss der Daten in diesem Zeitraum konstant sein und die Blutgasanalysedaten nach ph-stat korrigiert worden sein. Dabei durften keine Blutproben eingeschlossen werden, bei welchen es zuvor zur Transfusion von Erythrozytenkonzentraten, Volumenapplikation von Sterofundin ISO 1/1 oder es zu einer Änderung des Perfusionsflusses oder des F_{iO_2} gekommen war.

Den Daten der Blutgasproben wurden folgende Parameter entnommen: Hb in g/dl, arterieller und venöser Sauerstoffpartialdruck in mmHg, arterielle und venöse Sauerstoffsättigung in Prozent. Das mit den Blutgasanalysen zeitlich korrelierende F_{iO_2} und der Blutfluss (Q_b) in l/min gingen aus dem HLM-Protokoll hervor.

Die Bestimmung der Korrelationsfunktion für den Sauerstofftransfer in Abhängigkeit der F_{iO_2} erfordert die Anwendung der Fick'schen Formel (Formel 1) sowie des VO_2 -Wertes. Die Berechnung des VO_2 kann anschließend mit der Fick'schen Formel in Zusammenhang gebracht werden, um die Korrelationsfunktion zu erhalten (Formel 2).

$$V = (P_1 - P_2) \times (A / d) \times D \quad (1)$$

Formel 1: Fick'sche Formel: P_1 = Partialdruck des Gases im Alveolarraum, P_2 = Partialdruck des Gases in den Kapillaren; A = Austauschfläche, d = Dicke der Alveolarmembran; D = gasabhängiger Diffusionskoeffizient

$$VO_2 = ((SaO_2 - SvO_2) * Hb * 1,36 \text{ ml/g} + (paO_2 - pvO_2) * 0,03 \text{ ml/l}) * Q_b \quad (2)$$

Formel 2: VO_2 -Berechnung in Zusammenhang mit der Fick'schen Formel

Das zeitlich mit den Blutgasparametern und berechnetem VO_2 korrelierende F_{iO_2} wurde auf den cF_{iO_2} korrigiert und mit der Formel 3 nach Hamilton et al. [4] bestimmt. Der barometrische Druck (BD) wurde als 760 mmHg und der Wasserdampfdruck (P_{H_2O}) als 47 mmHg nach Hamilton et al. angenommen. Der post-Oxygenator paO_2 in mmHg wurde aus den Daten der Blutgasanalysen entnommen.

$$cF_{iO_2} = F_{iO_2} - (paO_2 / (BD - P_{H_2O})) + 0,21 \quad (3)$$

Formel 3: Berechnung des korrigierten cF_{iO_2} nach Hamilton et al.

Statistisches Design

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mittels Microsoft Excel. Sämtliche für die Berechnung des Sauerstofftransfers relevanten Parameter wurden systematisch in einer Tabelle zusammengeführt. Für diese Parameter wurden deskriptive Statistiken durchgeführt, einschließlich

Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Minimal- und Maximalwerte. Zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den Parametern cF_iO_2/F_iO_2 und VO_2 wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt und graphisch in einem Diagramm dargestellt. Auf dieser Grundlage konnte eine Regressionsfunktion zur Modellierung des Sauerstofftransfers entwickelt werden. Die Validierung der erstellten Formel und der Vergleich verschiedener Parameter erfolgte mittels Zweistichproben-t-Tests. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 0,05$ festgelegt, um die statistische Relevanz der Ergebnisse zu beurteilen.

Ergebnisse

EKZ und Blutgasparameter

Es wurden 415 arterielle und venöse Blutgasproben bei einer Anzahl von insgesamt $n = 58$ Patient:innen analysiert. Die Mittelwerte mit Standardabweichung sowie die Minimal- und Maximalwerte der EKZ-Parameter sind in Tabelle 1 dargestellt. Der durchschnittliche Q_b lag bei 5,5 l/min. Der O_2 -Transfer/ m^2 errechnet sich aus der VO_2 dividiert durch die Membranoberfläche des Oxygenators. Diese beträgt bei dem Sorin Inspire 8F 1,75 m^2 .

EKZ-Parameter	Einheit	Mittelwert $\pm$ SD	Minimum	Maximum
Qb	l/min	5,5 $\pm$ 0,72	3,5	7,1
Hb	g/dl	9,47 $\pm$ 1,10	6,4	12,6
paO₂	mmHg	207,2 $\pm$ 71,4	83,7	519,2
pvO₂	mmHg	46,0 $\pm$ 5,3	33,7	71,0
SaO₂	%	98,7 $\pm$ 0,5	95,8	100,0
SvO₂	%	78,4 $\pm$ 4,7	64,3	92,4
VO₂	ml O ₂ /min	169,2 $\pm$ 40,4	100,0	329,3
O₂-Transfer/ m²	ml/min/ m ²	96,7 $\pm$ 23,1	57,1	188,2
F_iO₂	Dezimal	0,53 $\pm$ 0,12	0,29	1,00
cF_iO₂:150	Dezimal	0,45 $\pm$ 0,11	0,20	0,90

Tab. 1: Aufgenommene und berechnete Parameter während der EKZ

Oxygenatortransferleistung

Abbildung 1 zeigt die Sauerstofftransferleistung des Sorin Inspire 8F Dual PH.I.S.I.O. mit der VO_2 in ml O₂/min auf der Ordinate, bezogen auf das mit dem Sauerstoffpartialdruck von 150 mmHg korrigierte cF_iO_2 auf der Abszisse. Die daraus resultierende Regressionsfunktion lautet:

$$VO_{2(cF_iO_2)} = 266,03 \cdot cF_iO_2 + 48,718 \quad (4)$$

Formel 4: Regressionsfunktion

Der berechnete Sauerstofftransfer beträgt 314,7 ml O₂/min bei einem cF_iO_2 von 1 und 104,6 ml O₂/min bei einem cF_iO_2 von 0,21. Die Regressionsanalyse aller aufgenommenen Daten zeigte

einen Regressionskoeffizient R^2 von 0,5412 auf. Der berechnete Mittelwert der VO_2 -Werte mit der in dieser Arbeit erstellten Formel beträgt 169,22 ml O₂/min. Der Mittelwert der mit der Fick'schen Formel berechneten VO_2 -Werte beträgt 169,26 ml O₂/min. Zwischen den Ergebnissen mit den verschiedenen Formeln besteht kein signifikanter Unterschied ($p = 0,4996$). Der Boxplot in Abbildung 2 zeigt alle in der vorliegenden Arbeit aufgenommenen und auf einen Sauerstoffpartialdruck von 150 mmHg korrigierten cF_iO_2 -Werte. Der berechnete theoretische Minimalwert lag bei 0,199, der berechnete Maximalwert lag bei 0,720. Zusätzlich gab es fünf Ausreißer bei der Boxplot-Auswertung: 0,750, 0,764, 0,816, 0,872, 0,903. Der Mittelwert der Daten von $n = 415$ Messwerten liegt bei $0,453 \pm 0,111$. Der Median liegt bei 0,440, das obere Quantil bei 0,518 und das untere Quantil bei 0,378.

Oxygenatortransferleistung im paO₂-Bereich 145–155 mmHg

Die VO_2 in ml O₂/min auf der Ordinate ist dem unkorrigierten F_iO_2 auf der Abszisse in Abbildung 3 gegenübergestellt. Das F_iO_2 bezieht sich auf die aufgenommenen Sauerstoffpartialdrücke in dem Bereich von 145–155 mmHg, welche mit 45 von 415 Messwerten 10,8 % der gesamten Daten darstellen und zur Validierung der Sauerstofftransferleistung des Oxygenators verwendet werden können. Der mit der erstellten Formel 5:

$$VO_{2(F_iO_2)} = 350,82 \cdot F_iO_2 - 4,0659 \quad (5)$$

berechnete Sauerstofftransfer beträgt hierbei 346,8 ml O₂/min bei einem F_iO_2 von 1 und 69,6 ml O₂/min bei einem F_iO_2 von 0,21. Die Regressionsanalyse bei dem Sauerstoffpartialdruckbereich von 145–155 mmHg weist einen Regressionskoeffizienten R^2 von 0,7537 auf.

Abbildung 4 zeigt einen Boxplot der gesamten F_iO_2 -Werte, die erforderlich sind, um ein paO_2 im Bereich von 145–155 mmHg zu erzielen. Der höchste gemessene Wert liegt bei 0,755, der niedrigste bei 0,333. Der Mittelwert ($n = 45$) liegt bei $0,498 \pm 0,095$, der Median bei 0,470, das obere Quantil liegt bei 0,569 und das untere Quantil bei 0,442.

Oxygenatortransferleistung bei unterschiedlichen Herz-Zeit-Volumina

Bei den ausgewerteten Daten lag der Q_b zwischen 3,5 l/min und 7,0 l/min. Es wurde der Sauerstofftransfer mit dem cF_iO_2 :150 mmHg auf der Abszisse und dem VO_2 in ml O₂/min auf der Ordinate in den verschiedenen Q_b -Bereichen betrachtet.

Abbildung 5 zeigt ein Säulendiagramm des VO_2 in verschiedenen Q_b -Bereichen. Hierfür wurde ein beispielhaftes cF_iO_2 von 0,4 in der in dieser Arbeit entwickelten Regressionsfunktion verwendet.

Diskussion

Die HLM wird bei verschiedenen herzchirurgischen Eingriffen eingesetzt, von Bypass- und Klappenoperationen bis hin zur Aorten Chirurgie [7]. Bei diesen komplexen Eingriffen ist die Angabe der Sauerstofftransferrate eines Oxygenators für Per-

fusionist:innen wichtig, um die intraoperative Performance evaluieren zu können. Bevor die Hersteller ihre Oxygenatoren für den Markt freigeben können, müssen bestimmte Richtlinien erfüllt werden. Diese werden von der „Association for the Advancement of Medical Instrumentation“ und „International Organization of Standardization“ (AAMI/ISO 7199:2016) [1] sowie der „Guidance for Cardiopulmonary Bypass Oxygenators 510(k)“ vorgegeben [8]. Hier werden Testbedingungen für den Oxygenator vorgegeben, die den klinischen Bedingungen ähneln sollen. Nach Herstellerangaben steigt die Sauerstofftransferleistung mit zunehmendem Perfusionsfluss wie in Abbildung 6 dargestellt. Die Übertragung dieses Modells in den klinischen Alltag ist jedoch nicht möglich, da eine Vielzahl von Parametern, welche betrachtet werden müssen, sich stetig während der Perfusion ändern. Aus diesem Grund ist es von besonderer Bedeutung, den Sauerstofftransfer in Abhängigkeit des F_iO_2 unter klinischen Bedingungen zu evaluieren.

Ein neuer Ansatz zur Messung der Sauerstofftransferleistung wurde erstmals von Hamilton et al. im Jahr 2017 beschrieben. Die Autor:innen entwickelten eine Formel, mit der die VO_2 in Abhängigkeit des F_iO_2 , welches auf einen bestimmten paO_2 korrigiert wurde, berechnet wird. Aus diesem korrigierten cF_iO_2 und dem zuvor berechneten VO_2 wurde eine Funktion zur Darstellung der Sauerstofftransferleistung in Abhängigkeit des F_iO_2 erstellt. Diese Methode zur Bestimmung der Sauerstofftransferleistung ist laut Hamilton et al. auch auf andere mikroporöse Hohlfaseroxygenatoren anwendbar [4].

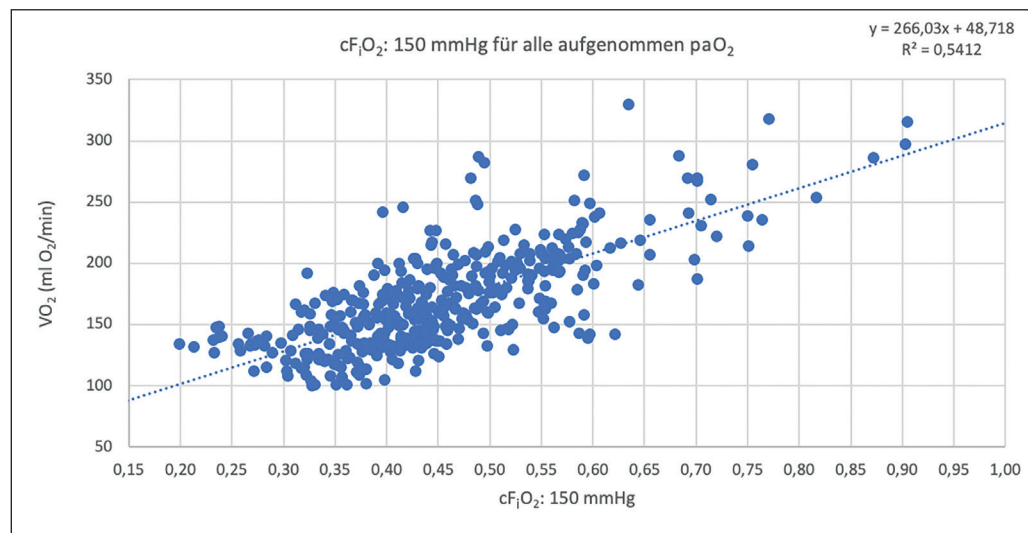


Abb. 1: Sauerstofftransfer der cF_iO₂:150 mmHg-Werte

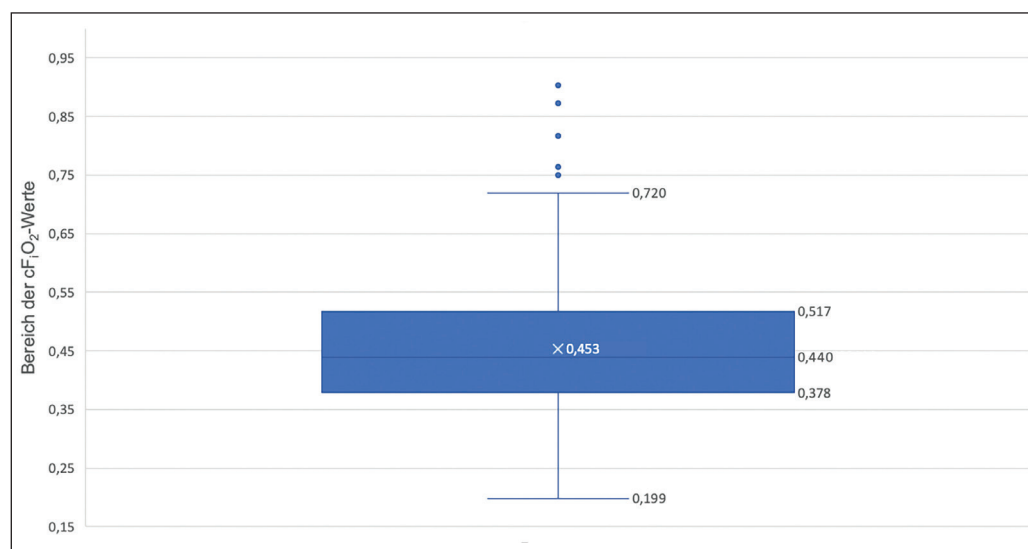


Abb. 2: Boxplot der cF_iO₂-Werte

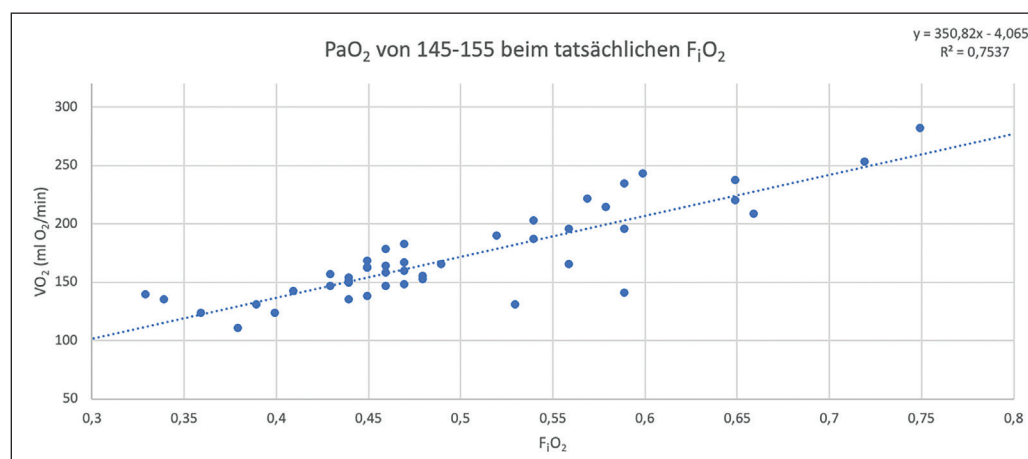


Abb. 3: Sauerstofftransfer beim unkorrigierten F_iO₂ in einem paO₂-Bereich von 145–155 mmHg

Sauerstofftransferleistung

In der aktuellen Fachliteratur findet sich keine Funktion für den Inspire 8F, welche den Sauerstofftransfer in Abhängigkeit zum eingestellten F_iO₂ aufzeigt. Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit bestand deshalb in der Erstellung einer Regressionsfunktion, welche die VO₂ in Abhängigkeit des cF_iO₂ beschreibt.

In der vorliegenden Arbeit wurde für den Sorin Inspire 8F eine Regressionsfunktion für den Sauerstofftransfer VO_2 in Abhängigkeit des cF_iO_2 postuliert. Diese Formel lautet:

$$VO_2 = 266,03 \cdot cF_iO_2 + 48,718 \quad (6)$$

Formel 6: Regressionsfunktion für den Sauerstofftransfer VO_2 in Abhängigkeit des cF_iO_2

Die mit der in dieser Arbeit entwickelten Formel berechneten VO_2 -Werte zeigen keinen signifikanten Unterschied zu den mit der Fick'schen Formel berechneten VO_2 -Werten aus der Gesamtheit aller Daten. In der zum jetzigen Zeitpunkt vorliegenden Literatur liegt keine weitere Untersuchung für den Inspire 8F vor. Vergleichend konnten nur Hamilton et al. und Svenmarker et al. aufzeigen, dass für den Medtronic Affinity Fusion und den AVECOR Affinity eine Korrelationsfunktion entwickelt werden konnte [4] [9]. Die Korrelationsfunktion von Hamilton et al. postuliert $VO_2 = 442,49 \cdot cF_iO_2 - 27,765$ und die von Svenmarker et al. $VO_2 = 368,4 \cdot F_iO_2 - 15,6$ [4] [9]. Die beiden oben genannten Korrelationsfunktionen weisen einen Regressionskoeffizienten R^2 von 0,804 (Hamilton et al.) [4] und 0,89 (Svenmarker et al.) [9] auf,

wobei in der letztgenannten Arbeit die Sauerstofftransferleistung anhand von 124 Messdaten im Vergleich zu 414 Messdaten von Hamilton et al. bestimmt wurde. Unter der Annahme, dass das cF_iO_2 bzw. F_iO_2 1 beträgt, ergibt sich für den Inspire 8F ein VO_2 von 314,7 ml O_2 /min, für den Affinity Fusion ein VO_2 von 415 ml O_2 /min und für den AVECOR Affinity ein VO_2 von 350 ml O_2 /min. Diese höhere Sauerstofftransferleistung der anderen Oxygenatoren ist zum einen darauf zurückzuführen, dass die Membranoberfläche des Affinity Fusion und des AVECOR Affinity mit jeweils 2,5 m² größer ist als die des Inspire 8F mit 1,75 m² [3] [10]. Zum anderen kann dies durch die Strömungsrichtung in den Oxygenatoren erklärt werden.

Der Blutfluss innerhalb des Inspire 8F ist axillär, während der Blutfluss des Affinity Fusion radial zu den Faserbündeln verläuft [11]. Darüber hinaus ist die Membran des Inspire 8F so gewickelt, dass der Druck auf

der Blutseite höher ist, um mögliche Luft effektiver zu eliminieren [12]. Durch diese erhöhten Drücke auf der Blutseite der Membran kann es in höheren Flussbereichen zu einer Verminderung des Sauerstofftransfers kommen, wie Hendrix et al. [14,15] in ihrer Arbeit zeigen. In dieser Arbeit wurden die Oxygenatoren Inspire 8F, Terumo Capiiox FX25RW und der Geringe Quadrox-i miteinander verglichen. Der Sauerstofftransfer pro 100 ml Blut nahm mit steigendem Fluss aufgrund der verringerten Diffusionszeit des Gases mit dem Blut ab, während die O_2 -Partialdruckdifferenz zunahm. Der Sauerstofftransfer pro Minute nahm jedoch mit steigendem Perfusionsfluss zu, was Hendrix et al. damit erklären, dass das gesamte Blutvolumen pro Minute, das durch den Oxygenator fließt, zunimmt. Dies hebt die Abnahme der Sauerstofftransfereffizienz des Oxygenators auf [14].

Weitere Arbeiten verglichen die Sauerstofftransferleistung des Inspire 8F mit anderen Oxygenatoren und kamen zu folgendem Ergebnis: Stanzel et al. [5,6] untersuchten die Performance des Inspire 8F, des Geringe Quadrox-i und des Terumo

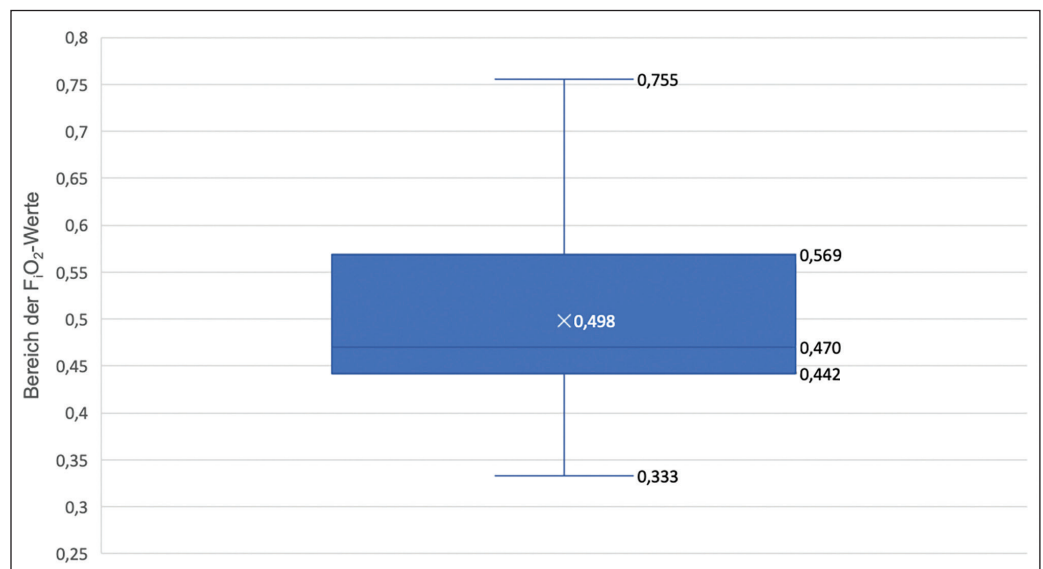


Abb. 4: Boxplot der F_iO_2 -Werte

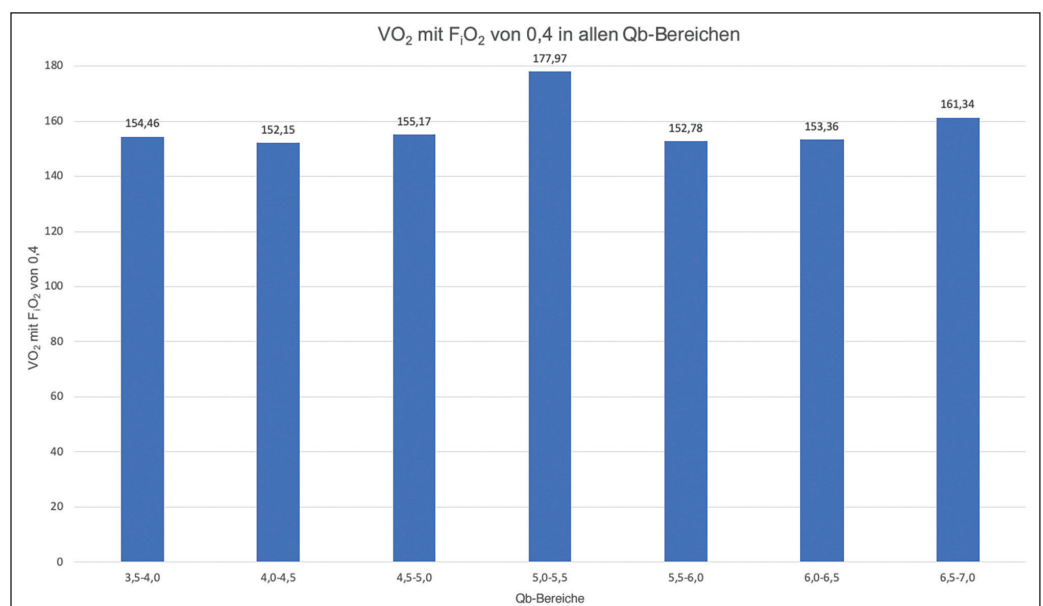


Abb. 5: VO_2 mit F_iO_2 von 0,4 in allen Qb-Bereichen

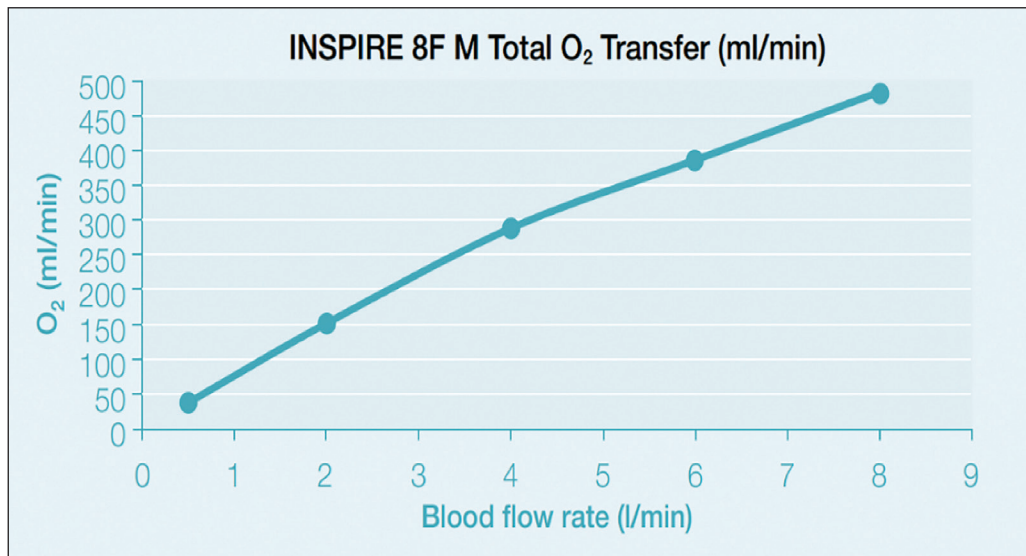


Abb. 6: Angabe von LivaNova zum Sauerstofftransfer in ml/min in Abhängigkeit von der Blutflussrate in l/min

FX 25 in zwei Kliniken. In der ersten Klinik wies der Inspire 8F ein VO_2 bezogen auf das F_iO_2 von 186 ml/min/ F_iO_2 und in der zweiten Klinik ein VO_2 von 243 ml/min/ F_iO_2 auf. Dieser Unterschied wird von Stanzel et al. mit einem höheren SvO_2 und einer möglicherweise niedrigeren Narkosetiefe erklärt. Das Ergebnis des Inspire 8F aus der zweiten Klinik ist ähnlich zu den anderen untersuchten Oxygenatoren [6]. Hendrix et al. erzielten in ihrer Arbeit einen O_2 -Transfer/ m^2 von 100–135 ml/min/ m^2 in den Flussbereichen von 4–6 l/min für den Inspire 8F, was auf ein VO_2 von 175–236 ml/min schließen lässt [14]. Die genauen Ein- und Auslassbedingungen der Oxygenatoren sind in den Arbeiten jedoch nicht gegeben, so dass ein direkter Vergleich der Leistung zwischen den Oxygenatoren nicht möglich ist.

Sauerstofftransferleistung im paO_2 Bereich von 145–155 mmHg

Die in dieser Arbeit erstellte Formel für den Sauerstofftransfer im paO_2 -Bereich von 145–155 mmHg und einem unkorrigierten F_iO_2 lautet:

$$\text{VO}_2 = 350,82 \cdot \text{F}_i\text{O}_2 - 4,0659 \quad (7)$$

Formel 7: Sauerstofftransfer im paO_2 -Bereich von 145–155 mmHg

Die Sauerstofftransferleistung hat, errechnet über diese Formel, einen Regressionskoeffizienten R^2 von 0,7537. Vergleicht man diese Formel mit der von Hamilton et al. entwickelten Formel: $\text{VO}_2 = 480,84 \cdot \text{F}_i\text{O}_2 - 57,525$, mit einem Regressionskoeffizienten R^2 von 0,8375, so ist eine höhere Sauerstofftransferleistung erkennbar. Beide Transfergeraden korrelieren mit den vorhandenen Messpunkten und sind in ihrer Anzahl der Messdaten vergleichbar (45 für den Inspire 8F und 54 für den Fusion) [4].

Der O_2 -Transfer/ m^2 beträgt in dieser Arbeit durchschnittlich 96,7 ml/min/ m^2 und liegt damit über dem Wert von Hendrix et al. [14,15] und unter dem von Stanzel und Henderson [5,6] berechneten Wert. Hendrix et al. berechneten einen mittleren Sauerstofftransfer pro m^2 von 60 ml/min/ m^2 für den Inspire 8F. Dies ist im Vergleich zu dem in dieser Arbeit berechneten

trägt 0,45. Das bedeutet, dass im Durchschnitt ein cF_iO_2 von 0,45 erforderlich ist, um ein paO_2 von 150 mmHg zu erreichen. Dies hängt jedoch auch vom Hb und der venösen Sättigung ab. Hamilton et al. erzielten dagegen ein mittleres cpaO_2 bei 37 °C von 0,53. Grundsätzlich sollte der Affinity Fusion-Oxygenator aufgrund seiner größeren Membranoberfläche ein niedrigeres paO_2 als der Inspire 8F benötigen, um ein bestimmtes VO_2 zu erreichen. Die Oberfläche dieses Membranoxygenators ist um 0,75 m^2 größer als die des Sorin Inspire 8F [16]. Vergleicht man, wie Segers et al. [10], die Oxygenatoren bei einem festen VO_2 -Wert von bspw. 250 ml O_2 /min, so benötigt der Affinity Fusion nach der Formel von Hamilton et al. ein cpaO_2 von 0,64. Der Inspire 8F hingegen benötigt ein cpaO_2 von 0,76, um den VO_2 -Wert von 250 ml O_2 /min zu erzielen. Der minimale Sauerstofftransfer bei einem cpaO_2 von 0,21 ist jedoch beim Inspire 8F mit 104,6 ml O_2 /min höher als beim Affinity Fusion mit 65 ml O_2 /min [4]. Jegger et al. untersuchten die Performance zwischen Dideco® D903, Dideco® D703 und Quadrox™ [17]. Sie setzten das erreichte VO_2 in Beziehung zum eingestellten F_iO_2 und kamen zu dem Ergebnis, dass beim D903 eine kleinere Veränderung im F_iO_2 zu einer größeren Veränderung im VO_2 führt. Beim D703 hingegen ist eine größere F_iO_2 -Änderung erforderlich, um eine VO_2 -Änderung zu erzielen. Eine Erhöhung des F_iO_2 um z. B. 0,1 wirkt sich beim Dideco D903 stärker auf die VO_2 aus als beim Dideco D703. Der Dideco D903 hat eine um 0,3 m^2 kleinere Membranoberfläche als der Dideco D703, jedoch unterscheiden sich die Oxygenatoren in ihrer Wicklung [18].

Sauerstofftransfer bei unterschiedlichem Herz-Zeit-Volumina

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit, in welcher die VO_2 zum cF_iO_2 in Abhängigkeit zum Qb geplottet wurde, lässt sich erkennen, dass mit steigendem Qb die VO_2 nur in Abhängigkeit des cF_iO_2 ansteigt.

Das Säulendiagramm in Abbildung 5 belegt, dass der Sauerstofftransfer für einen korrigierten cF_iO_2 über die Qb -Bereiche hinweg konstant ist und dass der Qb somit keinen Einfluss auf die Sauerstofftransferleistung des Inspire 8F hat.

Wert auf den niedrigeren gemessenen Hb-Wert von durchschnittlich 5,1 mmol/L (8,2 g/dl) und auf die niedrigeren mittleren Perfusionsflüsse von 4,9 l/min zurückzuführen [15]. Stanzel und Henderson geben in ihrer Arbeit einen O_2 -Transfer/ m^2 von 139 ml/min/ m^2 an. Dieser Wert kann durch ihren berechneten Sauerstofftransfer in Abhängigkeit des paO_2 erklärt werden, der bei 243 ml/min/ F_iO_2 für den Inspire 8F liegt [6].

Das arithmetische Mittel des cF_iO_2 in dieser Arbeit be-

Schlussfolgerung

Die vorliegende Arbeit entwickelte und validierte eine Formel zur Berechnung der Sauerstofftransferleistung des Inspire 8F-Oxygenators in Korrelation zum inspiratorischen Sauerstoffanteil F_{iO_2} . Ziel war es, ein verlässliches Instrument zur Beurteilung der Sauerstofftransferleistung im klinischen Alltag bereitzustellen. Ein statistisch nicht signifikanter Unterschied ($p = 0,4996$) wurde zwischen dem mittels der postulierten Formel berechneten VO_2 und dem nach der Fick'schen Formel ermittelten VO_2 festgestellt. Dieses Ergebnis bestätigt die Äquivalenz und Anwendbarkeit der entwickelten Formel. Folglich kann die hier postulierte Formel von Perfusionist:innen eingesetzt werden, um die Sauerstofftransferleistung des Inspire 8F-Oxygenators valide bestimmen zu können. Bei einer potenziell eingeschränkten Sauerstofftransferleistung bietet die postulierte Funktion der Sauerstofftransferleistung ein weiteres Werkzeug, um die aktuelle Leistung eines Oxygenators zu bewerten.

Ausblick

Die Integration der entwickelten Regressionsfunktion zur Bestimmung des Sauerstofftransfers des Sorin Inspire 8F-Oxygenators in die Connect Data Management System Software der HLM wäre von großem klinischem Interesse. Diese Integration würde eine schnelle intraoperative Quantifizierung des VO_2 in Abhängigkeit des F_{iO_2} ermöglichen. Durch die Implementierung der Formel könnten Perfusionist:innen die VO_2 simultan sowohl auf Basis der Blutgasanalysen als auch mittels der in dieser Arbeit postulierten Regressionsfunktion berechnen und direkt in der Benutzeroberfläche des Systems visualisieren. Dies würde eine effiziente Detektion von Abnormalitäten im Sauerstofftransfer erleichtern. Die Verfügbarkeit dieser Daten in Echtzeit würde es Perfusionist:innen ermöglichen, die Leistungsfähigkeit des Oxygenators präzise zu beurteilen und zeitnah adäquate Maßnahmen zur Optimierung des Sauerstofftransfers zu ergreifen. Die in dieser Arbeit entwickelte Regressionsfunktion stellt somit ein wertvolles zusätzliches Instrument zur Beurteilung der Oxygenator-Performance im klinischen Alltag dar.

Interessenkonflikt

Die Autoren haben keine finanziellen Interessen oder Beziehungen, die zu Interessenkonflikten führen können.

Literatur

1. ANSI/AAMI/ISO 7199:2016; Cardiovascular implants and artificial organs— Blood-gas exchangers (oxygenators). ANSI/AAMI/ISO 7199:2016; Cardiovascular implants and artificial organs— Blood-gas exchangers (oxygenators). 18. November 2016;
2. Affinity Fusion Oxygenation System – Cardiopulmonary Products | Medtronic [Internet]. [zitiert 11. Juni 2025]. Verfügbar unter: <https://www.medtronic.com/me-en/healthcare-professionals/products/cardiovascular/cardiopulmonary/affinity-fusion-oxygenation-system.html>
3. McKee S, Dougal EA, Mottram NJ. Analytic solutions of a simple advection-diffusion model of an oxygen transfer device. J Math Ind [Internet]. 1. Dezember 2016 [zitiert 11. Juni 2025];6(1):1–22. Verfügbar unter: <https://mathematicsinindustry.springeropen.com/articles/10.1186/s13362-016-0019-3>
4. Hamilton C, Marin D, Weinbrenner F, Engelhardt B, Rosenzweig D, Beck U, et al. A new method to measure oxygenator oxygen transfer performance during cardiopulmonary bypass: clinical testing using the Medtronic Fusion oxygenator. Perfusion [Internet]. März 2017 [zitiert 25. Januar 2021];32(2):133–40. Verfügbar unter: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27600701>
5. Stanzel R, Henderson M, McKay C, Fowlow C, O'Reilly B. A clinical evaluation of contemporary oxygenators: A multi centre evaluation. 2017.
6. Stanzel RDP, Henderson M. Clinical evaluation of contemporary oxygenators. Perfusion (United Kingdom) [Internet]. 1. Januar 2016 [zitiert 21. Juli 2025];31(1):15–25. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26407816/>
7. Larsen R. Anästhesie bei Operationen mit der Herz-Lungen-Maschine. Anästhesie und Intensivmedizin in der Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie. 2017;83–111.
8. Cardiopulmonary Bypass Oxygenators 510(k) Submissions - Final Guidance for Industry and FDA Staff | FDA [Internet]. [zitiert 11. Juni 2025]. Verfügbar unter: <https://www.fda.gov/medical-devices/guidance-documents-medical-devices-and-radiation-emitting-products/cardiopulmonary-bypass-oxygenators-510k-submissions-final-guidance-industry-and-fda-staff>
9. Svenmarker S, Appelblad M, Häggmark S, Jansson E, Lindholm R. The Relationship Between Oxygen Transfer and F_{iO_2} in a Clinical Study of the Affinity™ Hollow Fiber Oxygenator. Journal of Extracorporeal Technology [Internet]. 1. März 1996 [zitiert 11. Juni 2025];28(1):13–5. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/292826484_The_relationship_between_oxygen_transfer_and_FIO2_in_a_Clinical_Study_of_the_Affinity_hollow_fiber_oxygenator
10. Segers PAM, Heida JF, de Vries I, Maas C, Boogaart AJ, Eilander S. Clinical evaluation of nine hollow-fibre membrane oxygenators. Perfusion [Internet]. 2001 [zitiert 11. Juni 2025];16(2):95–106. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11334201/>
11. Griep LM, van Barneveld LJM, Simons AP, Boer C, Weerwind PW. Impact of distinct oxygenators on pulsatile energy indicators in an adult cardiopulmonary bypass model. Artif Organs [Internet]. 1. Februar 2017 [zitiert 11. Juni 2025];41(2):E15–25. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28181301/>
12. Stehouwer MC, De Vroeghe R, Kelder JC, Hofman FN, De Mol BA, Bruins P. Effect of oxygenator size on air removal characteristics: A clinical evaluation. ASAIO J [Internet]. 1. August 2016 [zitiert 30. September 2025];62(4):421–6. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26919180/>
13. Shann KG, Likosky DS, Murkin JM, Baker RA, Baribeau YR, DeFoe GR, u. a. An evidence-based review of the practice of cardiopulmonary bypass in adults: A focus on neurologic injury, glycemic control, hemodilution, and the inflammatory response. Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery [Internet]. 2006 [zitiert 30. September 2025];132(2). Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16872951/>
14. Hendrix RHJ, Yeung AKS, Ganushchak YM, Weerwind PW. The effect of flow and pressure on the intraoxygenator flow path of different contemporary oxygenators: an in vitro trial. Perfusion (United Kingdom) [Internet]. 1. Oktober 2020 [zitiert 11. Juni 2025];35(7):658–63. Verfügbar unter: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0267659119899883>
15. Hendrix RHJ, Ganushchak YM, Weerwind PW. Contemporary oxygenator design: Shear stress-related oxygen and carbon dioxide transfer. Artif Organs [Internet]. 1. Juni 2018 [zitiert 11. Juni 2025];42(6):611–9. Verfügbar unter: <https://doi/pdf/10.1111/aor.13084>
16. Medtronic. Affinity Fusion Oxygenationssystem | Medtronic [Internet]. 2018 [zitiert 23. August 2020]. S. 1. Verfügbar unter: <https://www.medtronic.com/de-de/fachkreise/produkte/herzchirurgie-gefaessintervention/herz-lungen-maschine/affinity-fusion-oxygenation-system.html>
17. Jegger D, Tevaearai HT, Mallabiarrena I, Horisberger J, Seigneul I, Von Segesser LK. Comparing oxygen transfer performance between three membrane oxygenators: effect of temperature changes during cardiopulmonary bypass. Artif Organs [Internet]. 2007 [zitiert 30. September 2025];31(4):290–300. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17437498/>
18. Epis F, Belliato M. Oxygenator performance and artificial-native lung interaction. J Thorac Dis [Internet]. 1. März 2018 [zitiert 11. Juni 2025];10(Suppl 5):S596. Verfügbar unter: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5911558/>

Entdecken Sie Fortbildungen in den Gebieten Herzchirurgie, Intensiv-, Notfall-, Transplantations- und Perfusionsmedizin – größtenteils CME-zertifiziert.

Programmorschau

Because every Beat counts - a pediatric cardiac mission

Dr. Krupali Rathod Tappoo (Fiji) | Dr Nanthini Pillay (Singapore) |
Dr. Senthil Subbian (Singapore) | Prof. Laszlo Kiraly (Singapore) |
26.11.2025

Hypothermic oxygenated machine perfusion of liver grafts using HTK

a.o. Univ. -Prof. Thomas Soliman (Wien) | 09.12.2025

Myokardiale Ischämie-/ Reperfusionsschaden

Prof. Dr. Sevil Korkmaz-Icöz (Heidelberg) | 13.01.2026

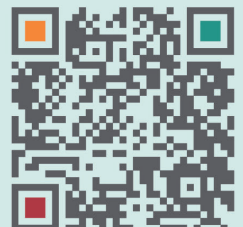
The Impact of Hyponatremia in Aortic Valve Surgery Using Histidine-Tryptophan-Ketoglutarate Cardioplegia

Dr. Claudio Ghiragosian (Tirgomures) | 03.03.2026

Hier geht's zum Köhler Campus

Scannen Sie den QR Code oder besuchen Sie uns auf
www.koehler-campus.com

Schauen Sie sich auch unsere anderen Webinare im
Programmarchiv an!



Die Perfusiologie stellt in der Rubrik Tutorials in Folge relevante Methoden für wissenschaftliche Arbeiten zur klinischen Perfusion und technischen Medizin vor.

Statistik Teil 16: pp- und qq-Plot



Prof. Dr. Matthias Kohl
Department of Health, Medical and Life Sciences
Institute of Precision Medicine
Hochschule Furtwangen
Jakob-Kienzle-Str. 17, 78054 Villingen-Schwenningen (Germany)
Phone: +49 (0) 7720 307-4635
E-Mail: matthias.kohl@hs-furtwangen.de
www.hs-furtwangen.de · www.life-data-science.org

M. Kohl, F. Münch

Einführung

Die Gültigkeit der Ergebnisse statistischer Verfahren hängt grundsätzlich davon ab, ob die zur Herleitung der Verfahren verwendeten (theoretischen) Annahmen zumindest näherungsweise erfüllt sind. In der Praxis bedeutet dies, dass man jeweils prüfen sollte, ob die gemachten Annahmen für die erhobenen Daten gelten bzw. auf Basis der vorliegenden Informationen zumindest plausibel erscheinen, bevor man die statistischen Ergebnisse interpretiert und diskutiert. Häufig gehört zu den notwendigen Voraussetzungen auch das Vorliegen einer bestimmten (Wahrscheinlichkeits-)Verteilung, wie etwa die Normalverteilung beim t-Test [1] oder bei linearen Modellen [2]. In der Praxis können Verteilungsannahmen mit pp- oder qq-Plots, die speziell für den Vergleich von Verteilungen entwickelt wurden [3] und sich hierfür besser eignen als Histogramm oder Dichteschätzung [4], grafisch überprüft werden. Darüber hinaus werden oft auch statistische Tests für diesen Zweck verwendet (vgl. Abschnitt 7.2 in [5]). Diese sogenannten Anpassungstests werden wir in diesem Tutorial nicht betrachten. Zur Demonstration werden wir zunächst pp- und qq-Plots für verschiedene Szenarien vorstellen, die häufig in der Praxis zu beobachtenden Abweichungen entsprechen, und anschließend die Plots auf reale Daten anwenden.

Probability-Probability-Plot

Beim Probability-Probability-Plot oder kurz **pp-Plot** handelt es sich um ein Diagramm, in dem die **Verteilungsfunktionen** von zwei Verteilungen gegeneinander aufgetragen werden. Falls die beiden Verteilungsfunktionen identisch sind, sind auch die Verteilungen gleich. Trägt man in diesem Fall die Werte der Verteilungsfunktionen in ein Diagramm ein, so liegen alle Punkte auf der Geraden $y = x$, wobei x und y auf das Intervall $[0,1]$ (Wahrscheinlichkeiten) beschränkt sind. In der Praxis wird meist die (empirische) Verteilung eines Datensatzes mit einer für die statistische Analyse vorausgesetzten (theoretischen) Verteilung verglichen. In diesem Fall werden die beiden Verteilungen nie völlig identisch sein, sondern es sind gewisse

Fazitbox

Pro und Contra pp- und qq-Plot:

Pro

- pp- und qq-Plots eignen sich sehr gut dazu, Unterschiede zwischen zwei Verteilungen zu erkennen. In der Praxis werden die Plots meistens dazu eingesetzt, um zu prüfen, ob ein Datensatz einer angenommenen Verteilung folgt.
- Durch die zusätzliche Verwendung von Konfidenzbändern kann man leichter einschätzen, ob die beobachteten Abweichungen zwischen zwei Verteilungen über die zu erwartenden zufälligen Schwankungen hinausgehen.

Contra

- Der pp-Plot ist etwas schwerer zu interpretieren als der qq-Plot, wobei mit dem pp-Plot Abweichungen in der Mitte der Verteilung besser erkannt werden können, während sich der qq-Plot besser dazu eignet, Abweichungen in den Flanken und Ausreißer zu identifizieren.
- Es benötigt eine gewisse Erfahrung im Umgang mit diesen Plots, um auffällige Abweichungen zu erkennen. Gerade bei kleinen bis moderaten Fallzahlen ist es generell schwierig, eine zuverlässige Aussage zur Verteilung von Daten zu treffen.

zufällige Abweichungen von der Geraden $y = x$ zu erwarten. Es ist umgekehrt sogar so, dass eine zu perfekte Übereinstimmung ein Hinweis auf eine Datenmanipulation sein kann. Solche Manipulationen werden heute in der Forschung leider immer mehr zu einem Problem [6], weshalb auch diese „umgekehrte“ Anwendung von Verteilungsvergleichen von wachsendem Interesse ist.

Das Erkennen von auffälligen Abweichungen von der Geraden $y = x$ erfordert eine gewisse Erfahrung. Daher ist es hilfreich, die Gerade um ein 95 %-Konfidenzband zu erweitern. Die Form des Konfidenzbandes zeigt auf, welche Abweichungen und in welchem Umfang per Zufall zu erwarten sind. Liegen auffällig viele Punkte (>5 %) außerhalb des Konfidenzbandes, so deutet dies auf signifikante Unterschiede zwischen den beiden verglichenen Verteilungen hin. Darüber hinaus sollte man auch immer darauf achten, ob die eingezeichneten Punkte auffällige Strukturen oder Trends zeigen, da diese auch typische Zeichen für Unterschiede zwischen den beiden Verteilungen sind.

Quantil-Quantil-Plot

Im Fall des Quantil-Quantil-Plots oder kurz **qq-Plots** werden anstelle der Verteilungsfunktionen die **Quantilfunktionen** zweier Verteilungen verglichen, wobei die Quantilfunktion mathematisch gesprochen die verallgemeinerte Inverse oder

Pseudoinverse der Verteilungsfunktion ist. Falls es sich um eine stetige Verteilung mit einer streng monoton wachsenden Verteilungsfunktion handelt, entspricht die Quantilfunktion der „üblichen“ Umkehrfunktion in der Mathematik. Zwei Verteilungen sind identisch, falls sie identische Quantilfunktionen haben. Entsprechend liegen in diesem Fall die Werte der Quantilfunktionen auf der Geraden $y = x$, wobei aber x und y im Unterschied zum pp-Plot nicht auf das Intervall $[0,1]$ beschränkt sind, sondern auf den sogenannten **Träger der Verteilung**. Darunter versteht man alle Werte, die eine Zufallsvariable mit dieser Verteilung annehmen kann. Zum Beispiel ist der Träger der Normalverteilung die Menge der reellen Zahlen, während der Träger der log-Normalverteilung die Menge der positiven reellen Zahlen ist. Als Träger kommt jede (nicht leere) Teilmenge der reellen Zahlen in Frage. Zur leichteren Interpretation des Plots empfiehlt es sich, analog zum pp-Plot, zusätzlich ein 95 %-Konfidenzband um die Gerade $y = x$ herumzulegen. Neben vielen Punkten (>5 %) außerhalb des Konfidenzbandes sind auch beim qq-Plot auffällige Strukturen oder Trends zusätzliche wichtige Hinweise auf das Vorliegen unterschiedlicher Verteilungen.

Beispiele

Wir verwenden im ersten Schritt zwei theoretische Verteilungen, um zu demonstrieren, wie sich bestimmte Unterschiede zwischen zwei Verteilungen im pp- und qq-Plot zeigen. Die verschiedenen Szenarien haben wir in Anlehnung an Abbildung 7.7 in [5] gewählt, wobei wir die Verteilungen der verschiedenen Szenarien immer mit der Normalverteilung vergleichen, da dies auch dem häufigsten Anwendungsfall entspricht. In Abbildung 1 sehen wir die typische Abweichung, die entsteht, wenn die Daten einer **rechtsschiefen Verteilung** anstelle einer Normalverteilung folgen.

Im Fall der pp-Plots ist die Abweichung vor allem im Zentrum der Verteilung deutlich zu sehen, während im Fall des qq-Plots die Abweichung in den Flanken auffälliger ist. Dies ist auch typisch für die beiden Plots. Mit dem pp-Plot können generell Abweichungen im Zentrum der Verteilungen besser erkannt werden, während im qq-Plot Unterschiede in den Flanken und Ausreißer deutlicher zu sehen sind. Im Fall einer **linksschiefen Verteilung** sind die Strukturen, die man erhält, gerade gespiegelt zur rechtsschiefen Situation, wie in Abbildung 2 zu sehen ist.

In Abbildung 3 sehen wir den Fall, dass wir eine Normalverteilung mit einer Verteilung vergleichen, die **in der Mitte steiler** ist und **deutlich breitere Flanken** aufweist. In diesem Fall sind die Unterschiede im qq-Plot deutlich stärker zu sehen als im pp-Plot.

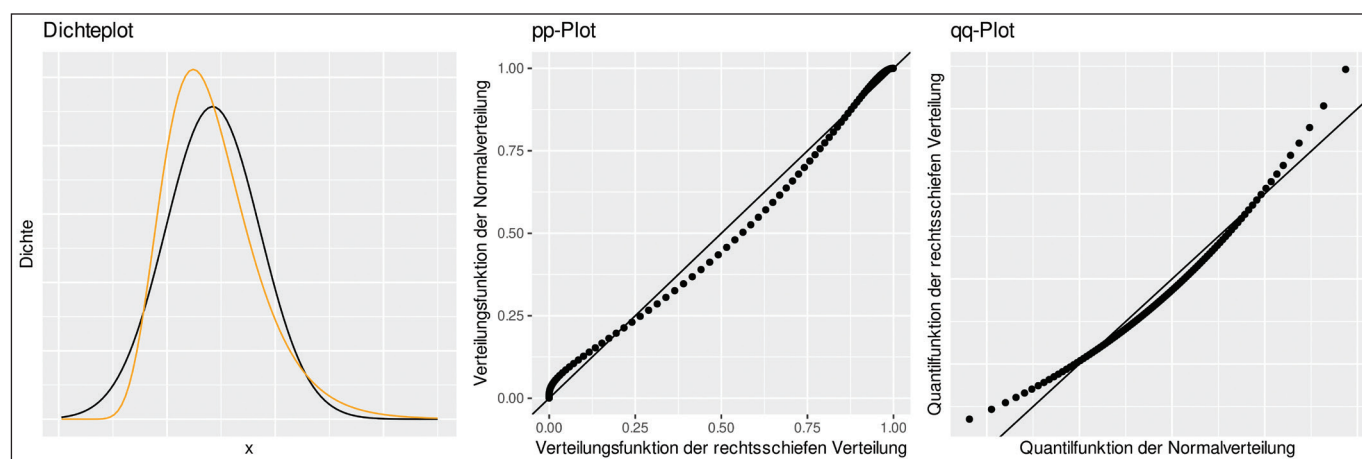


Abb. 1: Vergleich von Dichte (Dichteplot), Verteilungsfunktion (pp-Plot) und Quantilfunktion (qq-Plot) der Normalverteilung mit einer rechtsschiefen Verteilung (orange Dichte) (erstellt mit dem Paket ggplot2 [7] der Statistiksoftware R [8])

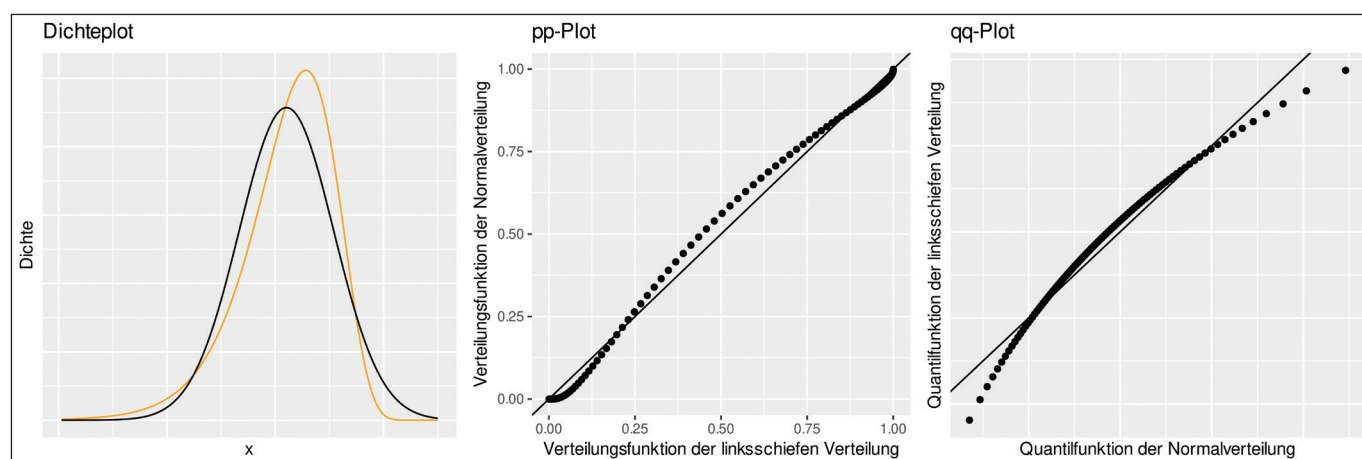


Abb. 2: Vergleich von Dichte (Dichteplot), Verteilungsfunktion (pp-Plot) und Quantilfunktion (qq-Plot) der Normalverteilung mit einer linksschiefen Verteilung (orange Dichte) (erstellt mit dem Paket ggplot2 [7] der Statistiksoftware R [8])

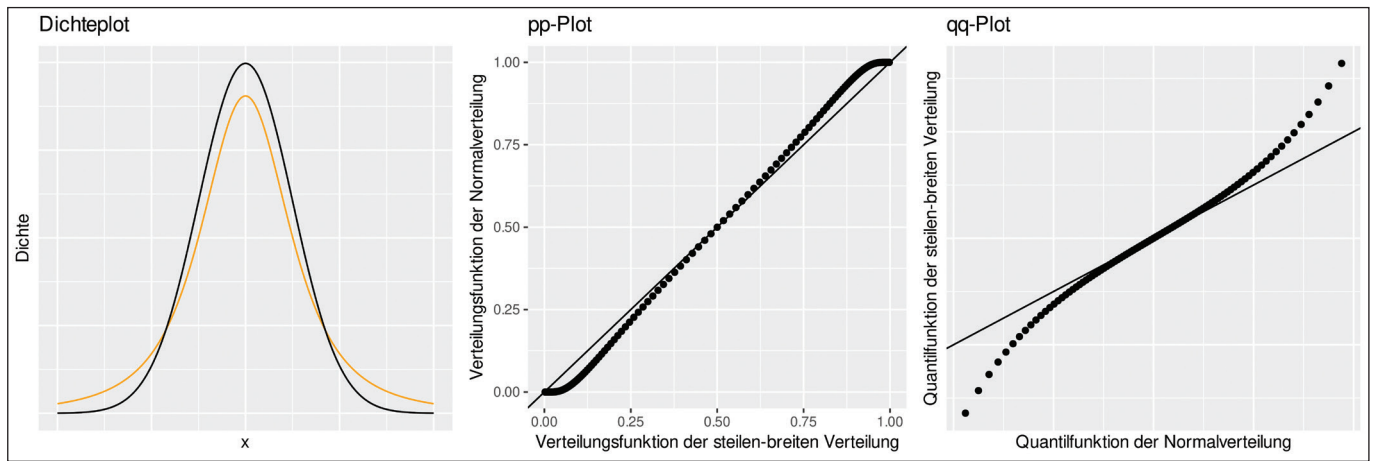


Abb. 3: Vergleich von Dichte (Dichteplot), Verteilungsfunktion (pp-Plot) und Quantilfunktion (qq-Plot) der Normalverteilung mit einer steileren und breiteren Verteilung (orange Dichte) (erstellt mit dem Paket ggplot2 [7] der Statistiksoftware R [8])

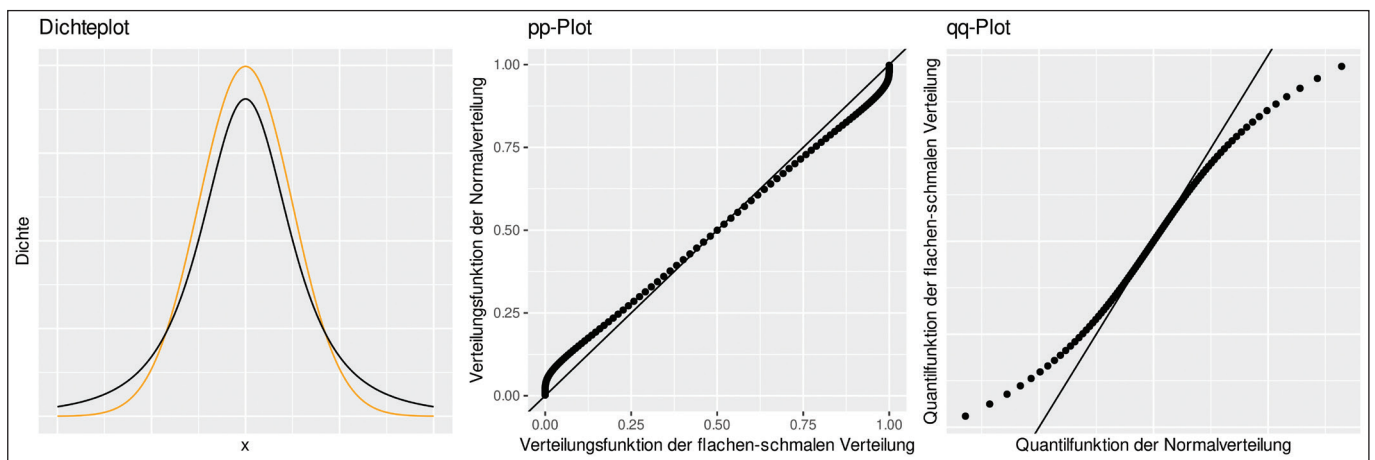


Abb. 4: Vergleich von Dichte (Dichteplot), Verteilungsfunktion (pp-Plot) und Quantilfunktion (qq-Plot) der Normalverteilung mit einer flacheren und schmalen Verteilung (orange Dichte) (erstellt mit dem Paket ggplot2 [7] der Statistiksoftware R [8])

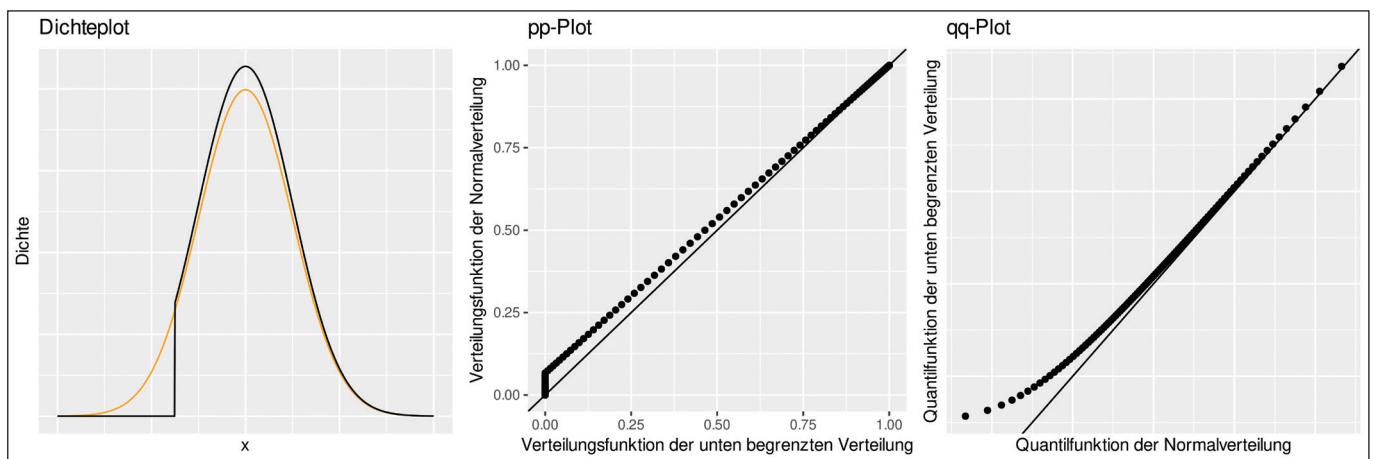


Abb. 5: Vergleich von Dichte (Dichteplot), Verteilungsfunktion (pp-Plot) und Quantilfunktion (qq-Plot) der Normalverteilung mit einer nach unten begrenzten Verteilung (orange Dichte) (erstellt mit den Paketen distr [9] und ggplot2 [7] der Statistiksoftware R [8])

In Abbildung 4 betrachten wir umgekehrt den Fall, dass die Verteilung **in der Mitte flacher** ist und **deutlich schmalere Flanken** besitzt. Hier sind die Auffälligkeiten gespiegelt zum vorherigen Fall, wobei die Abweichung im qq-Plot wieder stärker hervortritt.

In Abbildung 5 sehen wir den Fall, dass die Verteilung, mit der wir die Normalverteilung vergleichen, **nach unten begrenzt** ist. Wir sehen eine deutliche Auffälligkeit am linken Rand von pp-

und qq-Plot, wobei diese im qq-Plot stärker ausgeprägt ist. Ist die Verteilung **nach oben begrenzt**, ergeben sich Plots, in denen die Auffälligkeit vom unteren zum oberen Rand von pp- und qq-Plot gespiegelt ist, wie in Abbildung 6 zu sehen ist. In Abbildung 7 ist schließlich zu sehen, wie sich **Ausreißer** bei pp- und qq-Plots bemerkbar machen. Im pp-Plot sind diese kaum auszumachen, während sich diese im qq-Plot ganz deutlich zeigen.

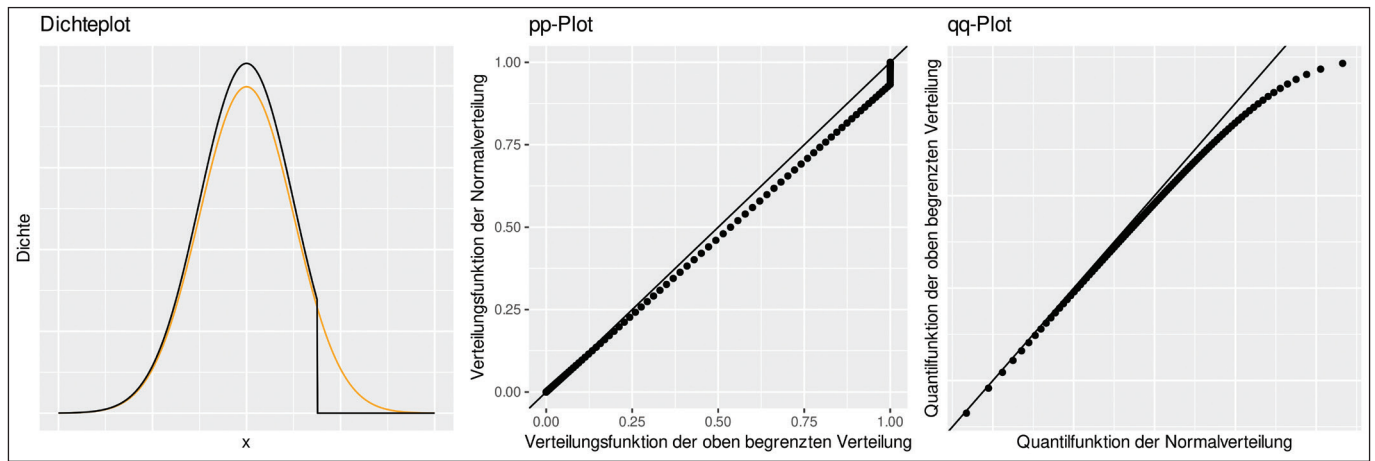


Abb. 6: Vergleich von Dichte (Dichteplot), Verteilungsfunktion (pp-Plot) und Quantilfunktion (qq-Plot) der Normalverteilung mit einer nach oben begrenzten Verteilung (orange Dichte) (erstellt mit den Paketen `distr` [9] und `ggplot2` [7] der Statistiksoftware R [8])

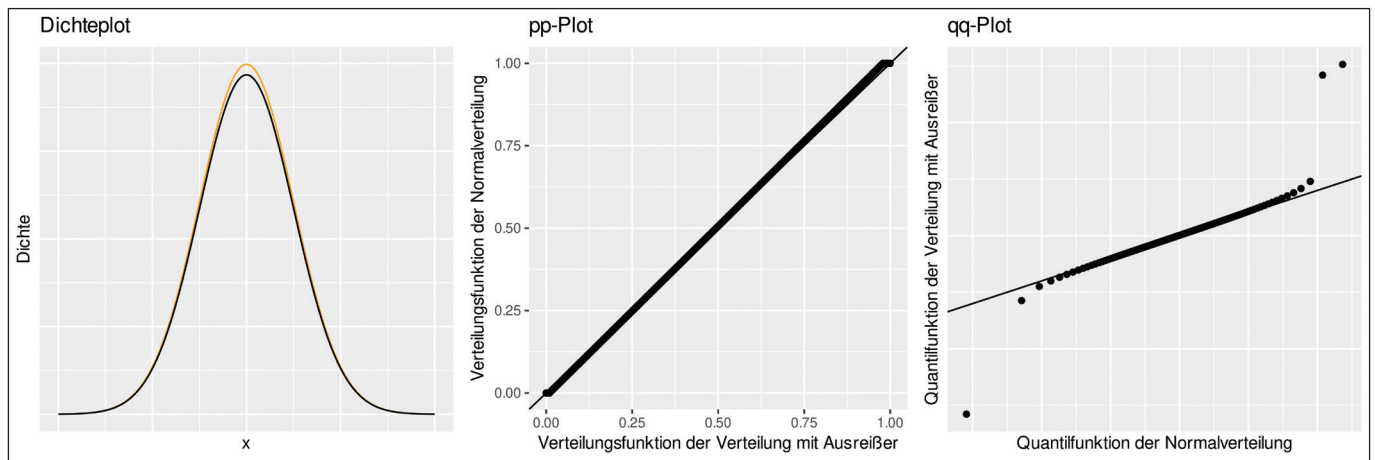


Abb. 7: Vergleich von Dichte (Dichteplot), Verteilungsfunktion (pp-Plot) und Quantilfunktion (qq-Plot) der Normalverteilung mit einer Verteilung, die Ausreißer aufweist (orange Dichte) (erstellt mit den Paketen `distr` [9], `distrEx` [9] und `ggplot2` [7] der Statistiksoftware R [8])

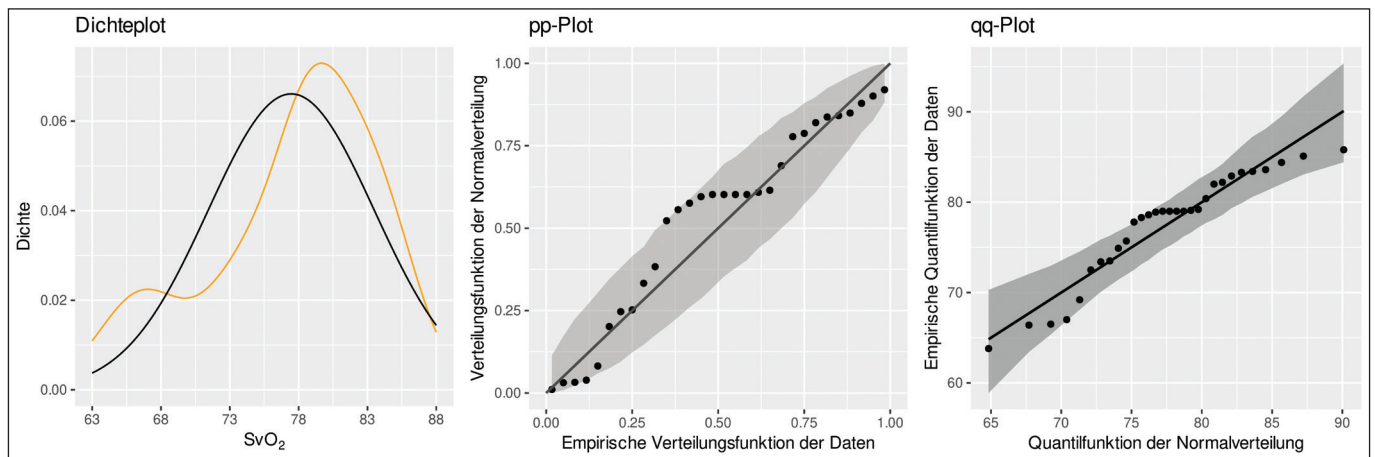


Abb. 8: Vergleich von Dichteschätzung (orange), empirischer Verteilungsfunktion (pp-Plot) und empirischer Quantilfunktion (qq-Plot) von Daten zur venösen Sauerstoffsättigung (SvO₂) von 30 erwachsenen Patient:innen an der extrakorporalen Zirkulation (EKZ) mit einer Normalverteilung (erstellt mit den Paketen `qqplotr` [10] und `ggplot2` [7] der Statistiksoftware R [8])

Abschließend werden wir pp- und qq-Plots für reale Datensätze erzeugen, wobei wir zusätzlich 95 %-Konfidenzbänder verwenden, um besser einschätzen zu können, ob es sich um signifikante Abweichungen von der Normalverteilung handelt. Die Konfidenzbänder werden hierbei mittels Bootstrap erzeugt, wobei sich die Konfidenzbänder aus punktuellen Konfidenzintervallen zusammensetzen. Wir beginnen mit den Daten der venösen Sauerstoffsättigung (SvO₂) von 30 er-

wachsenen Patient:innen an der extrakorporalen Zirkulation (EKZ) [4]. Der Dichteplot in Abbildung 8 zeigt deutliche Abweichungen von der Normalverteilung. Laut pp- und qq-Plot sind diese Abweichungen aber noch im Rahmen zufälliger Schwankungen, da alle Punkte innerhalb der Konfidenzbänder liegen und keine der Strukturen aus den Abbildungen 1–7 eindeutig zu erkennen sind. Dieses Beispiel zeigt, wie schwer es bei einer kleinen bis mittelgroßen Stichprobe ist, zu entschei-

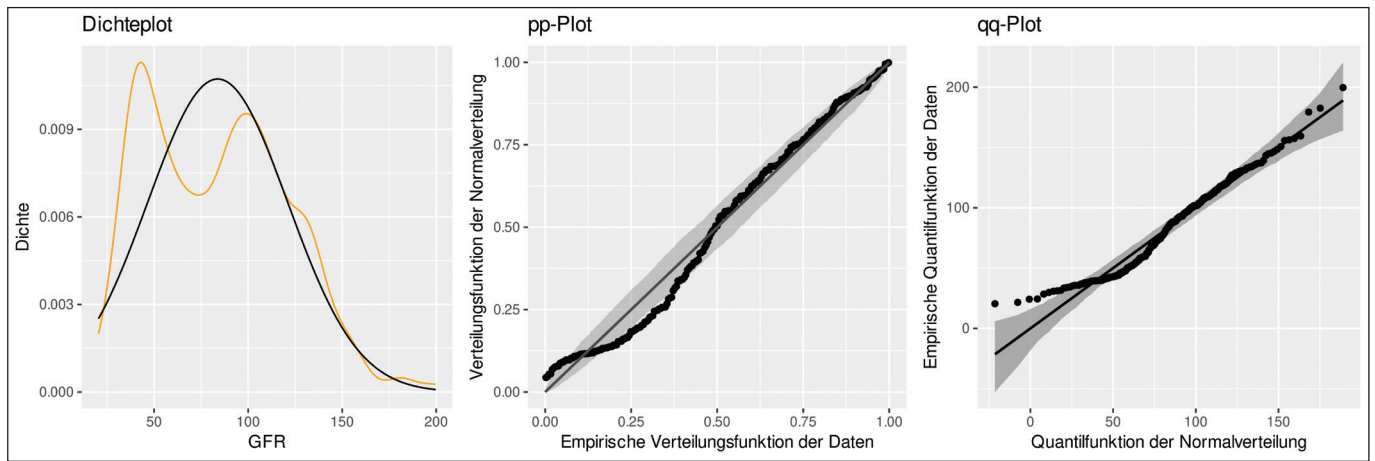


Abb. 9: Vergleich von Dichteschätzung (orange), empirischer Verteilungsfunktion (pp-Plot) und empirischer Quantilfunktion (qq-Plot) der GFR-Daten der Nitroprussid-Gruppe (219 Patient:innen) mit einer Normalverteilung (erstellt mit den Paketen qqplotr [10] und ggplot2 [7] der Statistiksoftware R [8])

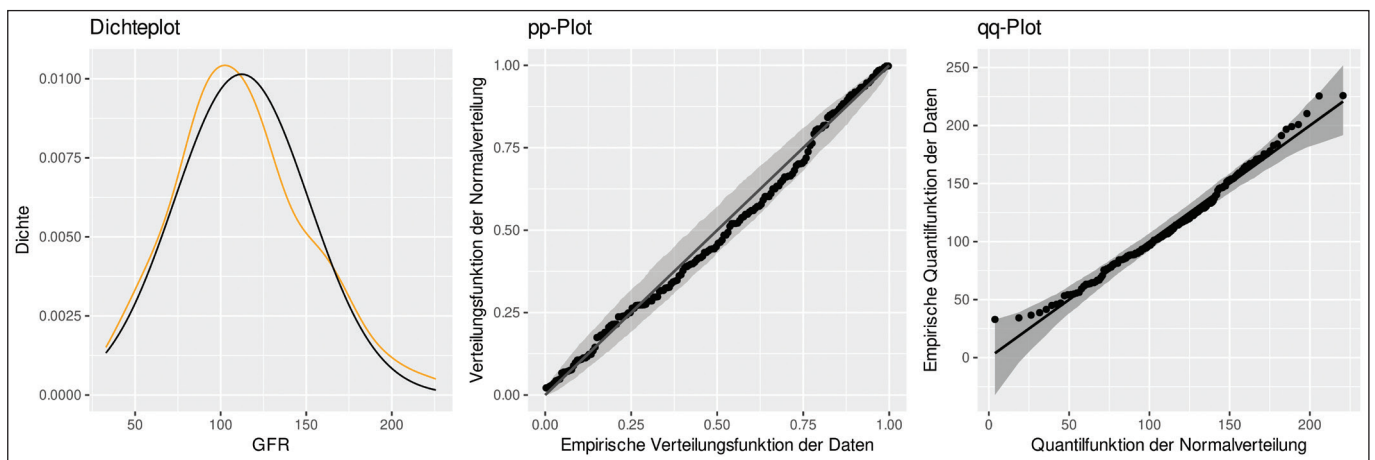


Abb. 10: Vergleich von Dichteschätzung (orange), empirischer Verteilungsfunktion (pp-Plot) und empirischer Quantilfunktion (qq-Plot) der GFR-Daten der Nitroglycerin-Gruppe (176 Patient:innen) mit einer Normalverteilung (erstellt mit den Paketen qqplotr [10] und ggplot2 [7] der Statistiksoftware R [8])

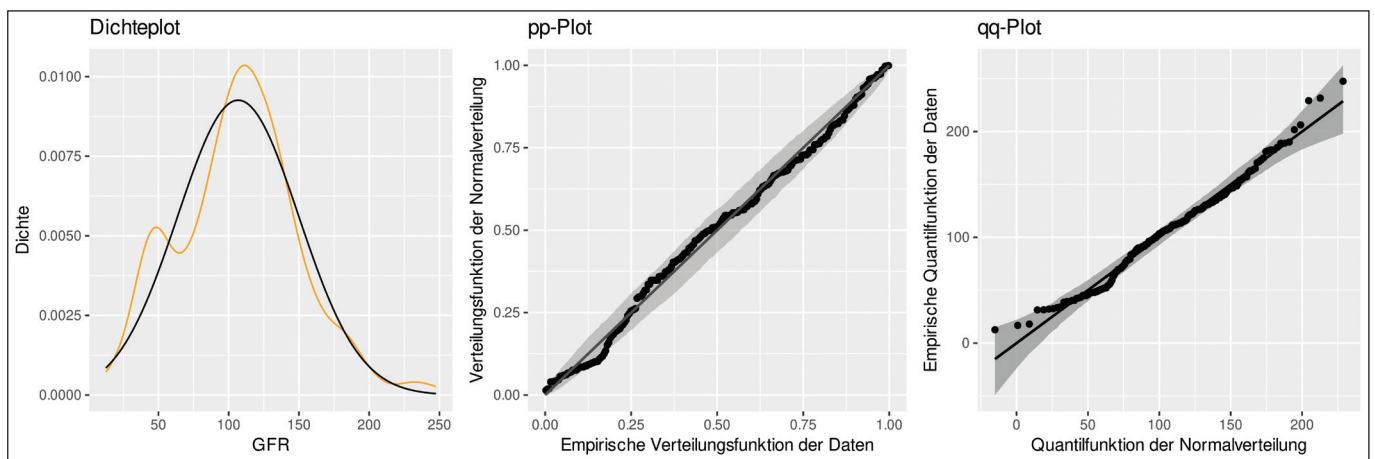


Abb. 11: Vergleich von Dichteschätzung (orange), empirischer Verteilungsfunktion (pp-Plot) und empirischer Quantilfunktion (qq-Plot) der GFR-Daten der Gruppe ohne Intervention (219 Patient:innen) mit einer Normalverteilung (erstellt mit den Paketen qqplotr [10] und ggplot2 [7] der Statistiksoftware R [8])

den, ob eine Verteilungsannahme erfüllt ist oder nicht. Daher ist es wichtig, immer auch fachtheoretische Überlegungen und Recherchen anzustellen, ob für die statistische Analyse notwendige Annahmen plausibel sind.

Für das zweite Datenbeispiel verwenden wir Daten der glomerulären Filtrationsrate (GFR) nach einer Herzoperation mit EKZ, wobei wir drei Gruppen unterscheiden [11]. Eine Gruppe erhielt für eine bessere Verteilung des Blutes zum „venösen Pooling“

zusätzlich Nitroprussid, eine zweite Gruppe zusätzlich Nitroglycerin und eine Gruppe war ohne Intervention. Es liegen Daten von 614 Patient:innen vor (Nitroprussid: 219, Nitroglycerin: 176, ohne Intervention: 219). In Abbildung 9 sind der pp- und qq-Plot für die Nitroprussid-Gruppe zu sehen, wobei sowohl zu viele Punkte (>5 %) außerhalb der Konfidenzbänder liegen als auch Strukturen zu erkennen sind, die denen aus Abbildung 1–7 ähneln. Das Vorliegen einer Normalverteilung muss

daher abgelehnt werden. Wie bereits in [4] besprochen, liegt eine biomodale Verteilung vor, die darauf hindeutet, dass die Nitroprussid-Gruppe inhomogen ist und sich aus mindestens zwei Subgruppen zusammensetzt.

Im Fall der Nitroglycerin-Gruppe zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit der Normalverteilung, wie in Abbildung 10 zu sehen ist. Es liegen alle Punkte innerhalb der 95 %-Konfidenzbänder und es zeichnen sich auch keine auffälligen Strukturen oder Ausreißer ab.

Für die Gruppe ohne zusätzliche Intervention fällt die Entscheidung am schwersten. In der linken Flanke der Verteilung zeigt sich in Abbildung 11 eine Abweichung von der Normalverteilung, die auch klar im pp- und qq-Plot zu sehen ist. Es handelt sich hierbei um eine auffällige Häufung von GFR-Werten im Bereich von ca. 40 bis 55, weshalb auch einige Punkte außerhalb der 95 %-Konfidenzbänder liegen. Streng genommen könnte man dies zum Anlass nehmen, die Normalverteilung abzulehnen. Auf der anderen Seite ist die Fallzahl recht groß und die Abweichung nur moderat. Daher ist davon auszugehen, dass diese Abweichung nur einen sehr geringen Einfluss auf die statistische Analyse hat. Dies bestätigen auch die statistischen Ergebnisse in [11], die für den Vergleich der Nitroglycerin-Gruppe mit der Gruppe ohne Intervention für verschiedene statistische Verfahren nahezu identisch sind (vgl. Abb. 3 in [11]).

Zusammenfassung

pp- und qq-Plots sind wichtige grafische Hilfsmittel, um Unterschiede zwischen zwei Verteilungen zu erkennen. Sie eignen sich sehr gut dafür, zu prüfen, ob ein Datensatz einer bestimmten Verteilung folgt, und damit die Verteilungsan-

nahmen von statistischen Verfahren zu plausibilisieren. In dem man zusätzlich Konfidenzbänder verwendet, kann man außerdem besser beurteilen, ob die beobachteten und zu erwartenden Abweichungen über das zu erwartende Maß von zufälligen Schwankungen hinausgehen. Der pp-Plot ist hierbei etwas schwerer zu interpretieren als der qq-Plot, wobei im pp-Plot üblicherweise Abweichungen im Zentrum der Verteilung besser zu erkennen sind, während der qq-Plot Abweichungen in den Flanken und Ausreißer deutlicher aufzeigt. Generell benötigt es eine gewisse Erfahrung, um diese Plots sicher interpretieren zu können, und gerade bei kleinen bis moderaten Stichprobengrößen ist es immer schwierig Abweichungen zu erkennen und eine zuverlässige Aussage zur Verteilung der Daten zu treffen. In diesem Fall ist es besonders wichtig, immer auch fachtheoretische Überlegungen und Recherchen zu den für die statistische Analyse benötigten Voraussetzungen anzustellen und im Zweifelsfall einen Statistiker zu Rate zu ziehen.

Literatur

1. Kohl M, Münch F. Statistik Teil 8: t-Tests und Alternativen. *Kardiotechnik* 2023 (4): 143-147.
2. Kohl M, Münch F. Statistik Teil 13: Lineare Regression. *Die Perfusionologie* 2025 (1): 26-31.
3. Wilk MB, Gnanadesikan R. Probability plotting methods for the analysis of data. *Biometrika*, 1968. 55(1): 1-17.
4. Kohl M, Münch F. Statistik Teil 15: Histogramm und Dichteschätzung. *Die Perfusionologie* 2025 (3): 121-125.
5. Hedderich J, Sachs L. *Angewandte Statistik. Methodensammlung mit R*. 17. Auflage, 2020. Springer-Verlag.
6. Richardson RAK, Hong SS, Byrne JA, Stoeger T, Amaral LAN. The entities enabling scientific fraud at scale are large, resilient, and growing rapidly. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 2025. 122 (32) e2420092122.
7. Wickham H. *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*, 2016. Springer-Verlag New York.
8. R Core Team. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, 2025. Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
9. Ruckdeschel P, Kohl M, Stabla T, Camphausen F. 54 Classes for Distributions. *R News*, 2006. 6(2), 2-6.
10. Almeida A, Loy A, Hofmann H. ggplot2 compatible quantile-quantile plots in R. *The R Journal*, 2018. 10(2): 248-261.
11. Kohl M, Münch F. Statistik Teil 9: Die 1-Weg ANOVA. *Die Perfusionologie* 2024 (1): 15-20.

Erratum zu

Die Perfusionologie 03/2025 – Statistik Teil 15: Histogramm und Dichteschätzung

Leider haben wir im letzten Teil ein falsches Literaturverzeichnis abgebildet. Hier noch einmal das richtige Literaturverzeichnis für Statistik Teil 15: Histogramm und Dichteschätzung:

Literatur

1. Kohl M, Münch F. Statistik Teil 1: Der Box- und Whisker-Plot. *Kardiotechnik* 2022 (1): 15-17. doi: <https://doi.org/10.47624/kt.031.IFVK8229>.
2. Pearson K. Contributions to the mathematical theory of evolution. II. Skew variation in homogeneous material. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 1895. 186: 343-414.
3. Rosenblatt M. Remarks on some nonparametric estimates of a density function. *The Annals of Mathematical Statistics* 27, 1956. (3): 832-837.
4. Parzen E. On estimation of a probability density function and mode. *The Annals of Mathematical Statistics* 33, 1962. (3): 1065-1076.
5. Hintze JL, Nelson RD. Violin plots: A box plot-density trace synergism. *The American Statistician* 52, 1998. (2): 181-184.
6. Hedderich J, Sachs L. *Angewandte Statistik. Methodensammlung mit R*. 17. Auflage, Springer-Verlag, 2020.
7. R Core Team. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, 2025. Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
8. Sturges HA (1926). The choice of a class interval. *Journal of the American Statistical Association* 21: 65-66.
9. Scott DW. On optimal and data-based histograms. *Biometrika* 66, 1979: 605-610.
10. Freedman D, Diaconis P. On the histogram as a density estimator: L2 theory. *Zeitschrift für Wahrscheinlichkeitstheorie und verwandte Gebiete* 57, 1981: 453-476.
11. Epanechnikov VA. Non-parametric estimation of a multivariate probability density. *Theory of Probability and Its Applications* 14, 1969: 153-158.
12. Wickham H. *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer-Verlag New York, 2016.
13. Sheather SJ, Jones MC. A reliable data-based bandwidth selection method for kernel density estimation. *Journal of the Royal Statistical Society Series B*, 1991. 53: 683-690.
14. Jones MC, Marron JS, Sheather SJ. A brief survey of bandwidth selection for density estimation. *Journal of the American Statistical Association*, 1996. 91(433): 401-407.
15. Kohl M, Münch F. Statistik Teil 9: Die 1-Weg ANOVA. *Die Perfusionologie* 2024 (1): 15-20. doi: <https://doi.org/10.47624/dp.033.OPNF5043>.



Link zu:

**Die Perfusionologie 03/2025 – Statistik Teil 15:
Histogramm und Dichteschätzung**

[https://perfusionologie.de/
publikationen/statistik-teil-15-
histogramm-und-dichteschaeztung/](https://perfusionologie.de/publikationen/statistik-teil-15-histogramm-und-dichteschaeztung/)

Fachhochschule Münster

Geschichte

Seit 2005 bietet der Fachbereich Physikingenieurwesen der Fachhochschule Münster das Wahlmodul Perfusiologie im Rahmen des Masterstudiengangs Biomedizintechnik an. Ursprünglich von Gerhard Lauterbach aus Köln initiiert, übernahm 2014 Jörg Optenhöfel von der Medizinischen Hochschule Hannover die Leitung des Moduls. Aus dieser erfolgreichen Zusammenarbeit entstand die Idee, einen eigenständigen Studienschwerpunkt Perfusiologie an der FH Münster zu etablieren.

Dafür wurde der Hochschulzertifikatskurs „Klinische Perfusion/ Kardiotechnik“ 2020 unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Claus Backhaus und Maximilian Kehmann ins Leben gerufen. Seit Beginn bietet dieser durch die Expertise erfahrener Fachleute ein besonders praxisnahes Lehr- und Ausbildungskonzept. Der Einsatz von Dozierenden direkt aus der klinischen Praxis bietet nicht nur fundiertes Fachwissen, sondern gibt auch praxisbezogene Einblicke in angrenzende Bereiche der Perfusiologie.

Vernetzung und Kooperation

Von Beginn an konnte die FH Münster mit der Medizinischen Hochschule Hannover und dem Herz- und Diabeteszentrum NRW in Bad Oeynhausen zwei renommierte Partner gewinnen. Dozierende beider Häuser decken in den Lehrveranstaltungen essenzielle Themen zu Perfusionsführung und dem Umgang mit kritischen Situationen ab. So findet die Lehre sowohl an der FH Münster als auch direkt in den Kliniken statt. Dadurch wird die Verknüpfung von Theorie und Praxis nachhaltig umgesetzt. Im Laufe der Jahre hat sich das Netzwerk stetig erweitert. Neben den beiden Initialpartnern zählen heute das Universi-

tätsklinikum Münster, das Städtische Klinikum Braunschweig, die Schüchtermann-Klinik Bad Rothenfelde und das Klinikum Oldenburg zu den Ausbildungspartnern. Im Verlauf der Ausbildung durchlaufen die angehenden Perfusionist:innen verschiedene Module vor Ort in den Partnerkliniken. So bieten die Partnerkliniken nicht nur praxisnahe Lehrmöglichkeiten, sondern fungieren auch als Ausbildungsstandorte und stärken den interdisziplinären Charakter der Ausbildung.

Neuer Studiengang

Die Qualität der Ausbildung an der FH Münster wurde 2021 offiziell durch das European Board of Cardiovascular Perfusion (EBCP) bestätigt und die FH Münster als Ausbildungsstandort akkreditiert. Absolvent:innen des Hochschulzertifikatskurses erhalten damit nicht nur ein Zertifikat nach §62 Abs. 4 HG NRW, sondern auch das international anerkannte „European Certificate in Cardiovascular Perfusion“ (ECCP).

2024 ging die FH Münster durch das erstmalige Angebot des berufsbegleitenden Masterstudiengangs „Cardiovascular Perfusion“ (M.Sc.) einen weiteren Schritt in Richtung Akademisierung der Perfusiologie. Dieser weiterbildende Studiengang kombiniert die Inhalte des Zertifikatskurses mit einem zusätzlichen Fokus auf klinische Forschung und wissenschaftliche Arbeit. Im abschließenden Mastersemester widmen sich die Studierenden einem klinischen Forschungsprojekt sowie ihrer Masterarbeit, um nach fünf Semestern den akademischen Titel Master of Science (M.Sc.) in Kombination mit dem ECCP zu erlangen.

Der interdisziplinäre Ansatz des Ausbildungsangebotes bietet angehenden Perfusionist:innen eine breite und fundierte professionelle Basis sowie eine optimale Vorbereitung zur Erlangung des ECCP, mit der Option des akademischen Abschlusses.

Lehreinrichtung	Module
Fachhochschule Münster	Statistik und Wissenschaftliches Schreiben Management im Gesundheitswesen Anästhesie & Intensivmedizin Physikalische Medizin
Medizinische Hochschule Hannover	Perfusion 1 & 2 Herz- & Kinderherzchirurgie
Herz- und Diabeteszentrum NRW	Perfusion 1 & 2 Klinische Grundlagen Anästhesie & Intensivmedizin Gefäß- und Thoraxchirurgie
Städtisches Klinikum Braunschweig	Physikalische Medizin
Schüchtermann Klinik Bad Rothenfelde	Perfusion 1 & 2 Herz- & Kinderherzchirurgie
Klinikum Oldenburg	Basic Life Support & ECMO
Universitätsklinikum Münster	Herz- & Kinderherzchirurgie Basic Life Support & ECMO

Abb. 1: Übersicht der Lehreinrichtungen und ihrer angebotenen Module



Abb. 2: Simulations-OP der FH Münster

Simulations-OP als dritter Lernort

Die FH Münster verfügt über hochmoderne Räumlichkeiten und Ausstattungen, die speziell auf die Anforderungen der Perfusionsausbildung abgestimmt sind. Unter anderem steht ein interdisziplinär nutzbares Intensivzimmer zur Verfügung, in dem Szenarien wie die Behandlung von ECMO-Patient:innen (einschließlich Kombinationen mit Dialyse oder Reanimation) realitätsnah simuliert werden können. Ein Simulations-OP, ausgestattet mit mehreren Herz-Lungen-Maschinen, ermöglicht es Studierenden unter kontrollierten Bedingungen komplexe operative Eingriffe zu erfahren und zu üben. Unsere Simulationseinrichtungen fördern nicht nur die Entwicklung praktischer

Fähigkeiten, sondern bieten auch eine Plattform für experimentelle Forschung und die Erprobung neuer Konzepte.

Forschung und Innovation

In stetiger Zusammenarbeit mit der Deutschen Gesellschaft für Perfusiologie und Technische Medizin (DGPTM) engagiert sich die FH Münster mit ihren Lehrbeauftragten unter anderem im Akademischen und Wissenschaftlichen Beirat sowie bei der Entwicklung und Implementierung von neuen Guidelines und Positionspapieren.

2024 wurde unter federführender Organisation der FH Münster in Zusammenarbeit mit der Akademie für Kardiotechnik, der Hochschule Furtwangen und der Deutschen Gesellschaft für Perfusiologie und Technische Medizin der EBCP-Upgrade-Kurs durchgeführt. Die 13 Teilnehmer:innen des Upgrade-Kurses haben vor der EBCP-Prüfung den jährlich stattfindenden mehrwöchigen online-Vorbereitungskurs der FH Münster besucht. Im letzten Jahr konnte die FH Münster so insgesamt 30 Perfusionist:innen bei der Erlangung des ECCP unterstützen. Eine Anmeldung ist auch für externe Teilnehmer:innen der EBCP-Prüfung möglich.

Auch werden in unserer Einrichtung regelmäßig Forschungsprojekte von Studierenden durchgeführt. Ein solches Projekt stellt aktuell die Entwicklung eines innovativen ECLS-Simulators für den interdisziplinären Einsatz dar. Dieser entsteht in Kooperation mit Klinik- und Industriepartnern und ist speziell auf die Anforderungen des ECLS-Trainings abgestimmt. Das Projekt zielt darauf ab, realitätsnahe Trainingsmöglichkeiten für hochspezialisierte Teams zu schaffen.

Weiterhin wurde hier über den Zeitraum des letzten Jahres die erste gesamtdeutsche Prävalenzerhebung zu Muskel-Skelett-Beschwerden in der Perfusiologie durchgeführt, zu der sich die Ergebnisse gegenwärtig im Prozess der Publikation befinden. Derartige Forschung ermöglicht langfristig den Erhalt und die Verbesserung des Berufsfeldes sowie auch die Festigung wissenschaftlicher Forschung im Bereich der Perfusiologie.

Akademische Ausbildung und internationale Netzwerke

Die Vernetzung von Studium, Praxis und Forschung stellt den besonderen Schwerpunkt der Ausbildung an der FH Münster dar. Die Teilnahme an nationalen und internationalen Konferenzen sowie die enge Zusammenarbeit mit Klinikpartnern und der Industrie ermöglichen sowohl Studierenden als auch Lehrenden, neue Entwicklungen voranzutreiben und aktiv zur Weiterentwicklung der Perfusiologie beizutragen. Ein Beispiel dafür ist die regelmäßige Publikation von Abschlussarbeiten in wissenschaftlichen Journals sowie die aktive Teilnahme an Kongressen.

Mit der Einführung des Masterstudiengangs „Cardiovascular Perfusion“ und den bereits etablierten Ausbildungsstrukturen setzen wir neue Maßstäbe der Aus- und Weiterbildung in der Perfusiologie. Die kontinuierliche Weiterentwicklung der Ausbildungsstandards sowie die gezielte Förderung von interdisziplinären Kompetenzen sichern künftig die hohe Qualität der Ausbildung und der Absolvent:innen bei uns an der FH Münster.

Ansprechpartner:
Studiengangsleiter: Prof. Dr.-Ing. Claus Backhaus
Studiengangsleiter: Maximilian Kehmann, B.Sc.
Website: fh.ms/perfusion
E-Mail: perfusion@fh-muenster.de
Telefon: 02551/962633
Anschrift: Bürgerkamp 3 · 48565 Steinfurt



Abb. 3: Maximilian Kehmann, Prof. Dr.-Ing. Claus Backhaus

Eckdaten Zertifikatskurs		
Abschluss:	Hochschulzertifikat, ECCP	
Kursgröße:	20 Personen	
Sprache:	Deutsch	
Regelstudienzeit:	4 Semester	Abb. 4: www.fh.ms/perfusion
Vorlesungsbeginn:	Oktober	
Format:	Berufsbegleitende Präsenzveranstaltungen an der FH Münster und in unseren Partnerkliniken	
Kosten:	4.000 € pro Semester	
Zugangsvoraussetzungen		
• ein berufsqualifizierender Hochschulabschluss (Bachelor, Master, Diplom) im Bereich Biomedizinische Technik, Medizintechnik oder einem artverwandten Studiengang oder • eine abgeschlossene Ausbildung zum/zur Notfallsanitäter:in, Krankenpfleger:in oder einem vergleichbaren Berufsabschluss im medizinischen Bereich und Berufserfahrung in der Kardiotechnik/Perfusiologie • ein gültiger Ausbildungs- oder Arbeitsvertrag als Perfusionist:in		
Eckdaten Masterstudium		
Abschluss:	Master of Science (M.Sc.), ECCP	
Kursgröße:	20 Personen	
Sprache:	Deutsch	
Regelstudienzeit:	5 Semester	
Vorlesungsbeginn:	Oktober	
Format:	Berufsbegleitende Präsenzveranstaltungen an der FH Münster und in unseren Partnerkliniken	
Kosten:	4.000 € pro Semester	
Zugangsvoraussetzungen		
• ein berufsqualifizierender Hochschulabschluss (Bachelor, Master, Diplom) im Bereich Biomedizinische Technik, Medizintechnik oder einem artverwandten Studiengang • ein gültiger Ausbildungs- oder Arbeitsvertrag als Perfusionist:in		

Kongressnotiz BMT 2025

Die 59. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Biomedizinische Technik (DGBMT) war in diesem Jahr vom 9. bis 11. September als Drei-Länder-Tagung gemeinsam mit der Österreichischen und der Schweizer Gesellschaft für Biomedizinische Technik in Muttenz/Basel organisiert. Der Kongress fand auf dem beeindruckenden Campus der Fachhochschule Nordwestschweiz – FHNW Campus Muttenz – statt.

Themenschwerpunkte waren

- Digital Health & KI in der Medizin
- nachhaltige und klimabewusste Medizintechnik
- Telemedizin & Robotik
- Regulatorik & MDR
- Biokompatibilität und Nanotechnologien
- Implantattechnologie, Simulation & Bildgebung.

Besonders zu erwähnen ist die sehr erfolgreich durchgeführte Joint Session zwischen der Gesellschaft für Perfusiologie und Technische Medizin (DGPTM) und der DGBMT, die von Herrn Prof. Wenzel, (Hochschule Furtwangen) initiiert wurde. Eingeleitet wurde die Sitzung gemeinsam durch Herrn Prof. Dr. Karsten Seidl (Präsident der DGBMT), Herrn PD Dr. habil. Frank Münch (Präsident der DGPTM) und Herrn Prof. Dr. Folker Wenzel.



Es entstanden spannende Gespräche über die Schnittstellen zwischen Biomedizinischer Technik und Perfusiologie. Vor allem die Bedeutsamkeit der Technischen Medizin wurde im gut besuchten Hörsaal vielfältig beleuchtet. Herr Prof. Seidl wird erfreulicherweise auch auf der kommenden Internationalen Jahrestagung der DGPTM anwesend sein und in der Funktion als Co-Chair einer Joint Session zwischen DGBMT und DGPTM fungieren.

Dr. Lars Saemann, Leitung wissenschaftlicher Beirat DGPTM

12th International Meeting on Ageing & 12th Cardiovascular Research Days

Bei spätsommerlicher Atmosphäre wurden vom 12. bis 14. September 2025 von der Universitätsklinik und Poliklinik für Herzchirurgie, Universitätsklinikum Halle, die Cardiovascular Research Days und das International Meeting on Ageing gemeinsam ausgerichtet. Das Thema Altern stellt in der Universitätsmedizin Halle einen von zwei klinischen und auch wissenschaftlichen Schwerpunkten dar. Während das International Meeting on Ageing in Halle (Saale) dementsprechend seit vielen Jahren Tradition hat, fanden die Cardiovascular Research Days zum ersten Mal in Halle (Saale) statt.

Es wurde ein vielfältiges und sehr ansprechendes wissenschaftliches Programm zusammengestellt, das grundlagenwissenschaftliche und klinische Themen umfasste. Das gemeinsame Motto des Kongresses lautete „Stress Resilience: From Molecular Cardiovascular Biology to Clinical Application“ und wurde von zahlreichen hochkarätigen nationalen

und internationalen Sprechern mit interessanten Vorträgen adressiert. Einen Schwerpunkt der Tagung bildeten auch Themen der Perfusiologie und Technischen Medizin, und zwar im Rahmen der mechanischen Kreislaufunterstützung und neuer Technologien in der Rhythmologie. Höhepunkt der Tagung war die Verleihung des Schober Awards, in Gedenken an Karl-Ludwig Schober, für herausragende Leistungen auf dem Gebiet der Forschung des Alterns an Frau Prof. Dr. Andrea Britta Maier (Singapur), begleitet durch eine Laudatio, gehalten von dem vorherigen Empfänger des Schober Awards Prof. Dr. James Kirkland (USA).

Das Team rund um die beiden Tagungspräsidenten Prof. Dr. Andreas Simm und Prof. Dr. Gábor Szabó sowie den Tagungssekretär Dr. Lars Saemann, blickt auf einen erfolgreichen und spannenden Kongress zurück.

Dr. Lars Saemann, Leitung wissenschaftlicher Beirat DGPTM



DTG-Jahrestagung in Essen unter dem Motto: Innovative Technologien und patientenzentriertes Engagement im Fokus der modernen Transplantationsmedizin

Auf der 34. Jahrestagung der Deutschen Transplantationsgesellschaft e. V. (DTG) vom 9. bis 11. Oktober 2025 in der Essener Philharmonie steht in diesem Jahr die Förderung innovativer Technologien und Therapieansätze in der Transplantationsmedizin im Vordergrund. Auch die pädiatrische Transplantation ist in diesem Jahr ein Schwerpunkt des bundesweit größten Kongresses zur Transplantationsmedizin. Die DTG ist eine medizinisch wissenschaftliche Fachgesellschaft, die in ihrer multidisziplinären Mitgliederstruktur aus den Fachgebieten der Chirurgie, Inneren Medizin, Urologie, Anästhesiologie, Immunologie mit vielen weiteren Unterstützern (u.a. der Perfusiologie) sowie Patientenvertretungen besteht, die sich zum Ziel gesetzt hat, die Transplantationsmedizin in Deutschland in organisatorischer, klinischer und wissenschaftlicher Hinsicht zu fördern. Mit Vertreter:innen des Vorstandes ist sie in die Arbeit der Ständigen Kommission Organtransplantation (StäKO) eingebunden. Daneben ist sie vertreten in Richtlinienkommissionen bei der Bundesärztekammer, im Stiftungsrat der DSO, in den verschiedenen Gremien von Eurotransplant, bei der sektorenübergreifenden Qualitätssicherung (IQTIG) und beim neu eingerichteten Transplantationsregister. Die DTG fordert die Politik auf, neben der Unterstützung von Innovationen, die Situation der Organspende durch die Einführung einer Widerspruchsregelung zu verbessern.

Innovative Entwicklungen in der Transplantationsmedizin sind neben Robotik und Digitalisierung natürlich die „Maschinenperfusion“, die zunehmend an Bedeutung gewinnt. Unter Maschinenperfusion versteht man hierbei die „Ex-vivo-Organperfusion“, um Organschädigungen zu minimieren und das Transplantationsergebnis zu verbessern. Besonders spannend für mich als Perfusionist war es, über die vielen Ideen und Möglichkeiten zur Revalidierung von Organen, die nur bedingt geeignet sind, Informationen zu sammeln. Nur durch die Ex-vivo-Organperfusion wird hier Qualitätsverbesserung geschaffen. Als positiver Nebeneffekt könnte sogar der Spenderpool erweitert werden. Am 19. Januar 2026 wird durch die Deutsche Stiftung Organspende (DSO), wie vom Gesetzgeber gefordert, die kalte Maschinenperfusion für die Niere als erstes Organ bundesweit flächendeckend mit einem

einheitlichen System eingeführt. Dies gilt als Pilotprojekt für die Erweiterung und Einführung der Maschinenperfusion. In den 4 Tagen der DTG-Jahrestagung in Essen wurde im interdisziplinären Austausch auf Augenhöhe über Themen wie innovative Ansätze in der Robotik und Digitalisierung, kombinierte Transplantation, neue Erkenntnisse zur Xenotransplantation, aber auch die gesellschaftlichen Fragen der Organspende-Awareness diskutiert. Es bestand auch die Möglichkeit sich im Rahmen der Aktion „Leben schenken“ ein kostenloses Organspende-Tattoo durch einen professionellen Tätowierer in Kooperation mit dem Verein Junge Helden e. V. stechen zu lassen, was von vielen Teilnehmenden angenommen wurde.

Zusammenfassend durfte ich in vielen Gesprächen wahrnehmen, dass wir Perfusionist:innen ein idealer und gerne gesehener Partner für die Transplantationschirurgie wären. Viele sehen hier den goldenen Weg über die Zentralisierung und Organ Care-Center, ähnlich wie in anderen europäischen Ländern. Mit der aktuellen dezentralisierten Struktur können qualitativ hochwertige Maschinenperfusionsen nicht realisiert werden. Darüber waren sich ausnahmslos alle Akteure einig. Ein spannendes Arbeits- und Forschungsgebiet tut sich für uns Perfusionist:innen hier auf, welches wir als DGPTM gerne mit unterstützen und begleiten wollen. Die neu formierte AG Ex-vivo-Organperfusion, die sich aktuell aus fünf Perfusionist:innen, Vertretern der DSO sowie Transplantationschirurg:innen aller Organe zusammensetzt, hat sich als erstes Ziel gesetzt, ein Ausbildungspaper für die Ex-vivo-Perfusion nach dem Vorbild des ECLS-Ausbildungspapers zu erarbeiten. Neben diesen Themen sind Ressourcen, Perspektiven, Strukturen und Kosten für Personalbereitstellung zu klären. Prof. Sven Maier hat das Thema Ex-vivo-Organperfusion für Perfusionist:innen in den zukünftigen Lehrplan an der Hochschule Furtwangen aufgenommen und baut so Kompetenzen für nachfolgende Kolleg:innen auf. Weitere Angebote, wie Ringvorlesungen, Webinare (Fachgesellschaft-übergreifend) oder sogar Stipendien sind für die Zukunft denkbar, um das Thema in die Breite zu überführen und unseren Beruf noch attraktiver zu gestalten.

Der nächste DTG-Kongress findet vom 03. bis 05. Dezember 2026 in Leipzig statt und ich kann interessierten Perfusionist:innen nur empfehlen, daran teilzunehmen. Es hat mir persönlich die Augen für das Thema Organtransplantation und die vielfältigen Möglichkeiten für Perfusionist:innen über die Herzmedizin hinaus geöffnet.

Euer Frank Münch

Life Systems

the perfusion specialists

Life Systems – seit 30 Jahren erfolgreich in der Perfusion

Seit drei Jahrzehnten sorgt Life Systems für kardiotechnische Vollversorgung. Ob im Operationssaal, auf der Intensivstation oder im Training – der Anspruch ist klar: Höchste Patientensicherheit in der Perfusion. Dafür bündeln wir Kompetenz, Erfahrung und Innovation in einem ganzheitlichen Leistungsportfolio, das Kliniken nachhaltig entlastet und unterstützt.

Was 1995 mit einer klaren Vision begann, hat sich zu Deutschlands größtem Dienstleister im Bereich der Perfusion entwickelt – mit einem starken Team, das täglich für die bestmögliche Versorgung unserer Patient:innen sorgt.

Heute betreuen wir mit über 110 klinisch tätigen Perfusio-nist:innen über 14 Abteilungen in Kliniken in ganz Deutschland und begleiten jährlich über 15.000 Eingriffe mit und ohne Einsatz der Herz-Lungen-Maschine, mit Know-how, Erfahrung und moderner Technik.

Darüber hinaus arbeitet Life Systems im Netzwerk mit Kliniken, medizinischem Fachpersonal und Herstellern daran, die Qualität der Versorgung stetig zu verbessern.

Personal, Technik, Material – alles aus einer Hand

Umfassende Versorgung bedeutet mehr als klinische Präsenz. Life Systems sorgt auch hinter den Kulissen für reibungslose Abläufe:

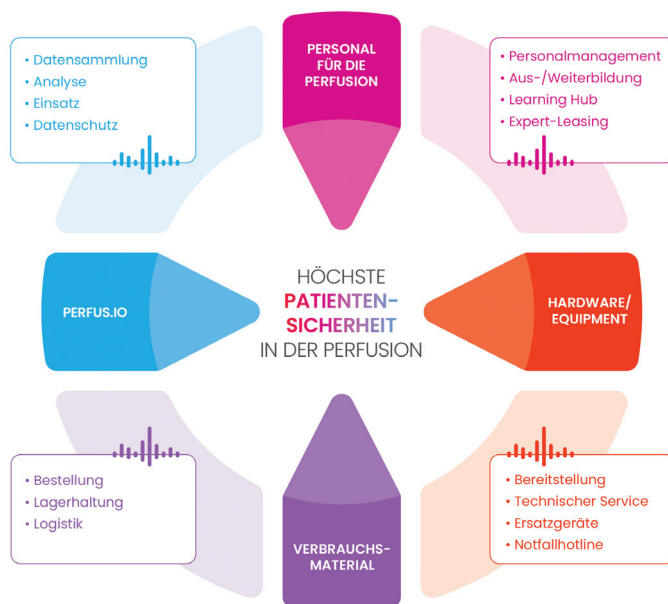
- Personal für die Perfusion – von Personalmanagement über Expert-Leasing bis hin zu Aus- und Weiterbildung.
- Hardware & Equipment – inklusive Bereitstellung, technischem Service, Ersatzgeräten und Notfallhotline.
- Verbrauchsmaterial – mit professioneller Bestellung, Lagerhaltung und Logistik.

Damit entlastet Life Systems Kliniken auf allen Ebenen der Perfusion – zuverlässig, planbar und mit höchstem Qualitätsanspruch.

perfus.io – Daten intelligent nutzen

Obwohl auch Medizin von Digitalisierung und KI immer stärker geprägt wird, gehen immer noch viele Daten im klinischen Alltag verloren oder werden in unterschiedlichen, voneinander getrennten Systemen gespeichert. Life Systems möchte dies ändern:

- Strukturierte Datensammlung & Analyse.
- Optimierte Behandlungsqualität – Trends, Auffälligkeiten und Zusammenhänge werden sichtbar und fließen direkt in die Optimierung der Versorgung ein.
- Perfusion 4.0 – die Verbindung mit klinischem Know-how stellt sicher, dass Daten nicht nur gesammelt, sondern aktiv zur Verbesserung der Therapie genutzt werden.
- DSGVO-Konformität.



Learning Hub – Simulationstraining auf höchstem Niveau

Wissen und Können sind entscheidend für die Sicherheit am Patienten. Mit dem Life Systems Learning Hub schaffen wir ein Trainingszentrum, das Aus- und Weiterbildung ganzheitlich und realistisch ermöglicht.

- Simulationstraining bereitet Fachkräfte praxisnah und risikofrei auf komplexe Szenarien vor.
- Mehr Patientensicherheit durch Übung unter realitätsnahen Bedingungen.
- Gestärkte Kompetenz & Teamarbeit – Fehler werden analysiert, Kommunikation und Zusammenarbeit optimiert.
- Kontinuierliche Qualifizierung – immer am neuesten Stand von Verfahren und Technologien.

Das Ziel: Sicherheit in der Patientenversorgung, Qualität bei unseren Dienstleistungen, Zukunftsorientierung bei Technologien

30 Jahre Life Systems – das sind 30 Jahre voller Engagement, Teamgeist und Innovationsfreude. Wir danken allen Mitarbeitenden, Partnern und Wegbegleitern, die diesen Weg mit uns gegangen sind.

Ihr Vertrauen und Ihre Unterstützung sind der Grundstein unseres Erfolgs!

Life Systems – für höchste Patientensicherheit in der Perfusion. Heute, morgen, seit 30 Jahren.

CDI OneView™ – die nächste Generation der führenden Blutparametermonitoring-Plattform von Terumo

Nun ist es so weit. Terumo Cardiovascular, einer der weltweit führenden Anbieter im Bereich der Perfusiologie, hat das Blutparametermonitoring-System CDI komplett überarbeitet und durch neue Funktionen ergänzt. Diese CDI OneView™ genannte Systemplattform der nächsten Generation bietet Einblick in wichtige Patientenparameter während kardiopulmonaler Bypass-Operationen und ist ein Meilenstein für die Perfusionsicherheit und die Verbesserung des Patienten-Outcomes.

CDI OneView überwacht bis zu 22 wichtige Patientenparameter während der extrakorporalen Zirkulation. Neu davon sind: gemessener Fluss (Q), Herzindex (CI), regionale, zerebrale Sauerstoffsättigung (rSO₂), Sauerstoffextraktionsverhältnis (O₂ER), die Fläche unter der DO₂-Kurve (AUC) und gemessene arterielle Sauerstoffsättigung (SaO₂).

Dieses innovative System ist frei konfigurierbar und bietet maximale Flexibilität bei der Anzeige der Messwerte. So kann es den klinischen Anforderungen sowie den Prioritäten und Präferenzen des klinischen Teams optimal gerecht werden. Alle Parameter stehen in Echtzeit und mit der gewohnten Genauigkeit zur Verfügung und erlauben schnelle Anpassungen der Einstellungen der Herz-Lungen-Maschine, um eine bestmögliche und physiologische Perfusion für Patien:innen zu erreichen.

Das Design und die neuen Funktionen des CDI OneView-Monitoringsystems wurden durch umfangreiches Feedback von Perfusionist:innen aus weltweit führenden Herzzentren mitbestimmt. Das System ist komplett modular aufgebaut und erlaubt den Anschluss zusätzlicher Systemkomponenten oder den Austausch bestehender Komponenten durch den Anwender innerhalb weniger Minuten.



Abb. 1: Komponenten des CDI OneView-Monitoringsystems

Als Reaktion auf die wachsenden Anforderungen von Gesundheitsdienstleistern bietet das neue CDI OneView-Monitoringsystem nun mehrere Parameter der „Goal Directed Therapy“: Echtzeit-Informationen zu O₂ER, CI, VO₂ und DO₂, die den Perfusionist:innen helfen, sichere Werte für diese Parameter einzuhalten. Unabhängige klinische Studien zeigen, dass die Aufrechterhaltung optimaler Werte während einer kardiopulmonalen Bypass-Operation dazu beitragen kann, das Auftreten von akutem Nierenversagen und Hyperlaktatämie zu reduzieren [1,2].

CDI OneView ist seit dem letzten Jahr auf dem amerikanischen Markt zugelassen und bereits in vielen Herzzentren im Einsatz. Die MDR-Zulassung für den europäischen Markt steht kurz bevor und die Installation der ersten Geräte wird noch vor Ende des Jahres erwartet.



Abb. 2: Erste klinische Benutzung des CDI OneView im Baylor University Medical Center, Dallas, USA



Für weitere Informationen zu dem CDI OneView-Monitoringsystem und Anfragen stehen wir unter elke.bednar@terumo-europe.com gerne zur Verfügung, oder besuchen Sie unsere **MyOneView™ Portal**-Seite. Einfach den QR-Code scannen.

©Terumo Deutschland GmbH CV480DE 09.25 TCV-I(09.25)E. Die hierin/hierauf verwendeten Firmennamen und Markennamen sind Marken oder eingetragene Marken der TERUMO CORPORATION, ihrer Tochtergesellschaften oder unabhängiger Dritter.

1. Oshita T, et al. A better predictor of acute kidney injury after cardiac surgery: the largest area under the curve below the oxygen delivery threshold during cardiopulmonary bypass. J Am Heart Assoc. 2020;9: e015566. DOI: 10.1161/JAHA.119.015566.
2. Condello I, et al. Association between oxygen delivery and cardiac index with hyperlactatemia during cardiopulmonary bypass. JTCVS Techniques. 2020; Vol 2: 92-99.

A Clinical Comparison of the Effects of Six Disposable Bypass Circuits on Bleeding and Coagulation: A Quality Assurance Project

S. Takhar, S. Martinez-Perez, B. Beairisto, et. al
 Can J Anesth/J Can Anesth 2025. 72:319-333.
 doi: <https://doi.org/10.1007/s12630-024-02903-1>

Die Auswahl einer geeigneten Oxygenator-Schlauchset-Kombination für den täglichen Gebrauch in der Klinik muss viele Anforderungen erfüllen. Neben der Verfügbarkeit gilt es heutzutage auch den potenziellen Einfluss der verwendeten Systeme hinsichtlich der Blutgerinnung und der möglichen notwendigen Gabe von Blutprodukten postoperativ zu untersuchen.

Die Autoren dieses Artikels haben zu diesem Zweck sechs Oxygenator-Schlauchset-Kombinationen vier verschiedener Hersteller untersucht. Der primäre Endpunkt der Studie war hierbei die Erfassung des Einflusses auf die Hämostaseologie gemäß des Universal Definition of Perioperative Bleeding Score (UDPB). Bei diesem Score wird das intraoperative Blutungsverhalten mit Punkten bewertet, so ist z. B. eine moderate oder verstärkte Blutungsneigung nach Abgang von der Herz-Lungen-Maschine, ohne dass der Zeitraum bis zum Sternumverschluss verlängert wird, mit ≥ 2 Punkten bewertet. Der zweite Endpunkt der Studie war die Gabe von Blutprodukten bis zum siebten postoperativen Tag. Des Weiteren wurden

alle Komplikationen, wie z. B. das Auftreten eines Schlaganfalls, bis zum siebten postoperativen Tag erfasst. Es wurden in einem Zeitraum von zwölf Monaten insgesamt 872 Patient:innen untersucht. Pro getestetes System wurden zwischen 120 bis 186 Patient:innen untersucht. Die demografischen Daten zwischen den einzelnen Gruppen unterschieden sich nicht.

In der ersten statistischen Auswertung fanden sich keine Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen. Erst bei der angepassten Analyse, d. h. bei der Zuordnung zu einem bestimmten Chirurgen oder einer Prozedur, fanden sich Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen.

Trotz der gefundenen Differenzen wies die Studie einige Limitationen auf. So spiegelten sich z. B. die gefundenen Unterschiede hinsichtlich der Gerinnungsparameter in der Labordiagnostik in den Ergebnissen der Point-of-Care-Analyse nicht wider. Diese sind wahrscheinlich für eine statistische Aussage nicht sensitiv genug.

Außerdem wurden die Ergebnisse dadurch beeinflusst, dass die Studie als nicht randomisierte Single Center Studie durchgeführt wurde sowie durch den Fakt, dass trotz einer festgelegten Vorgehensweise hinsichtlich des intraoperativen Gerinnungsmanagements die letztendliche Entscheidung über die Gerinnungstherapie bei dem behandelnden Anästhesisten lag.

In der Zusammenfassung ihrer Studie kamen die Autor:innen zu dem Ergebnis, dass alle untersuchten Systeme verschiedene Effekte auf die Blutgerinnung und damit auch auf das postoperative Blutungsrisiko haben. Die Einschränkungen dieser Studie lassen die Autoren jedoch davon absehen, Entscheidungen aufgrund der erhobenen Datenlage zu treffen. Hierzu sind weitere Studien in der Zukunft notwendig.

Marc Wollenschläger, Bad Nauheim

Besondere Aspekte von Patient:innen mit va ECMO auf dem Weg zur Organspende

E. Tautz, J. Lambeck, K. M. Lucking, D. Bettinger, M. Zinner, A. Supady, et al.
 Anaesthesiologie 2025. Vol. 74, Issue 7, Pages: 453-459.
 doi: [10.1007/s00101-025-01550-5](https://doi.org/10.1007/s00101-025-01550-5)

Organtransplantation ist abhängig von der Verfügbarkeit geeigneter Spenderorgane. Als potenzielle Organspender kommen auch Patient:innen in Betracht, die mit Hilfe einer ECMO (extrakorporale Membranoxygenierung) unterstützt werden. Insbesondere in der Wirkweise und den pathophysiologischen Wechselwirkungen der va ECMO (veno-arteriellen ECMO) sind Chancen und Risiken für die Eignung potenzieller Spenderorgane begründet, die von Tautz et al. in ihrem Artikel näher beleuchtet werden.

Bekanntermaßen ist die Nutzung mechanischer kreislaufunterstützender Verfahren, insbesondere die va ECMO, mit hohen Risiken, signifikanter Morbidität und auch einer relativ hohen Mortalität verbunden. Die Überlebensrate der mittels ECPR [1] (extracorporeal cardiopulmonary resuscitation)

unterstützten Patient:innen liegt dabei noch einmal deutlich niedriger. Gleichzeitig sind so behandelte Patient:innen in der Regel engmaschig überwacht und es können, bei sich abzeichnender infauster Prognose, zeitnah und in gewissem Rahmen auch planbar, die für die Diagnose des Hirntods notwendigen Untersuchungen durchgeführt werden. Gleichzeitig ist es möglich, Organe, welche ohne Einsatz der ECMO durch die pathologischen Vorgänge im Sterbeprozess Schaden nehmen würden, aktiv zu schützen.

Das Auftreten differenzieller Perfusionsströme durch die hämodynamische Wechselwirkung an va ECMO (Harlequin [2]- & RIDDLER [3]-Syndrom, Hypo- und Hyperoxämie, usw.) hat distinkte Auswirkungen auf die Verwertbarkeit der Untersuchungen der Hirntoddiagnostik. Auch eine mögliche Schädigung der potenziellen Spenderorgane, insbesondere der Nieren durch hyperoxämischen Stress [4], aber auch die frühzeitige Erkennung von Mesenterialischämien und der hypoxischen Hepatitis untermauern die klare Notwendigkeit fachlich gut ausgebildetes Personal einzubinden, um ein optimales Ergebnis zu erreichen.

Die Beachtung der veränderten Anforderungen der Hirntod-

diagnostik ist für eine erfolgreiche, ethisch korrekte wie rechtlich einwandfreie Organspende notwendig. Insbesondere bei Einsatz der ECPR ist der Übergang zu der in Deutschland legislativ unzulässigen Organspende nach zirkulatorischem Tod fließend [5]. Daher ist es notwendig, den Einsatz mechanischer Kreislaufunterstützungsverfahren für die Vorbereitung der Organspende klar zu strukturieren – mit einheitlichen Kriterien zu Indikation, Wahl und Umfang der Therapieform sowie den zusätzlich durchzuführenden Untersuchungen.

Bei adäquatem Ablauf sowie unter Berücksichtigung der im Artikel ebenfalls erläuterten Besonderheiten zu der Prophylaxe oder Therapie potenziell geschädigter Organsysteme unterscheiden sich die Ergebnisse der Organspende nach Unterstützung durch *va* ECMO nicht zwingend von der Überlebensrate ‚regulär‘ gespendeter Organe. Schlechtere Ergebnisse finden sich, der Pathophysiologie der Indikationen von *va* ECMO und ECPR folgend, in einer geringeren Spenderate von Herzen sowie einem schlechteren Transplantatüberleben von Lungen.

Die Therapie potenzieller Organspendender unter *va* ECMO-Unterstützung ist komplex, ressourcenintensiv, belastend für das Personal und mit ungewissem Ausgang, aber auch mit großen Chancen verbunden. Tautz et al. stellen all dies in ihrem Artikel eindeutig dar und bieten so eine Referenz für diejenigen, die durch eine organprotektive Therapie den Patientenwunsch der Organspende aktiv unterstützen wollen.

Andreas Teske, Universitätsklinikum Erlangen

1. Supady A. ECPR-the evolving role in cardiac arrest. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 2024; 119 (Suppl 2):71-7.
2. Wilson J, Fisher R, Caetano F, Soliman-Aboumarie H, Patel B, Ledot S, et al. Managing harlequin syndrome in VA-ECMO – do not forget the right ventricle. *Perfusion*. 2022;37(5):526-29.
3. Croome KP, Barbas AS, Whitson B, Zarrinpar A, Taner T, Lo D, et al. American Society of Transplant Surgeons recommendations on best practices in donation after circulatory death organ procurement. *Am J Transplant*. 2023;23(2):171-79.
4. Dai N, Gu J, Luo Y, Tao Y, Chou Y, He Y, et al. Impact of hyperoxia on the gut during critical illnesses. *Critical Care*. 2024;28(1).
5. Hunt F, Johnston CJC, Coutts L, Sherif AE, Farwell L, Stutchfield BM, et al. From haphazard to a sustainable normothermic regional perfusion service: A blueprint for the introduction of novel perfusion technologies. *Transpl Int*. 2022; 35:10493.

The Safety of Cell Saver Washing all Shed Mediastinal Blood before Retransfusing it to the Patient



S. Scicluna, M. Dencker, H. Bjursten
Perfusion 2024.
doi: 10.1177/02676591241297545.

Der aus dem beruflichen Alltag bekannten und fortbestehenden Fragestellung nach dem Umgang mit anfallendem Kardiotomieblut widmen sich die Autoren des vorliegenden Artikels. Die Studie der Skåne Universitätsklinik in Schweden untersucht, ob bei CABG-Operationen ein vorheriges Waschen des Kardiotomieblutes mit Hilfe des Cell Savers eine sichere Alternative zur direkten Retransfusion bietet. Wenn auch nicht im Umfang wie bei offenen Herzoperationen, so fällt auch bei CABGs Kardiotomiesaugerblut an, welches Mikroembolien, Zytokine und freies Hämoglobin enthält. Bei der direkten Retransfusion durch den Maschinensauger kommt es zu einer Kreislaufreaktion, bei der der systemische Gefäßwiderstand um bis zu 28 % fällt. Auswirkungen dieser direkten Retransfusion auf das postoperative Outcome sind bislang weitgehend ungeklärt.

Es handelt sich um eine retrospektive Single-center-Studie, welche Daten von 1671 Patienten über einen Drei-Jahres-Zeitraum hinweg untersuchte. Zum Erreichen der Vergleichbarkeit der Stichproben im Hinblick auf EuroSCORE und Basischarakteristika wurde ein Propensity Score Matching angewandt, nach dem insgesamt 386 Datensätze einbezogen wurden (198 pro Gruppe).

Als primäre Endpunkte wurden Transfusionsbedarf, postoperative Komplikationen (Schlaganfall, mediastinale Infektionen, Vorhofflimmern, Re-Operationen), CRP/ASAT, Intensivaufenthalt sowie 30- und 365-Tages-Mortalität untersucht. Obwohl es sich insgesamt um eine große Kohorte handelt, fällt auf, dass die Gruppe, deren Blut vor der Retransfusion mit dem

Cell Saver gewaschen wurde (*n* = 218), deutlich kleiner ist und ausschließlich von einem einzigen Chirurgen operiert wurde, während die Vergleichsgruppe (*n* = 1453) von insgesamt zwölf Chirurgen behandelt wurde.

Sowohl das Studiendesign und die statistischen Verfahren als auch das einheitlich protokollarische Vorgehen in Anästhesie- und Perfusionsführung werden vollständig nachvollziehbar dargestellt. Limitationen wie das retrospektive Single-center-Design und die ungleiche Gruppenverteilung, werden ebenfalls transparent benannt. Hinsichtlich der Endpunkte Mortalität, Schlaganfall, Infektionen und ITS-Aufenthalt zeigten sich keine signifikanten Unterschiede. Dagegen wies die Cell Saver-Gruppe am 2. und 4. postoperativen Tag signifikant niedrigere CRP- und ASAT-Werte sowie einen geringeren Bedarf an Thrombozytentransfusionen auf. Obwohl die Cell Saver-Gruppe signifikant mehr Volumenersatz benötigte, waren die Hb-Werte am 4. postoperativen Tag vergleichbar und es konnte kein erhöhter Bedarf an Erythrozytenkonzentraten nachgewiesen werden. Die Autoren interpretieren die niedrigeren Entzündungsmarker als Zeichen einer geringeren systemischen Inflammation und erklären dies als pathophysiologisch plausibel. Den beschriebenen Effekt konnten bereits weitere Studien wie die von Damgaard et al. im Jahr 2010 nachweisen [1].

Während die hier behandelte Studie von Scicluna et al. nahelegt, dass der Einsatz des Cell Savers sicher ist und wahrscheinlich Vorteile wie eine geringere Tendenz zu Entzündungsreaktion und weniger Thrombozytentransfusionen bringt, berichtet eine Studie von Reyhancan et al. [2] über mögliche Nachteile wie ein höheres Drainagevolumen, längere Drainagedauer, erniedrigte Thrombozytenzahl und verlängerten Krankenhausaufenthalt. Hier zeigt sich exemplarisch die bestehende widersprüchliche Evidenzlage, auch im Hinblick auf die Effizienz des Cell Savers, deren Untersuchung bereits Jahrzehnte zurückgeht [3]. Auch wenn einige Ergebnisse der schwedischen Studie statistisch signifikant sind (z. B. niedrigere CRP-Werte oder ge-

ringerer Bedarf an Thrombozytentransfusionen in der Cell Saver-Gruppe), bleibt ihre klinische Bedeutung fraglich, da harte Endpunkte wie Mortalität, Schlaganfall oder ITS-Verweildauer keine statistische Signifikanz erreichen konnten. Eine weitere Fragestellung ist die nach einer Kosten-Nutzen-Abwägung, da der Einsatz eines Cell Savers mit zusätzlichem Zeit-, Material- und Personalaufwand verbunden ist. Die Stärken der vorliegenden Studie liegen in einer relativ großen Kohorte mit langem Nachbeobachtungszeitraum sowie die gute Transparenz der Methodik. Schwächen existieren in Form des retrospektiven Designs und des Ungleichgewichts der Operateure im Gruppenvergleich mit potenziell unterschiedlichen Techniken. Außerdem wurden zahlreiche Patienten von der Studie durch das Matching-Verfahren ausgeschlossen, das durch die heterogene Grundgesamtheit notwendig war.

Im gelungenen Diskussionsteil werden die Ergebnisse kritisch eingeordnet und umfangreich mit vergleichbaren Studien in Bezug gebracht. Außerdem werden alternative Handlungsoptionen wie das Verwerfen von Kardiotomieblut oder der vollständige Verzicht auf Maschinensauger angesprochen und kritisch betrachtet. Die Studie von Scicluna et al. zeigt, dass der

Cell Saver im elektiven CABG-Setting sicher eingesetzt werden kann. Ob die beobachteten Unterschiede klinisch relevant sind, bleibt allerdings fraglich. Betrachtet man auch die potenziellen Nachteile des Cell Savers, erscheint ein selektiver Einsatz weiterhin sinnvoll, während eine routinemäßige Anwendung als Alternative zum Maschinensauger nicht durch aktuelle Evidenz gestützt werden kann. Perioperatives Blutmanagement bleibt ein wichtiges, spannendes sowie kontroverses Thema für die Herzchirurgie und Perfusiologie.

Die Autoren geben keine Interessenkonflikte an. Der Volltext ist über einen Zugang bei sage-publishing erhältlich.

Benjamin Haupt, Rajko Geldmacher, Berlin

1. Damgaard S, Nielsen CH, Andersen LW, Bendtsen K, Tvede M, Steinbrüchel DA. Cell saver for on-pump coronary operations reduces systemic inflammatory markers: a randomized trial. *The Annals of thoracic surgery* 2010, 89(5), 1511–17. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2010.02.003>
2. Reyhancan A, Büyükdalı M, Koçak E, Güçlü O, Hüseyin S, Canbaz S. Use of cell saver in elective coronary bypass surgery: What do we risk when saving blood? *Journal of clinical medicine* 2025, 14(12), 4230. <https://doi.org/10.3390/jcm14124230>
3. Wang MJ, Chen TL, Huang CH, Chao A, Chu SH. Difference in efficacy of the Cell Saver in coronary bypass grafting surgery and cardiac valvular reoperations. *Journal of the Formosan Medical Association = Taiwan yi zhi* 1994, 93(2), 117–121.

Development and Validation of a Checklist for Cardiopulmonary Bypass



V. A. dos Reis Filho et al.

Journal of Extracorporeal Technology 2025, 57, 18–23.
<https://doi.org/10.1051/ject/2024030>

Modern Overhaul of the Pre-CPB Checklist: Leveraging Live Data Capture to Replace yes/no Checklist Design



M. W. Vespe et al.

Perfusion, online publiziert: 07.07.2025.
doi: 10.1177/02676591251359895.

Checklisten in der Medizin dienen dazu, komplexe Abläufe zu strukturieren und Fehler zu vermeiden. In der Perfusiologie hat sich die Checkliste etabliert, bei der nach dem Abschluss aller Vorbereitungen alle Geräte, Sensoren und Einmalmaterial an der Herz-Lungen-Maschine (HLM) überprüft werden und die Checkliste abgehakt wird. Klassische „Ja/Nein“-Checklisten bieten hierbei zwar eine einfache Orientierung, lassen jedoch oft keinen Raum für klinische Einschätzungen oder individuelle Anpassungen. Dies kann zu einer mechanischen Abarbeitung führen und das kritische Denken der Anwender einschränken. Zwei aktuelle Publikationen widmen sich dem Thema Checkliste im Bereich der Perfusiologie:

Dos Reis Filho und Kollegen haben in einem mehrstufigen Verfahren mit mehreren Perfusionist:innen eine Checkliste mit über 40 Einträgen entwickelt und alle Einträge auch validiert. Die finale Checkliste enthält 37 einzelne Einträge, unterteilt in 10 Abschnitte, beginnend mit dem Patienten und endend mit ei-

nem „Before Starting CPB“-Abschnitt. Diese sehr ausführliche Checkliste kann dazu dienen, die eigene klinikinterne Checkliste auf Vollständigkeit und eventuell notwendige Erweiterungen zu prüfen.

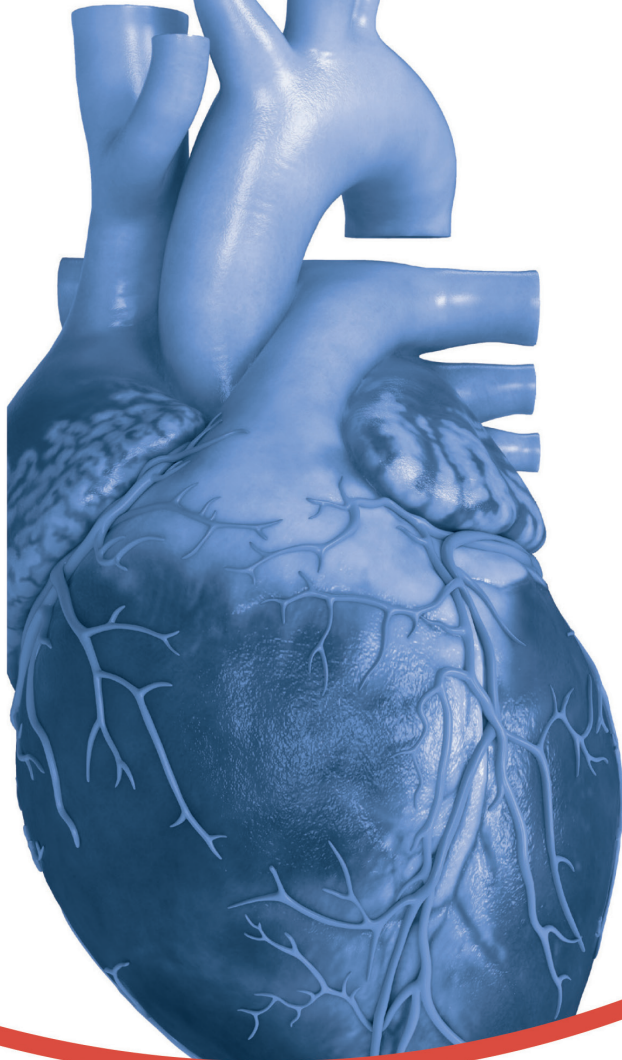
Einen anderen Ansatz haben Vespe et al. gewählt. Sie schlagen vor, die Funktionalität der HLM anhand von genau vorgegebenen Einstellungen an der HLM und den Messwerten der Sensoren zu überprüfen. Hierzu wurde ein detailliertes Protokoll ausgearbeitet, wie verschiedenste Einstellungen an der HLM vorgenommen werden und welche Werte die Sensoren der HLM anzeigen sollen. Unter anderem wird am Gasblender die F_{O₂} auf 80 % eingestellt und dann im inline Blutgasmonitor der pO₂ gemessen, um die Funktionalität des Gasblenders und des Oxygenators zu zeigen. Die Dokumentation aller Parameter erfolgt im Patienten-Daten-Management-System und soll so die Durchführung der Checkliste aufzeigen. Hierdurch soll laut den Autor:innen auf eine „Ja/Nein“-Checkliste komplett verzichtet werden.

Durch eine geteilte Checkliste, z. B. nach dem Aufbau, nach dem Priming, nach dem Abschluss aller Vorbereitungen im OP-Saal und evtl. sogar direkt vor dem Start des cardiopulmonalen Bypasses, die auch die von dos Reis Filho et al. erarbeiteten Punkte enthält, könnten sicherlich weitere Verbesserungen erreicht und die Sicherheit erhöht werden. Dadurch lässt sich die Balance zwischen Standardisierung und klinischer Entscheidungsfreiheit verbessern. Die von Vespe und Kollegen erarbeitete Checkliste, oder zumindest Teile hiervon, zur Dokumentation der Funktionalität der HLM könnte ergänzend zu einer „Ja/Nein“-Checkliste genutzt werden.

Jedoch wird die klassische „Ja/Nein“-Checkliste im Bereich der Perfusiologie sicherlich nicht komplett ersetzt werden können.

Sven Maier, Freiburg

Save the
Date!



© 72250877 | Sebastian Kaulitzki | Shutterstock / pablopat / AdobeStock

18. Deutsche Kardiagnostik-Tage

www.kardiagnostik.de

19.–21.
Februar
2026
LEIPZIG



Nach Förderstopp: Forschung mit dem Herzregister gefährdet

Seit über 20 Jahren liefert das Nationale Register für angeborene Herzfehler (NRAHF) in Deutschland die Grundlage für die Forschung zur langfristig optimalen Versorgung bei angeborenen Herzfehlern. Nun fehlt dem international renommierten Register die staatliche Basisfinanzierung – mit potenziell fatalen Folgen für Hunderttausende Patientinnen und Patienten. Damit steigt der politische Handlungsdruck.

Statistisch gesehen kommt in Deutschland alle 90 Minuten ein Baby mit angeborenem Herzfehler zur Welt. Dem aktuellen Deutschen Herzbericht zufolge sind jährlich rund 7.000 Neugeborene von dieser häufigsten Organfehlbildung beim Menschen betroffen. Fortschritte in der Herzmedizin sorgen heute dafür, dass weit über 90 Prozent das Erwachsenenalter erreichen. Doch geheilt sind die meisten nicht.

Über 500.000 Kinder, Jugendliche und Erwachsene leben hierzulande mit einem angeborenem Herzfehler – Tendenz steigend. Die multizentrische, interdisziplinäre Forschung mit dem Nationalen Register für angeborene Herzfehler (NRAHF) spielt eine entscheidende Rolle für ihr langfristiges Überleben, ihre Gesundheit und ihre Lebensqualität.

Rund 60.000 Patientinnen, Patienten und ihre Angehörigen stellen dem Register dafür ihre Daten und Proben zur Verfügung. Zahlreiche Erkenntnisse der Forschung mit dem Freiwilligenregister tragen schon jetzt zu einer verbesserten Früherkennung und Behandlung bei.

Solche Fortschritte fußen auf der Sammlung von Daten und Proben aus Kliniken, Zentren und Praxen in ganz Deutschland. Denn die Vielfalt angeborener Herzfehler ist groß. Bisher sind über 200 verschiedene Fehlbildungen registriert, die für sich allein selten sind. Das Register ist daher unverzichtbar für die Forschung zu vielen drängenden Fragen.

Mit allein über 80.000 digitalisierten Arztbriefen zählt das NRAHF heute zu den weltweit größten Datenquellen für die Forschung zu angeborenen Herzfehlern. Inzwischen wird hier schwerpunktmäßig zu ihren Ursachen, zu Folgeerkrankungen und zu ihrer optimalen Versorgung über die gesamte Lebensspanne hinweg geforscht. Die enge Zusammenarbeit von Patient:innen, Ärzt:innen, Fachgesellschaften und Wissenschaftler:innen sowie hohe Standards bei Patientensicherheit, Datenschutz und Einhaltung ethischer Richtlinien machen das Kernprojekt am Kompetenznetz Angeborene Herzfehler zu einem international anerkannten Vorbild der patientenorientierten Forschung. Auf rund eine Million Euro jährlich belaufen sich die Kosten des NRAHF für das streng

regulierte Management der treuhänderisch verwalteten Daten und Proben.

Über zwei Jahrzehnte hat das Bundesforschungsministerium maßgeblich zur Finanzierung beigetragen. Doch auf anhaltende Mittelkürzungen folgte der abrupte Förderstopp: Eine seit längerem angestrebte nachhaltige Finanzierungslösung war zuletzt überraschend gescheitert. Seit 2025 fließen keine staatlichen Gelder mehr. Damit ist lebensnotwendige Forschung nun akut gefährdet. In einer gemeinsamen öffentlichen Petition fordern die im Aktionsbündnis Angeborene Herzfehler (ABAHF) zusammengeschlossenen Patientenorganisationen die Bundesregierung und den Bundestag daher jetzt mit Nachdruck auf, das Register und seine digitale Weiterentwicklung endlich auf stabile finanzielle Füße zu stellen. Allein in den ersten vier Tagen haben schon mehr als tausend Unterstützende mitgezeichnet. Denn: Ohne Langzeitforschung stehen die langfristigen Überlebenschancen von heute mehr als einer halben Million Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen auf dem Spiel.

Deutschland läuft Gefahr, eine über Jahrzehnte aufgebaute Schlüsselressource für die Forschung zu verlieren – mit hohen volkswirtschaftlichen Folgekosten. Mit der wachsenden Zahl erwachsener Betroffener steige der Bedarf an langfristiger Nachsorge, die klinischen Verläufe würden komplexer. Ohne evidenzbasierte Versorgung nehmen lebensbedrohliche Folgeerkrankungen zu. Am NRAHF setzt man daher auf den gezielten Einsatz von Künstlicher Intelligenz: Die KI-gestützte Erfassung und Auswertung medizinischer Befunde und Bilddaten soll für eine verbesserte Versorgung sorgen, die mit der alternden Patientengruppe Schritt hält. Ein erstes Pilotprojekt läuft bereits. Solche zukunftsweisenden, potenziell kostensparenden Innovationen stehen nun ebenfalls auf der Kippe.

Weitere Erstunterzeichnende der Petition für den Erhalt des Registers sind die Deutsche Gesellschaft für Pädiatrie und Angeborene Herzfehler (DGPK), die Deutsche Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung (DGK), die Arbeitsgemeinschaft für Chirurgie angeborener Herzfehler und Kinderherzchirurgie der Deutschen Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie (DGTHG) sowie die Kinderherzen Fördergemeinschaft Deutsche Kinderherzzentren e. V. und das Nationale Register.

Deutschland, August 2025



Weiterführende Informationen:

<https://www.kompetenznetz-ahf.de/forscher/forschen-mit-uns/wer-forscht-mit-dem-register/>

Künstliche Intelligenz in der Klinik

Die rasanten Fortschritte in der Künstlichen Intelligenz (KI) haben inzwischen nahezu alle Lebensbereiche durchdrungen. Der Gesundheitssektor bildet keine Ausnahme. Insbesondere in Krankenhäusern hat KI das Potenzial, die Qualität der Patient:innen-Versorgung zu verbessern, die Arbeitsbelastung des medizinischen Personals zu reduzieren und Kosten zu senken.

Ein interdisziplinäres Forschungsteam der Fachbereiche Wirtschaft und Recht sowie Soziale Arbeit & Gesundheit der Frankfurt University of Applied Sciences (AUS) befasst sich seit dem Wintersemester 2024/25 mit der „Evaluation KI-gestützter Opportunitäten der Digitalisierung im Gesundheitswesen“.

OP-Training mittels VR-Brille

Bevor ein Chirurg oder eine Chirurgin erstmals zum Skalpell greift, trainiert er oder sie die Operation mithilfe einer XR (Extended Reality)- bzw. MR (Mixed Reality)-Brille und sogenannten Head mounted Displays, also am Kopf befestigten Anzeigen, die Bilder entweder auf einem augennahen Bildschirm präsentieren oder sie direkt auf die Netzhaut projizieren. Virtual Reality und Serious Games, also „ernste“ Spiele zu Schulungszwecken, mit denen medizinische Szenarien in einer realitätsnahen, virtuellen Umgebung simuliert und Fähigkeiten fernab echter Patient:innen trainiert werden, sind längst Bestandteil einer innovativen Facharzt- und Pflegeausbildung.

KI-gestütztes Entlassmanagement

Die Anwendungsmöglichkeiten von KI im Krankenhaus gehen darüber weit hinaus und betreffen sowohl klinische als auch administrative Prozesse. Ein exemplarisches Einsatzfeld ist das Entlassmanagement: Hier können KI-gestützte Systeme Wiedereinweisungen reduzieren und die Versorgungskontinuität optimieren.

Mögliche KI-Anwendungen im Entlassmanagement umfassen:

Prädiktive Analytik: KI-Modelle analysieren Patient:innen-daten (z. B. Krankengeschichte, Laborwerte), um das Risiko für Wiedereinweisungen zu prognostizieren. Algorithmen wie Random Forest können Hochrisikopatienten identifizieren und gezielte Nachsorgepläne ermöglichen.

Automatisierte Planung: KI-Systeme koordinieren Nachuntersuchungen, Rezepte und Rehabilitationsmaßnahmen, was den Verwaltungsaufwand reduziert.

Natürliche Sprachverarbeitung (NLP): NLP standardisiert Entlassberichte, um klare und konsistente Dokumentationen zu gewährleisten.

Patientenkommunikation: KI-Chatbots unterstützen Patient:innen nach der Entlassung durch Erinnerungen an Medikamenteneinnahmen oder Antworten auf Fragen.

Darüber hinaus wären weitere vielversprechende KI-Anwendungen im Krankenhaus:

Bildgebende Diagnostik: Deep-Learning-Algorithmen analysieren Röntgenbilder oder MRTs, um Krankheiten wie Krebs frühzeitig zu erkennen.

Ressourcenplanung: KI optimiert die Auslastung von Betten und Personal durch Analyse von Echtzeit- und historischen Daten, was Wartezeiten reduziert.

Patient:innenüberwachung: KI-Systeme überwachen Vitaldaten in Intensivstationen und warnen bei Anomalien wie Herzrhythmusstörungen.

Personalisierte Medizin: KI analysiert genetische Daten für maßgeschneiderte Therapien, was die Behandlungseffizienz steigert.

Mit Blick auf die Potenziale stehen Krankenhäuser vor erheblichen Herausforderungen bei der Implementierung von KI. Zu den größten Hürden zählen Datenschutz und Datensicherheit, erhebliche Investitionen in Technologie und Schulungen für das Personal sowie Akzeptanzprobleme und ethische Fragen. Im Vergleich zum Entlassmanagement bietet die Bildgebung z. B. einen hohen klinischen Nutzen, erfordert aber komplexe Algorithmen; Ressourcenplanung ist wirtschaftlich attraktiv, stößt jedoch auf organisatorische Hürden.

Für die Bewertung ethischer und regulatorischer Aspekte setzt der Europäische AI Act klare Maßstäbe für den Einsatz von KI in Krankenhäusern, insbesondere bei Hochrisiko-Anwendungen wie der Diagnostik. Die Einhaltung dieser Vorgaben ist essenziell, um Datenschutz und Patientensicherheit zu garantieren. Auch Haftungsfragen sind zu klären: Wer ist verantwortlich, wenn eine KI-Fehlentscheidung zu Schäden führt? Eine klare Governance-Struktur ist notwendig, um Haftungsrisiken zu minimieren.

Transparente und ethisch geprüfte KI-Modelle sind entscheidend, um Bias, also Verzerrungen und systematische Fehleinschätzungen in KI-Systemen zu minimieren und das Vertrauen von Patient:innen und medizinischem Personal zu gewinnen. Serious Games wie „Keine Angst vor KI“ und „Entlassmanagement Training“ bieten hier innovative Ansätze, um Personal und Patient:innen zu schulen.

Um das Potenzial von KI effektiv zu nutzen, müsste letztlich jedes Krankenhaus KI-Anwendungsfälle für sich identifizieren und nach einem individuellen Bewertungsrahmen priorisieren. Eine klare Strategie mithilfe einer strukturierten Roadmap ist der Schlüssel zur erfolgreichen Integration von KI in Krankenhäusern. Pilotprojekte und Partnerschaften mit Technologieanbietern und Forschungsinstituten ermöglichen eine nachhaltige Skalierung, die sowohl klinischen Nutzen als auch wirtschaftliche Effizienz maximiert.

Frankfurt, August 2025

Wissenschaftlicher Ansprechpartner:

Frankfurt University of Applied Sciences,
Fachbereich 3: Wirtschaft und Recht, Prof. Dr. Lutz Anderie,
Telefon: +49 173/6585491, E-Mail: L.anderie@fra-uas.de



HOTSPOT

HERZMEDIZIN

2026 21. - 23. 02.
Confex Köln

55.



DGTHG
DGPK



57.

9. Vorstandssitzung der DGPTM 2025



Dienstag, den 19. August 2025, 18:30–19:30 Uhr
Teilnehmende: Dr. Frank Münch, Jasper Heller, Simon Mayer,
Christian Klüß, Michael Baumgärtner, Marcus Hermann,
Sabine Lange, Madeleine Noack

Mitteilungen der DGPTM e. V.
Vorstand: PD. Dr. habil. Frank Münch, ECCP,
Universitätsklinikum Erlangen;
Geschäftsstelle DGPTM e. V.:
Rödelstraße 13, 04229 Leipzig,
E-Mail: geschaeftsstelle@dgptm.de

TOP 1 | Organisatorisches

Im Vorstand wird es eine personelle Veränderung geben: Sebastian Melzer wird das Amt des Schatzmeisters abgeben, um sich zukünftig wieder verstärkt auf seine umfangreichen IT-Aufgaben für die Gesellschaft konzentrieren zu können. Der Vorstand dankt ihm herzlich für seine geleistete Arbeit. Die Einarbeitung von Marcus Hermann als potenzieller Nachfolger aus dem gewählten Vorstand würde durch S. Melzer sichergestellt.

Die Dauerumfrage zum Gehaltsniveau in der Perfusiologie ist technisch fertiggestellt und wird in Kürze starten. Alle Mitglieder werden über den Newsletter zur Teilnahme eingeladen. Die Umfrage wird im internen Mitgliederbereich angezeigt. Die anonymisierten Ergebnisse sollen eine Orientierungshilfe für das Gehalt in der Perfusiologie in Deutschland bieten.

Das kürzlich durchgeführte internationale Webinar war mit 68 Teilnehmenden ein großer Erfolg und unterstreicht das Interesse an globaler Vernetzung.

Die multidisziplinäre AG Ex-vivo-Organperfusion hat ihre Arbeit aufgenommen.

Das Tutoring- und Mentoring-Programm wird weiter ausgebaut. Die neue Webseite ist fertiggestellt und wird in Kürze beworben. Ein zentraler Bestandteil ist eine kommende Webinar-Reihe, deren technische Durchführung von Michael Baumgärtner koordiniert wird.

Des Weiteren wird Simon Mayer die DGPTM beim 19th International Symposium on Perfusion (BeSECT) in Belgien vertreten. Schließlich wurde ein großer Erfolg bezüglich der EFN-Fortbildungspunkte bekanntgegeben: Die DGPTM erhält einen eigenen Nummernkreis (beginnend mit 85) im System der Ärz-

tekammer. Dies ermöglicht zukünftig eine offizielle Zertifizierung von Fortbildungen für Perfusionist:innen und stellt einen wichtigen Meilenstein dar. Eine vertragliche, juristische Vereinbarung mit der Ärztekammer wird gerade erarbeitet.

TOP 2 | Zuständigkeiten und IT-Struktur

Aufgrund des starken Wachstums der Gesellschaft und der gestiegenen Aufgabenvielfalt hat der Vorstand eine Neuausrichtung der internen Zuständigkeiten im IT-Bereich beschlossen. Ziel ist es, die vielfältigen Aufgaben auf mehrere Schultern zu verteilen, um die administrativen Prozesse zu stabilisieren und die Services für die Mitglieder kontinuierlich zu verbessern. Hierfür werden in einem nächsten Schritt die anfallenden Aufgaben detailliert analysiert und ein Plan zur Übergabe erstellt.

TOP 3 | Jahrestagung 2025 Leipzig

Für die Jahrestagung 2025 in Leipzig wurden insgesamt 55 Abstracts eingereicht. Um die Veranstaltung medial umfassend zu begleiten, wird neben einem Fotografen auch der Einsatz von Videoaufnahmen geprüft.

Auf der Mitgliederversammlung wird unter anderem die Wahl des neuen Schatzmeisters auf der Tagesordnung stehen. Die Abstimmung wird mit dem bewährten Wahlsystem rechtsicher durchgeführt.

Kollegiale Grüße

Frank Münch, Präsident der DGPTM

Simon Mayer, Schriftführer

10. Vorstandssitzung der DGPTM 2025



Dienstag, den 16. September 2025, 18:30–19:25 Uhr
Teilnehmende:
Vorstand der DGPTM;
Hochschule Furtwangen VS: Prof. Dr. Thomas Schiepp;
DHZB Akademie Berlin: Dr. Frank Merkle, Benjamin Haupt M.Sc., ECCP;
FH Münster: Prof. Dr.-Ing. Claus Backhaus, Maximilian Kehmann M.Sc.;
FH Dortmund: Dipl. Ing. Markus Bongert;
FH Aachen: Prof. Dr. Christina Feldmann;
Wissenschaftlicher Beirat: Dr. Lars Saemann, Prof. Sven Maier ECCP;
Delegierte Junges Forum DGPTM: Michaela Walter B.Sc., ECCP;
Internationaler Delegierter EBCP: Dr. Adrian Bauer, ECCP;
Geschäftsstelle der DGPTM: Sabine Lange B.Art, Madeleine Noack BSc.
Gäste: Leitlinienkoordinator: Dipl. Ing. Sebastian Schmidt, ECCP;
Editor in Chief: Dr. Johannes Gehron, ECCP;
Stipendiumsrat: Dr. Dirk Buchwald

Sitzung Akademischer Beirat (AB)

TOP 1 | Begrüßung durch den Leiter des Akademischen Beirats

Der Leiter des Akademischen Beirats, Dr. F. Münch, eröffnete die Sitzung und begrüßte die anwesenden Teilnehmer:innen.

TOP 2 | Aktuelle Entwicklungen an den Hochschulen

Die Vertreter der Hochschulen berichteten über die aktuellen Entwicklungen an ihren Standorten. In Villingen-Schwenningen wird an der Einführung eines Blended-Learning-Konzepts gearbeitet, um den Studiengang flexibler zu gestalten. In Berlin kann der Bachelor-Studiengang weiterhin nicht starten, weshalb die Etablierung eines internationalen

Masterstudiengangs an der Charité vorangetrieben wird. Der Zertifikatskurs in Münster verzeichnet eine sehr hohe Nachfrage; hier wird an einem "Letter of Intent" gearbeitet, um erfahrenen Pflegekräften den Zugang zum Masterstudium zu ermöglichen. In Aachen startet ein neues Modul zur Perfusion im Masterstudiengang Medizintechnik, das auf großes Interesse stößt. Das Projekt in Dortmund zur Integration der Perfusion in einen Bachelorstudiengang stagniert derzeit. Im Anschluss wurde die Notwendigkeit betont, das gemeinsam erarbeitete Kompetenz-Paper der Gesellschaft kontinuierlich weiterzuentwickeln.

TOP 3 | Bericht vom EBCP – Christian Klüß

C. Klüß berichtete, dass im letzten Jahr 43 Zertifikate vergeben wurden. Ein zentrales Projekt ist die vollständige Digitalisierung des Antragsverfahrens. Im Anschluss wurde das neue europäische Konsensuspapier des EBCP vorgestellt, das in Kooperation mit der EACTS und der EACTAIC entwickelt wurde. Es fordert die Anhebung des Ausbildungsniveaus auf Masterebene als europäischen Standard mit einer Übergangszeit von 5–10 Jahren und wird auf der kommenden EACTS-Tagung offiziell präsentiert.

TOP 4 | Möglichkeiten der Leistungsanerkennung seitens der Hochschulen

Es herrschte Konsens über die Notwendigkeit einer stärkeren Vernetzung der Hochschulen, z.B. durch "Dozenten-sharing" oder die gegenseitige Anerkennung von Praktika. Vorgeschlagen wurden Ringvorlesungen und spezialisierte Praktika-Wochen, die verbindlich in den Studienordnungen verankert werden müssten.

TOP 5 & 6 | Vorstellung neuer Editor-in-Chief & Beiträge für „Die Perfusion“

Dr. Lars Saemann wurde als designierter Nachfolger von Dr. Johannes Gehron als Editor-in-Chief ab 2026 vorgestellt. Die Position wird als Ehrenamt für eine Dauer von drei Jahren ausgelegt. Es wurde ein eindringlicher Appell an die Hochschulen gerichtet, die Zeitschrift durch die Einreichung von herausragenden Abschlussarbeiten zu unterstützen.

TOP 7 & 8 | Tutor:innen- & Mentor:innen-Programm der DGPTM

Das neu gestartete Tutor:innen-Programm, eine Webinar-Reihe mit über 80 Teilnehmenden unter der Leitung von Alexander Knappe und Johannes Kuhle, wurde als großer Erfolg bewertet. Das geplante Mentor:innen-Programm befindet sich noch in der Konzeptionsphase und zielt auf eine langfristige, ganzheitliche Entwicklungsförderung ab.

Top 9 | Stipendienbewerbungen für das Jahr 2026

Es wurde ein dringender Appell an die Hochschulen gerichtet, Studierende zur Bewerbung für die Stipendien der DGPTM zu ermutigen. Bewerbung unter:

<https://perfusion.de/karriere/stipendien/>

TOP 10 & 11 | Nächstes Treffen AB & Jahrestagung 2025

Das nächste Treffen des Akademischen Beirats wurde für den 14. und 15. September 2026 in Leipzig terminiert. Alle Hochschulen wurden aufgefordert, sich auf der Jahrestagung 2025 aktiv mit ihren Zukunftskonzepten zu präsentieren. Für die Jahrestagung 2026 konnten Dr. Adrian Bauer und Prof. Dr. Volkmar Falk als Tagungspräsidenten gewonnen werden.

TOP 12 | Junges Forum Aktivitäten und Zukunftsplan

Michaela Walter berichtete, dass die Workshop-Teilnehmerzahlen rückläufig waren. Für 2026 sind wieder drei Workshops geplant. Eine im letzten Jahr neu eingeführte Organisationsstruktur mit einem Dreijahresturnus für Sprecher:innen soll für mehr Kontinuität und den Einstieg in die Verbandsarbeit sorgen.

Vorstandssitzung mit Gästen

TOP 1 | Bericht Editor-in-Chief

Dr. Johannes Gehron berichtete über die anhaltende Schwierigkeit, Autoren zu gewinnen. Das Editorial Board wurde umfassend erneuert und fungiert nun auch als Gutachtergremium für den Terumo-Preis. Die Vergabe von DOIs für Artikel ab 2022 ist in Arbeit. Die Übergabe der Amtsgeschäfte an Dr. Lars Saemann wird in einem separaten Termin erfolgen.

TOP 2 | Berichte und Zukunftsplan Leitlinienkoordinator

Sebastian Schmidt gab einen Überblick über die Beteiligung an mehreren Leitlinien-Projekten (ECPR, Invasive Beatmung, ECLS/ECMO). Er berichtete von der anstehenden Überarbeitung des ECLS-Ausbildungspapiers unter der Leitung von Prof. Dr. G. Trummer. Als Zukunftsplan wurde vorgeschlagen, proaktiv auf die Deutsche Gesellschaft für Pädiatrische Kardiologie zuzugehen und Nachwuchskräfte aus dem Jungen Forum der DGPTM in die Leitlinienarbeit einzubinden.

Top 3 | Ablauf von Gutachtenerstellungen durch den Stipendiumsrat

Dr. Dirk Buchwald stellte die beiden Stipendienprogramme (Josef-Güttler-Stipendium, Promotionsstipendium) und den bisherigen Gutachterprozess vor. Es wurde beschlossen, das Verfahren zu digitalisieren und ein erweitertes kriterienbasiertes Punktesystem (Scoring-System) einzuführen.

Vorstandssitzung

TOP 1 | Organisatorisches

Das Protokoll der letzten Vorstandssitzung wurde genehmigt. Für das Jahr 2026 wurden vier Präsenztermine in Leipzig festgelegt. Der Vorstand befasste sich intensiv mit der finanziellen Situation der Gesellschaft und beschloss, die buchhalterischen Prozesse in Zusammenarbeit mit dem

Steuerberater zu optimieren, um eine transparentere, projektbezogene Kosten- und Erlösrechnung für die Zukunft zu etablieren.

TOP 2 | Zuständigkeitszugänge IT-Struktur

Es wurde die Notwendigkeit einer klareren Definition und Verteilung der IT-Verantwortlichkeiten betont. Das zentrale Problem im News-Bereich (fehlende Sammelseite) wird von S. Melzer zeitnah behoben. Das ECLS-Zertifikatstool funktioniert größtenteils stabil und ist ein Aushängeschild fachübergreifender Zusammenarbeit zum Wohle unserer Patient:innen.

TOP 3 | Öffentlichkeitsarbeit DGPTM

Der Bewerbungsprozess für die neue Stelle für Redaktion und Öffentlichkeitsarbeit ist weit fortgeschritten. Das Projekt "Film Jahrestagung 2024" wird nicht weiterverfolgt. Eine Entscheidung über die Neugestaltung des Web-Auftritts der Zeitschrift wird bis zur Klärung der Finanzlage vertagt.

TOP 4 | Jahrestagung 2025 Leipzig

Der Vorstand wird auf der Jahrestagung auf einen eigenen Stand verzichten und stattdessen über Monitore über sei-

ne Arbeit informieren. Ein professioneller Fotograf wurde wieder engagiert. Die Einladung zur Mitgliederversammlung wird fristgerecht am 29. September versendet. Um die Versammlung zu straffen, werden die Berichte der AGs vorab in dem Newsletter veröffentlicht.

TOP 5 & 6 | Jahrestagungen 2026

Es wurde beschlossen, dass 2026 kein gemeinsamer Kongress mit Europerfusion stattfinden wird. Eine Joint Session ist angedacht.

Die Planung der Joint Session mit der DGTHG in Köln Februar 2026 ist geplant. eine zweite Session war mit Prof. Hagl im Gespräch, F. Münch wartet noch auf eine finale Rückmeldung.

TOP 7 | Verschiedenes

Als neue Form der Wertschätzung für langjährige Mitglieder wurde beschlossen, zukünftig anstelle von Ehrennadeln und Gutscheinen ein hochwertiges Glas-Objekt mit eingraviertem Logo der Gesellschaft zu überreichen.

Kollegiale Grüße

Frank Münch, Präsident der DGPTM

Simon Mayer, Schriftführer

Workshop der DGPTM: Schreibwerkstatt

Agenda Dezember 2025 – online

Montag, 01.12.2025 | 14:00–18:00 Uhr

- Erste kleine Kennenlernrunde und eigenes wissenschaftliches Thema
- Brainstorming: Themenfindung – Strukturaneignung
- Aufbau eines Dokuments (Dokumentengliederung ... kurz, praktisch, wo fange ich an, wie baue ich die einzelnen Elemente auf ...)
- Praktische Übungen zum Aufbau eines Dokuments

Mittwoch, 03.12.2025 | 14:00–18:00 Uhr

- Teil 1: Wissenschaftliche Begrifflichkeiten zum Thema Dokumentenstruktur – Geschichte und Theorie
- Teil 2: Was gehört in welches Kapitel? Umsetzung der aktuellen Autorenhinweise Die Perfusionologie
- Literaturrecherche (praktische Übungen in Recherchertools)
- Zitationsprogramme (Endnote, Citavi)

Dienstag, 09.12.2025 | 14:00–18:00 Uhr

- Mit Texten spielen: interaktives Schreiben; wie hole ich den Leser mit meinem Text ab
- Peer-Review (Ziel und Umgang mit Reviews), Beispiele und praktische Tipps des Umgangs und der Umsetzung ...
- Wie schreibe ich ein Abstract?

Bei Interesse bitte
gleich hier anmelden:



oder: <https://portal.perfusionsakademie.de/Schreibwerkstatt2025#/>

Die Schreibwerkstatt wird über den Educational Grant der DGPTM unterstützt.

Workshop 2026 des Jungen Forums DGPTM

Zwischenfälle während der EKZ

- Präsenzveranstaltung an der HFU, Campus Schwenningen
- Dozenten: Andreas Dietz und Sven Maier
- Termin: Fr, 30.01.2026 (15:30 Uhr) und Sa, 31.01.2026 (8:30 Uhr)

Statistik-Workshop

- Online-Veranstaltung
- Dozent: Prof. Matthias Kohl (HFU)
- Termin: Mo, 21.09.2026 bis Mi, 23.09.2026 (Uhrzeit ausstehend)

Excel-Workshop

- Online-Veranstaltung
- Dozent: Prof. Dieter Schell
- Termin: ausstehend

Der wahre und vernünftige Zweck der Wissenschaft ist, dem menschlichen Leben Nutzen zu bringen, es mit neuen Erfindungen und Schätzen zu bereichern.

(Ludwig Feuerbach, 1804–1872, deutscher Philosoph)

Unsere tägliche Praxis definiert sich zum großen Teil durch die Beschäftigung mit dem Menschen, deren Krankheiten sowie deren Behandlung. Insofern nutzt der von Feuerbach beschriebene Zweck in der Tat dem Leben und bereichert es. Politische Einflussnahme im globalen und eine Arbeitsverdichtung im lokalen Kontext machen diese Beschäftigung aber durchaus schwierig. Die Beschäftigung mit der menschlichen Natur geht deswegen über den Arbeitsalltag hinaus und verlangt viel Durchhaltevermögen in jeglicher Richtung. Auch unsere Berufsgruppe trägt durch die Entwicklung neuer und schonenderer Verfahren bei der Versorgung der Patienten dazu bei.

Unser Leben definiert sich aber nicht nur ausschließlich durch die Arbeitsumgebung. Persönliche Sicherheit und Zufriedenheit in einer politisch absolut unruhigen Zeit entstehen durch gelebte menschliche Beziehungen.

Wir danken allen Beteiligten, die uns bei der Erstellung der Zeitschrift Die Perfusionologie im Jahr 2025 geholfen haben. Lassen Sie uns die ausklingenden Tage dieses Jahres nutzen, um sich den wertvollen menschlichen Beziehungen bewusst zu werden und sie wieder neu zu beleben und zu pflegen.

Im Namen der Redaktion, Dr. Johannes Gehron



Benchmark Monitoring of up to 22 vital patient parameters

The CDI OneView System is designed to effectively monitor the patient's dynamic condition

Terumo's perfusion legacy lives on with the new CDI OneView Monitoring System. Continuing to set the standard of excellence for continuous in-line blood parameter monitoring, our latest innovation provides real-time insight for real-time decision-making.

With power for perfusionists and the potential for improved patient outcomes, the CDI OneView System is superior insight on display.^{1,2}

What you need to know:

- Quickly detect and appropriately address any changes in the patient's condition with continuous monitoring and immediate feedback
- Better understand the patient's response to care-delivery with visibility to real-time values
- Ensure that values provided reflect the patient's current condition with continuous monitoring and measured values

To learn more about the CDI OneView Monitoring System visit:
www.CDI-OneView-Monitoring-System/index



The CDI OneView™ Monitoring System. Superior. Real-time. Insight.

1. Ranucci, M, et al. Goal-directed perfusion to reduce acute kidney injury: A randomized trial. The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery. 2018 Nov;156(5):1918-1927.

2. Condello, I, et al. Association between oxygen delivery and cardiac index with hyperlactatemia during cardiopulmonary bypass. JTCVS Techniques. 2020;Vol 2:92-99.

©2025 Terumo Europe N.V. CV474GB 08.25 SK-I(08.25)E. Company names and brand names used herein/hereon are trademarks or registered trademarks of TERUMO CORPORATION, its affiliates, or unrelated third parties. Refer to this device's Instructions For Use (IFU) for full prescribing information, including indications, contraindications, warnings, precautions and adverse events.

Medtronic

Become
unstoppable

with VitalFlow™
ECMO System

Easier and
smarter
ECMO in
one-system
solution†

With every beat,
expect more.

† Medtronic usability data and design reports on file. "Smarter" compared to Nautilus™ Smart technology.

©2025 Medtronic. Medtronic, Medtronic logo, and Engineering the extraordinary are trademarks of Medtronic. All other brands are trademarks of a Medtronic company.