

Versorgungsrealität der veno-venösen extrakorporalen Membranoxygenierung beim akuten Lungenversagen in Deutschland

Ergebnisse einer onlinebasierten Umfrage

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. med.)

der Medizinischen Fakultät

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

Bonn

Atur Ilie

aus Bielefeld

2026

Angefertigt mit der Genehmigung
der Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof. Dr. med. Christian Putensen
2. Gutachter: Prof. Dr. med. Wilhelm Röll

Tag der mündlichen Prüfung: 02.02.2026

Aus der Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin

Inhaltsverzeichnis

	Abkürzungsverzeichnis	7
1.	Einleitung	10
1.1.	Grundlagen der ECMO Therapie	12
1.2.	Veno-venöse ECMO (VV ECMO)	13
1.3.	Veno-arterielle ECMO (VA ECMO)	15
1.4.	Pumpenlose extrakorporale Lungenunterstützung	15
1.5.	Indikationen der VV ECMO-Therapie	16
1.6.	Kontraindikationen der VV ECMO-Therapie	17
1.7.	Komplikationen und Überwachung während der VV ECMO-Therapie	18
1.8.	Akutes Lungenversagen (<i>Acute Respiratory Distress Syndrome</i>)	19
1.9.	Anforderungen für die Durchführung einer VV ECMO-Therapie	23
1.10.	Ziel der Dissertation	24
2.	Material und Methoden	25
2.1.	Kliniken mit ECMO-Verfügbarkeit	25
2.2.	Erstellung eines wissenschaftlichen Fragebogens	27
2.3.	Datenerhebung	28
2.4.	Statistik	29
3.	Ergebnisse	31
3.1.	ECMO-Verfügbarkeit und Intensivbettenkapazitäten in Deutschland	32
3.2.	Entwicklung des Fragebogens	34
3.3.	Umfang der Stichprobe - Rücklaufquote	34
3.4.	Geographische Verteilung der Umfrageteilnehmer	35
3.5.	Block 1: Intensivmedizinische Infrastruktur und epidemiologische Kenngrößen	36
3.5.1.	ICU-Bettenkapazitäten der teilnehmenden Einrichtungen	36
3.5.2.	Anzahl der ECMO-Geräte je Intensivstation	37
3.5.3.	Klinische Verfügbarkeit und Erfahrung der VV ECMO-Therapie angegeben in Jahren	37
3.5.4.	Jährliche Fallzahl der VV ECMO-Therapie	38
3.5.5.	Anzahl von zeitgleich durchführbaren VV ECMO-Therapien	39

3.5.6.	Krankenhausentlassrate nach VV ECMO-Therapie	39
3.6.	Block 2: Organisation und Management bei der Versorgung von VV ECMO-Patienten	40
3.6.1.	Hauptbehandelnde Fachärztegruppen	40
3.6.2.	Bettseitiges Management	41
3.6.3.	Beteiligung eines Kardiotechnikers während der VV ECMO-Therapie	41
3.6.4.	Angestrebter Pflegeschlüssel	42
3.6.5.	Realisierter Pflegeschlüssel	42
3.6.6.	Angestrebte berufliche Qualifikation des betreuenden Pflegedienstes	43
3.6.7.	Realisierte berufliche Qualifikation des betreuenden Pflegedienstes	43
3.7.	Block 3: Transport und Logistik von VV ECMO-Patienten	43
3.7.1.	Personelle Zusammenstellung eines Behandler-Teams zur Durchführung innerklinischer Transporte	43
3.7.2.	Verfügbarkeit eines ECMO-Transport-Teams	44
3.7.3.	Unterblock 3: ECMO-Transport-Team	44
3.7.3.1.	Externe Einsätze des VV ECMO-Teams im Jahr 2021	45
3.7.3.2.	Personelle Zusammenstellung des ECMO-Transport-Teams	45
3.7.3.3.	Zeitliche Verfügbarkeit der ECMO-Transportteams	46
3.7.3.4.	Vorbereitungszeit bis zur Einsatzbereitschaft des ECMO-Transport-Teams	47
3.7.3.5.	Infrastrukturelle Voraussetzungen für den ECMO-Transport	47
3.8.	Block 4: Monitoring und Diagnostik während der stationären VV ECMO-Therapie	47
3.8.1.	Neurologisches Monitoring während der VV ECMO-Therapie	48
3.8.2.	Hämodynamisches Monitoring	48
3.8.3.	Indikationsbezogene Anwendung und zeitliche Intervalle beim Einsatz bildgebender Verfahren	48
3.8.4.	Unterblock 4: Zeitgleicher Einsatz von PiCCO® und PAK	49
3.9.	Block 5: Antikoagulation und Gerinnungsdiagnostik	50
3.9.1.	Zeitliche Intervalle bei der Gerinnungsdiagnostik	50
3.9.2.	Einsatz der ACT-Messung als laborchemisches Diagnostikinstrument	51
3.9.3.	Untere Grenzbereiche der Thrombozytenzahl	51
3.9.4.	Präferenz der Diagnoseverfahren zur Plasmatischen Gerinnung	51

3.9.5.	Medikamentöses Mittel der ersten Wahl für die Antikoagulation	52
3.9.5.1.	Unterblock 5: Zielwerte der aktivierte partielle Thromboplastinzeit (aPTT) unter UFH und Argatroban	53
3.10.	Block 6: Rolle des vWF während der VV ECMO-Therapie	53
3.10.1.	Unterblock 6: vWF - Zeitliche Abstände bei der Verlaufsdiagnostik und Therapie	54
3.11.	Block 7: Maschinelle Beatmung unter VV ECMO-Therapie	54
3.11.1.	Lungenprotektive Beatmungsstrategie	54
3.11.2.	Durchführung einer elektronischen Impedanztomographie (EIT)	56
3.11.3.	Durchführung einer Ösophagusdruckmessung und therapeutische Konsequenz	56
3.12.	Block 8: Einstellungen und Standardprozeduren bei der VV ECMO-Therapie	56
3.12.1.	Definition Outlet-Kanüle	57
3.12.2.	Lokalisation der rückführenden Kanüle (oxygeniertes Blut)	57
3.12.3.	Lokalisation der ableitenden Kanüle (desoxygeniertes Blut)	57
3.12.4.	Anlage der ECMO-Kanülen	57
3.12.5.	Durchführung einer Bauchlagerung unter VV ECMO-Therapie (<i>prone position</i>)	57
3.12.6.	Grenzwert für die Indikation zur Transfusion von Erythrozytenkonzentraten	58
3.12.7.	Einsatz von Muskelrelaxanzien	58
3.12.8.	Wechsel des Membranfilters des ECMO-Systems	58
3.12.9.	Herstellerangaben der verfügbaren ECMO-Geräte	58
3.12.10.	Zeitpunkt der Tracheotomie im zeitlichen Zusammenhang einer VV-ECMO Behandlung	59
3.12.11.	ECMO-Follow-up-Ambulanz	59
4.	Diskussion	60
4.1.	Ausgangssituation der Versorgungsinfrastruktur in Deutschland	60
4.2.	Intensivmedizinische Infrastruktur und ECMO-Verfügbarkeit	62
4.3.	Klinische Erfahrung, Fallzahlen und Krankenhausentlassrate	63
4.3.1.	Klinische Erfahrung mit der VV ECMO-Therapie in Jahren	63

4.3.2.	Anzahl an durchgeführten VV ECMO-Therapien im Jahr	63
4.3.3.	Krankenhausentlassraten	65
4.4.	Organisation und Management	66
4.4.1.	Hauptbehandelnde medizinische Fachrichtung	66
4.4.2.	Pflegerische Betreuung von VV ECMO-Patienten	67
4.5.	ECMO-Transport-Team	69
4.6.	Antikoagulation und Gerinnungsmanagement	71
4.6.1.	Auswahl der medikamentösen Antikoagulation	71
4.6.2.	Antikoagulationsstrategien - Höhe der angestrebten aPTT	72
4.7.	Lungenprotektive Beatmung unter VV ECMO-Therapie	74
4.8.	Follow-up-Ambulanz	75
4.9.	Limitationen	77
5.	Zusammenfassung	78
6.	Anhang	80
6.1.	Liste der VV ECMO Kliniken	80
6.2.	Wissenschaftlicher Fragebogen der Umfrage	91
7.	Abbildungsverzeichnis	106
8.	Tabellenverzeichnis	110
9.	Literaturverzeichnis	111
10.	Erklärung zum Eigenanteil	121
11.	Veröffentlichungen	122
12.	Danksagung	123

Abkürzungsverzeichnis

ACT	aktivierte (Blut-)Gerinnungszeit (<i>Activated Clotting Time</i>)
Allg.	Allgemeine
ANÄ	Anästhesiologie
aPTT	aktivierte partielle Thromboplastinzeit
ARDS	Akutes Lungenversagen (<i>acute respiratory distress syndrome</i>)
cCT	craniale Computertomographie
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
COVID-19	Coronavirus-Krankheit 2019 (<i>corona virus disease-19</i>)
CT	Computertomographie
DGAI	Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin
DGTHG	Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie
DIVI	Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e.V.
dP	Differenz des end-inspiratorischen Drucks zum Positiven end-expiratorischen Druck (<i>driving pressure</i>)
DTI	direkte Thrombininhibitoren
ECLS	extrakorporale Lebensunterstützung (<i>extracorporeal life support</i>)

ECMO	extrakorporale Membranoxygenierung (<i>extracorporeal membrane oxygenation</i>)
EEG	Elektroenzephalographie
EIT	Elektrische Impedanztomographie
ELSO	Extracorporeal Life Support Organization
FiO ₂	Inspiratorische Sauerstoff-Fraktion
GKP	Gesundheits- und Krankenpfleger
Hb	Hämoglobin
HCH	Herzchirurgie
HIT	Heparin-induzierte Thrombozytopenie
HZV	Herzzeitvolumen
I:E	Inspiration:Expirations-Verhältnis
ICU	Intensivstation (<i>Intensive Care Unit</i>)
IQR	Interquartilabstand (<i>interquartile range</i>)
KAR	Kardiologie
LOC	Schweregradkategorie (<i>Level of Care</i>)
low VT	niedriges Tidalvolumen (<i>low tidal volume</i>)
n	absolute Stichprobengröße
NA	Keine Angabe (<i>no answer</i>)
NIRS	Nahinfrarot-Spektroskopie (<i>near infrared spectroscopy</i>)
NMH	Niedermolekulares Heparin

NS	Nicht Valide (<i>nonsense</i>)
PAK	Pulmonalarterienkatheter
p _a O ₂	arterieller Sauerstoffpartialdruck
PEEP	Positiver end-expiratorischer Druck (<i>positive end-expiratory pressure</i>)
PiCCO®	Pulskontur-Herzzeitvolumen (<i>Pulse Contour Cardiac Output</i>)
PNEU	Pneumologie
Pplat	Plateaudruck (<i>plateau pressure</i>)
SD	Standardabweichung
SpO ₂	pulsoxymetrisch gemessene Sauerstoffsättigung
TCH	Thoraxchirurgie
TEE	Transösophageale Echokardiographie (<i>transesophageal echocardiography</i>)
TTE	Transthorakale Echokardiographie (<i>transthoracic echocardiography</i>)
UFH	Unfraktioniertes Heparin
V.	Vene (<i>Vena</i>)
VA ECMO	veno-arterielle extrakorporale Membranoxygenierung
VV ECMO	veno-venöse extrakorporale Membranoxygenierung
vWF	von-Willebrand-Faktor

1. Einleitung

Die extrakorporale Membranoxygenierung (ECMO) bezeichnet ein außerhalb des Körpers liegendes apparatives Organunterstützungssystem, welches in Abhängigkeit des Betriebsmodus als Lungenersatzverfahren (veno-venöse ECMO (VV ECMO)) oder als Herz-Lungen-Ersatzverfahren (veno-arterielle ECMO (VA ECMO)) eingesetzt werden kann. Bei der ECMO-Therapie handelt es sich um eine technologische Entwicklung, die heutzutage in der modernen Intensivmedizin weit verbreitet ist und zunehmende Bedeutung als Lungenersatzverfahren während der H1N1-Pandemie erlangte (Noah et al., 2011). Insbesondere während der jüngsten Coronavirus-Pandemie (*corona virus disease-19* (COVID-19)) wurde die VV ECMO verstärkt angewendet und bei schweren Verläufen einer COVID-19-Infektion als Ultima Ratio-Therapie eingesetzt.

Das akute Lungenversagen (*acute respiratory distress syndrome* (ARDS)) stellt in den meisten Fällen die Hauptindikation für eine Therapie mit der VV ECMO dar (Lotz und Müllenbach, 2018). Beim ARDS führt eine schwere pulmonale oder systemische Erkrankung zu einer massiven Störung des Gasaustausches in der Lunge, welche nicht nur eine suffiziente Oxygenierung des Blutes verhindert, sondern häufig auch die Kohlenstoffdioxid (CO₂)-Elimination beeinflusst. Trotz aller medizinischer Fortschritte ist das ARDS weiterhin mit einer insgesamt schlechten Prognose vergesellschaftet (Bellani et al., 2016).

Nach dem von Hill et al. (1972) beschriebenen ersten Einsatz eines extrakorporalen Gasaustauschverfahrens (*Bramson Membrane Lung*) beim *Shock Lung Syndrome* im Jahre 1971, konnte in nachfolgenden klinischen Studien zunächst kein Überlebensvorteil für die Patienten nachgewiesen werden, die eine ECMO-Therapie bei respiratorischer Insuffizienz erhalten hatten (Zapol et al., 1979). In den folgenden zwanzig Jahren konnten keine wesentlichen Fortschritte bei der Etablierung dieses Therapieverfahrens erzielt werden (Küstermann et al., 2012). Einen Wendepunkt in der wissenschaftlichen Bewertung dieser Behandlungsoption ergab erst die CESAR-Studie aus dem Vereinigten Königreich. Diese konnte, trotz kritisierter methodischer Mängel beim Studiendesign erstmalig zeigen, dass das Überleben der Patienten, welche eine ECMO-Therapie zur

Behandlung ihres ARDS erhielten, im Vergleich zu Patienten, die im gleichen Zeitraum eine konventionelle Beatmungstherapie erhalten hatten, signifikant verbessert werden konnte (Peek et al., 2009).

In ihrer heutigen Form wird die VV ECMO-Therapie von der Extracorporeal Life Support Organization (ELSO), einem internationalen Netzwerk von ECMO-Zentren, bei unterschiedlichen Krankheitsbildern empfohlen, welche mit einer schweren respiratorischen Insuffizienz vergesellschaftet sind (Tonna et al., 2021). Unter Bewertung der wissenschaftlichen Literatur und des klinischen Diskurses formuliert die ELSO evidenzbasierte Richtlinien für verschiedene Bereiche der ECMO-Therapie, um eine wissenschaftlich und klinisch fundierte Patientenversorgung sicherzustellen. Neben diesen Empfehlungen existiert in Deutschland die S3-Leitlinie Invasive Beatmung und Einsatz extrakorporaler Verfahren bei akuter respiratorischer Insuffizienz der Deutschen Gesellschaft für Anästhesie und Intensivmedizin (DGAI), in welcher eine VV ECMO-Therapie als Rescue-Therapie empfohlen wird (DGAI, 2017). Abgesehen von den Empfehlungen der DGAI und ELSO existieren bisher nur wenige evidenzbasierte Ein- und Ausschlusskriterien für die Indikation und für den Ablauf einer VV ECMO-Therapie. Ebenso gibt es nur wenige Leitlinien und Vorgaben im Hinblick auf das klinische Management und die Organisation eines ECMO Programms, oder auch infrastrukturelle Grundbedingungen für die Durchführung einer VV ECMO-Therapie (Tonna et al., 2021). So sind dahingehend auch Behandlungsergebnisse zum Teil schwer vergleichbar, da der indikationsbezogene Einsatz häufig auf individuellen Einschätzungen und Vorgehensweisen des jeweiligen Zentrums beruht.

Trotz des intensiven Austausches zwischen den nationalen und internationalen fachgesellschaftlichen Organisationen bei gleichzeitig wenigen, jedoch etablierten Leitlinien, existiert im klinischen Alltag in der ARDS- und VV ECMO-Therapie eine große Varianz in den Behandlungskonzepten unterschiedlicher ECMO-versorgender Einrichtungen. So beschreibt Staudinger (2016) diesbezüglich auch beispielhaft eine Diskrepanz zwischen der tatsächlich klinisch gelebten Realität der VV ECMO-Therapie und der belegbaren wissenschaftlichen Evidenz. Dabei können für die zunehmende Verbreitung auch kommerzielle Erlösaspekte der ECMO, die zu einer Anwendung dieses Verfahrens außerhalb spezialisierter ECMO-Kliniken möglicherweise mit beitragen.

1.1. Grundlagen der ECMO Therapie

Eine ECMO bezeichnet ein, außerhalb des Körpers liegendes, pumpenbetriebenes Oxygenierungssystem, welches als Ersatzverfahren für Herz oder Lunge oder bei kombiniertem Organversagen (Herz und Lunge) eingesetzt werden kann. Zunächst werden die einzelnen Bauelemente einer ECMO unabhängig von der Anwendungsweise sowie die hämodynamischen und hämatologischen Voraussetzungen für den Betrieb einer ECMO betrachtet:

- Kanülen und Antikoagulation

Die Kanülen werden abhängig vom geplanten Ersatzverfahren in je ein arterielles und venöses Gefäß (VA ECMO) oder in zwei venöse Gefäße (VV ECMO) eingebracht. Damit legen die Punktionsorte der Kanülen, die Anwendungsweise und das Einsatzgebiet der ECMO fest. Die Anlage der Kanülen erfolgt in der Regel in Seldinger-Technik und sollte unter Ultraschallkontrolle erfolgen (Lotz und Müllenbach, 2018). Weitere Zugangsformen etwa mit Anwendung einer radiologischen Durchleuchtung oder mittels chirurgischer Techniken werden ebenfalls beschrieben (Bernhardt et al., 2022). Neben der Verwendung zweier Kanülen besteht beim Einsatz einer VV ECMO alternativ auch die Möglichkeit der Platzierung einer Doppellumenkanüle in die rechte *Vena (V.) jugularis*. Dabei wird das Blut von der *V. cava superior* und *V. cava inferior* zur Gasaustauschmembran befördert und im Anschluss oxygeniert in den rechten Vorhof ausgeleitet (Lotz und Müllenbach, 2018). Moderne ECMO-Systeme sind vollständig mit antikoagulatorischen Substanzen beschichtet, sodass die ECMO-Therapie heutzutage auch für Patientengruppen zugänglich ist, bei welchen Gegenanzeigen für eine Antikoagulationstherapie bestehen (Lotz und Müllenbach, 2018). Infolgedessen konnte der Einsatz von gerinnungshemmenden Pharmaka reduziert werden und ein Rückgang von Nebenwirkungen einer Antikoagulationstherapie erreicht werden (Fan et al., 2016). Die Prüfung der Blutgerinnung erfolgt häufig über die aktivierte partielle Thromboplastinzeit (aPTT). Die Thrombozyten sollten nach den *General Guidelines* der ELSO über einem Niveau von 80.000 / μ l gehalten werden (ELSO, 2017).

- Zentrifugalpumpe

Die Zentrifugalpumpe der ECMO transportiert das Blut durch die in der Regel Heparin-beschichteten Schläuche sowie Kanülen und über die Oxygenator-Membran (Lotz und Müllenbach, 2018).

- Oxygenatormembran

Die Oxygenatormembran basiert heute in der Regel auf Poly-4-methylpenten und sorgt sowohl für die Oxygenierung als auch für die CO₂-Elimination des Patientenblutes (Lotz und Müllenbach, 2018). Patientenbezogene Faktoren wie der intravasale Füllungszustand oder die Höhe des Hämoglobinwertes (Hb) im Blut beeinflussen neben dem Durchmesser der Kanülen und Schläuche die durch die Zentrifugalpumpe generierten Blutflüsse und die Leistungskapazität der Oxygenatormembran (Braune et al., 2017). Auch wenn keine generelle Empfehlung existiert, besteht ein gewisser klinischer Konsens, dass eine adäquate Höhe des Hb-Spiegels für den suffizienten Gasaustausch essenziell ist. Dieser sollte in Bezug auf die Angaben im *ELSO Red Book* in einem Zielbereich von 14 bis 15 g/dl liegen (McMichael et al., 2022).

1.2. Venovenöse ECMO (VV ECMO)

Bei der VV ECMO handelt es sich um ein Lungenersatzverfahren, welches durch die Punktion mindestens zweier venöser Gefäße, für den extrakorporalen Gasaustausch bei schwerer respiratorischer Insuffizienz eingesetzt wird (Abb. 1). Das venöse Blut wird dabei über eine Drainagekanüle dem Oxygenator zugeführt, in welchem der Gasaustausch erfolgt, und das oxygenierte Blut dem Patienten wiederum venös zurückgeführt wird (Braune et al., 2017). Für die Punktionsorte der Kanülen und die Konfiguration der VV ECMO beschreiben Gajkowski et al. (2022) unter anderem die folgenden klinisch praktizierten Möglichkeiten:

1) femoro-jugulär

Drainage über die *V. femoralis* und Re-Infusion über die *V. jugularis interna* (Abb. 1)

2) femoro-femoral

Drainage in der Bifurkation der venösen Beckengefäße über eine kurze

Drainagekanüle und Rückführung des oxygenierten Blutes über eine längere Kanüle in die *V. cava inferior*

3) juguläre Doppellumenkanüle

Die Anwendung einer VV ECMO-Therapie erfolgt bei einem Lungenversagen unterschiedlicher Genese und setzt somit ein ausreichendes Herzzeitvolumen (HZV) voraus. Typische klinische Indikationen für eine VV ECMO-Therapie sind dabei unter anderen das ARDS, akute eosinophile Pneumonie, diffuse alveoläre oder pulmonale Hämorrhagie, schweres Asthma bronchiale, Thoraxtrauma, schwere Inhalationstraumata und bronchopleurale Fisteln (Tonna et al., 2021).

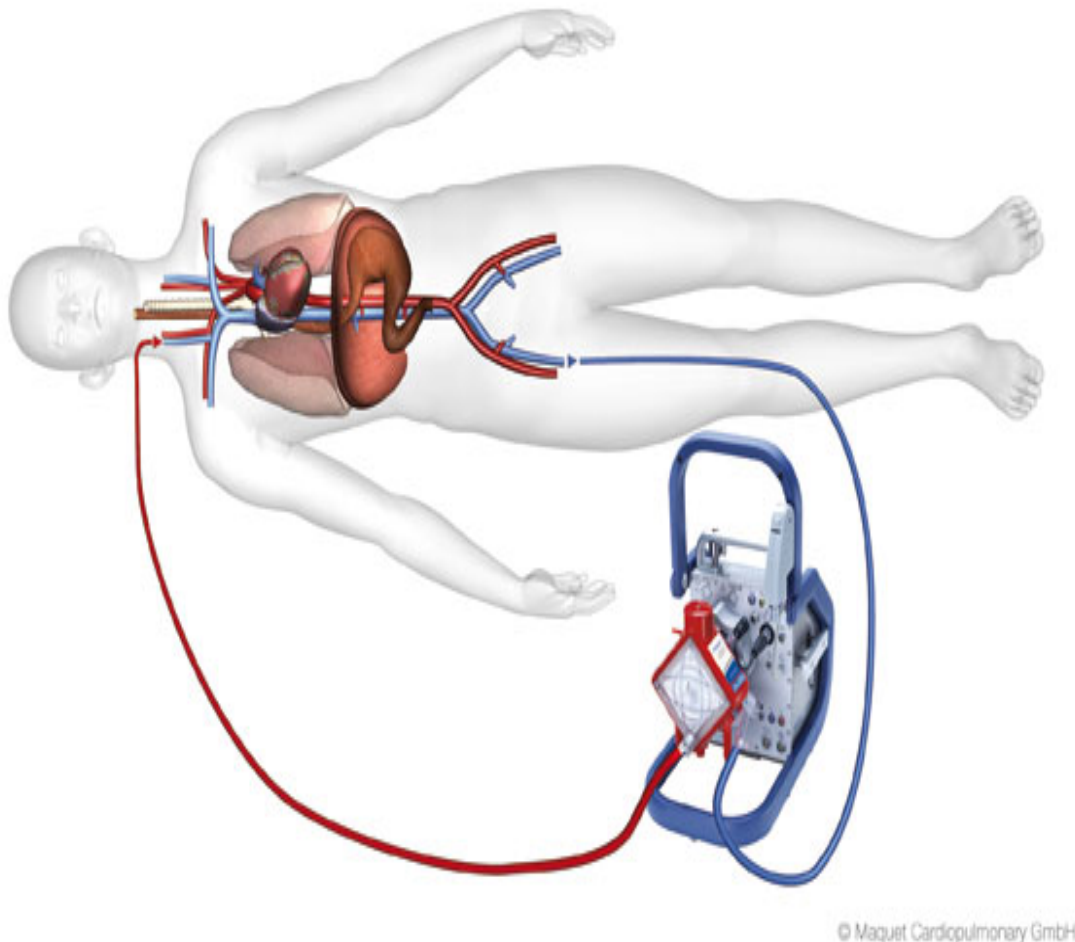


Abb. 1: Schematische Darstellung einer VV ECMO-Therapie in der femoro-jugulären Konfiguration. Die venöse Drainage des desoxygenierten Blutes erfolgt dabei aus der *Vena femoralis* der rechten Seite. Nach Oxygenierung in der ECMO-Konsole erfolgt die Re-Infusion in die *Vena jugularis interna* rechts. Bildmaterial zur Verfügung gestellt mit freundlicher Genehmigung durch die Firma Getinge Deutschland GmbH

1.3. Veno-arterielle ECMO (VA ECMO)

Die VA ECMO wird als Unterstützungsverfahren bei kardialem oder respiratorischem Versagen mit begleitendem Herzversagen angewendet (kardiopulmonales Unterstützungssystem) (Braune et al., 2017) (Abb. 2). Zu den Anwendungsgebieten der VA ECMO zählen in den Richtlinien der ELSO unter anderen der kardiogene Schock, das Postkardiotomie-Syndrom, Myokarditis und der akute Myokardinfarkt (Lorusso et al., 2021).

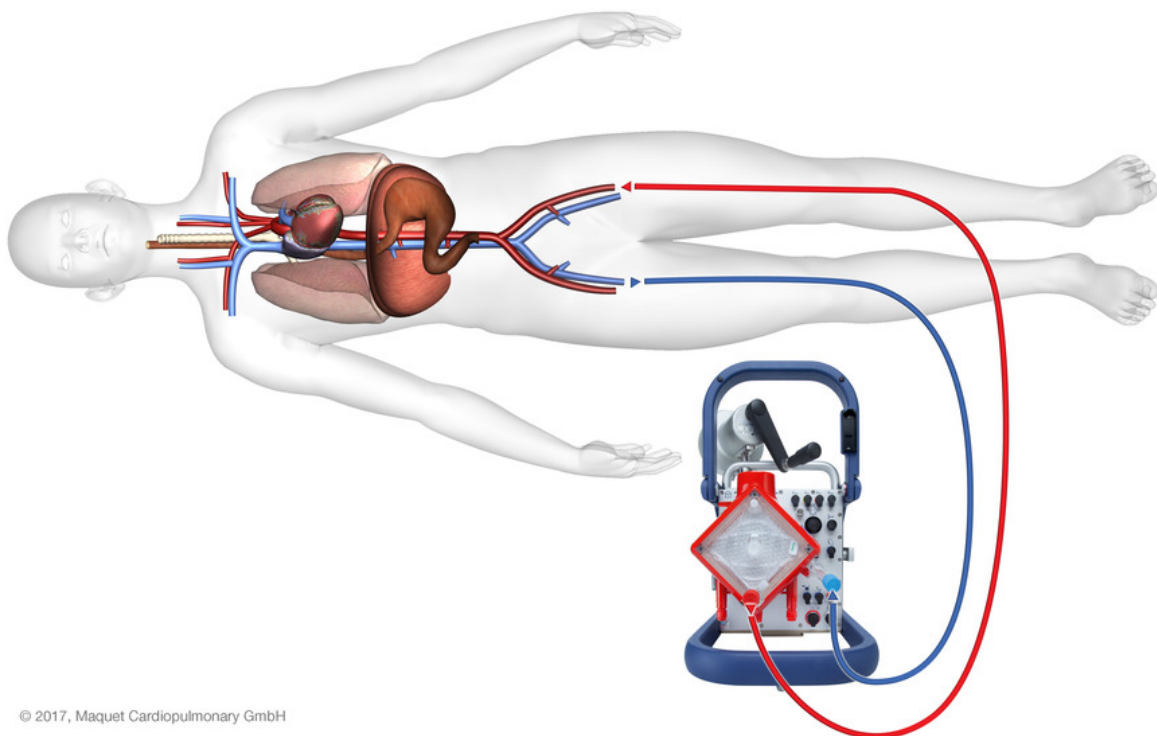


Abb. 2: Schematische Darstellung einer VA ECMO-Therapie in der femoro-femorale Konfiguration. Die venöse Drainage des desoxygenierten Blutes erfolgt dabei aus der *Vena femoralis* der rechten Seite. Nach Oxygenierung in der ECMO-Konsole erfolgt die Re-Infusion in die *Arteria femoralis* links. Bildmaterial zur Verfügung gestellt mit freundlicher Genehmigung durch die Firma Getinge Deutschland GmbH

1.4. Pumpenlose extrakorporale Lungenunterstützung

Neben den beschriebenen pumpenbasierten Verfahren existieren weitere extrakorporale Systeme für den isolierten Lungenersatz, bei denen es sich um pumpenlos-betriebene Systeme handelt. Diese Unterstützungssysteme können aufgrund der geringeren Blutflussraten hauptsächlich für eine CO₂-Elimination des Blutes eingesetzt werden

(*extracorporeal carbon dioxide removal*). Aufgrund der pumpenlosen Anwendung setzt dieser therapeutische Ansatz ein ausreichendes HZV und eine stabile Hämodynamik voraus. Für die Anwendung von pumpenlosen extrakorporalen Lungenunterstützungsverfahren ist die Punktion eines arteriellen und eines venösen Gefäßes notwendig. Der Einsatz von pumpenlosen Systemen erfolgt primär bei isoliert auftretenden respiratorischen Insuffizienzen, welche vordergründig durch eine Hyperkapnie gekennzeichnet sind (Braune et al., 2017). Die Entwicklung von neuen pumpenbetriebenen Systemen für die CO₂-Elimination im Sinne eines Lungenersatzes abseits der VV ECMO führte dazu, dass die pumpenlosen extrakorporalen Verfahren zunehmend an Bedeutung verlieren. Die Vorteile der pumpenbetriebenen Lungenersatzverfahren gegenüber den pumpenlosen Systemen sind die fehlende Notwendigkeit einer arteriellen Gefäßpunktion, die im Bedarfsfall vorhandene Pumpunterstützung bei unzureichenden HZV und die Möglichkeit die Oxygenierung mit höheren Blutflussraten positiv zu beeinflussen (Braune et al., 2017).

1.5. Indikationen der VV ECMO-Therapie

Die Indikation für eine VV ECMO-Therapie sollte erst gestellt werden, nachdem alle konventionellen Maßnahmen ausgeschöpft worden sind. Hierbei werden sowohl in der S3-Leitlinie: Invasive Beatmung und Einsatz extrakorporaler Verfahren bei akuter respiratorischer Insuffizienz als auch in den Empfehlungen der ELSO die optimale Einstellung des *positive end-expiratory pressures* (PEEP), die konsequente Umsetzung einer lungenprotektiven Ventilationsstrategie und die Durchführung einer Bauchlagerung genannt (DGAI, 2017; Tonna et al., 2021). Außerdem sollten eine Volumenüberladung sowie reversible Ursachen wie bspw. ein Pneumothorax ausgeschlossen werden (DGAI, 2017).

Für Deutschland werden von der DGAI (2017) in der S3-Leitlinie: Invasive Beatmung und Einsatz extrakorporaler Verfahren bei akuter respiratorischer Insuffizienz die folgenden zwei Konstellationen als Indikationen zur VV ECMO-Therapie festgehalten:

- 1) Schweres ARDS (festgelegt nach den Maßgaben der Berlin-Definition) und zeitgleiches Vorliegen einer therapieresistenten Hypoxämie indizieren den

Einsatz der VV ECMO ausschließlich im Sinne einer Rescue-Therapie.

Hierbei wird eine therapieresistente Hypoxämie definiert durch einen Oxygenierungsindex von < 80 mmHg ggf. sogar < 60 mmHg trotz der konsequenten Umsetzung der obengenannten konventionellen Therapiemaßnahmen zur Optimierung des Gasaustausches.

- 2) Die Anwendung einer VV ECMO-Therapie ist bei akuter respiratorischer Insuffizienz und therapieresistenter Hyperkapnie mit deutlicher respiratorischer Azidose ($\text{pH} < 7,2$) in Betracht zu ziehen.

Hierbei muss neben der respiratorischen Azidose die Gefahr der Entwicklung einer Ventilator-induzierten Lungenschädigung trotz optimaler Einstellung der Beatmungsparameter vorliegen.

Für den Einsatz der VV ECMO-Therapie beim erwachsenen Patienten mit respiratorischer Insuffizienz werden in den ELSO-Empfehlungen von Tonna et al. (2021) die folgenden Indikationen genannt:

- 1) Hyperkapnisches respiratorisches Versagen ($\text{pH} < 7,25$), trotz optimaler konventioneller mechanischer Beatmung (Atemfrequenz 35 /min und Plateaudruck (Pplat) ≤ 30 cmH₂O)
- 2) Hypoxämisches respiratorisches Versagen (Horovitz-Quotient < 80 mmHg), trotz Optimierung der konventionellen Therapie einschließlich eines Therapieversuches mittels Bauchlagerung
- 3) Als unterstützendes Verfahren zur Überbrückung der Zeit bis zur Lungentransplantation oder bei primärer Graftdysfunktion im Anschluss an eine Lungentransplantation

1.6. Kontraindikationen der VV ECMO-Therapie

In der S3-Leitlinie: Invasive Beatmung und Einsatz extrakorporaler Verfahren bei akuter respiratorischer Insuffizienz werden Kontraindikationen für die VV ECMO-Therapie in

Deutschland nicht explizit definiert, jedoch zählen ein fortgeschrittenes Lebensalter, eine Insuffizienz des Immunsystems, eine protrahierte maschinelle Beatmungstherapie sowie ein Multiorganversagen zu den Faktoren, welche mit einer höheren Mortalität vergesellschaftet, sein können (DGAI, 2017).

Im Gegensatz dazu wird in den ELSO-Empfehlungen die fehlende Aussicht auf einen Therapieerfolg bspw. bei einer irreversiblen Grunderkrankung im Allgemeinen als eine absolute Kontraindikation definiert (Tonna et al., 2021). Die in der S3-Leitlinie: Invasive Beatmung und Einsatz extrakorporaler Verfahren bei akuter respiratorischer Insuffizienz (DGAI, 2017) obengenannten Risikofaktoren werden in Teilen von der ELSO als relative Kontraindikationen berücksichtigt. Hierbei zählen die folgenden klinischen Konstellationen zu den relativen Kontraindikationen für eine VV ECMO-Therapie: Intrazerebrale Blutungen, ausgeprägte Verletzungen des zentralen Nervensystems sowie irreversible und stark einschränkende Pathologien des zentralen Nervensystems, systemische Blutungen, Kontraindikationen für eine Antikoagulationstherapie, Immunsuppression, ein höheres Lebensalter und eine maschinelle Beatmung für mehr als 7 Tage mit einem Pplat > 30 cmH₂O und einer inspiratorischen Sauerstofffraktion (FiO₂) > 0,9 (Tonna et al., 2021).

1.7. Komplikationen und Überwachung während der VV ECMO-Therapie

Mögliche Komplikationen und unerwünschte Nebenwirkungen einer ECMO-Therapie lassen sich von den Funktionsprinzipien und den Voraussetzungen zur Durchführung einer ECMO-Therapie ableiten. Dabei differenziert die ELSO zwischen technischen Komplikationen (u. a. Kanülen-assoziierte Probleme, technische Störungen des Membranoxygenators oder der Pumpe und Defekte des Schlauchsystems) und patientenabhängigen Komplikationen (u.a. Blutungen aus den Punktionsstellen der Kanüle, Blutungen aus chirurgischen Wunden und Herzbeuteltamponade) (Paden et al., 2013). Weitere im Verlauf auftretende Komplikationen können intrazerebrale Blutungen, Verbrauchskoagulopathien, Thrombozytopathien, disseminierte intravasale Gerinnung bis hin zum erworbenen von-Willebrand-Syndrom (vWF-Syndrom) sein (Lotz und Müllenbach, 2018). Auch mögliche Langzeitfolgen einer ECMO-Therapie werden zunehmend beschrieben und so leiden Patienten auch unter möglichen psychiatrisch-psychologischen Folgeerkrankungen, die jedoch nicht allein mit der

ECMO-Therapie, sondern auch als Langzeitfolgen einer intensivmedizinischen Therapie verstanden werden können (Taylor et al., 2023).

Ein intensivmedizinisches Basismonitoring der Vitalfunktionen gehört zum klinischen Standard bei der Anwendung der ECMO; hämodynamische Diagnostik, die Beurteilung der Herzarbeit und der Durchblutung ist für die Bewertung der physiologischen und pathophysiologischen Veränderungen durch die ECMO essenziell. Hierzu wird die tägliche Durchführung einer Ultraschalldiagnostik zur Beurteilung der linksventrikulären Pumpfunktion des Herzens, der Durchblutung der unteren Extremitäten und der Kanülenposition empfohlen (Bernhardt et al., 2022). Zur Überwachung einer adäquaten Sauerstoffversorgung des zentralen Nervensystems wird ebenso die Durchführung eines Nahinfrarotspektroskopie-Monitorings (NIRS) empfohlen (Bernhardt et al., 2022). Regelmäßige neurologische Kontrollen sollten standardmäßig durchgeführt werden (Bernhardt et al., 2022).

1.8. Akutes Lungenversagen (*Acute Respiratory Distress Syndrome*)

Beim ARDS handelt es sich um einen pathologischen Prozess der Lunge, der mit einer schweren Oxygenierungsstörung einhergeht und ätiologisch auf unterschiedliche Auslöser zurückgeführt werden kann (Brodie und Bacchetta, 2011). Neben pulmonalen Krankheitsbildern wie Pneumonie und Aspiration können die folgenden extrapulmonalen Ursachen wie Sepsis, Polytrauma und akute Pankreatitis ebenfalls zu einem ARDS führen (Brodie und Bacchetta, 2011). Die von der ARDS Definition Task Force (2012) erarbeitete Berlin-Definition, eine international etablierte Konsensusdefinition, setzt für das Vorliegen eines ARDS die folgenden vier Kriterien voraus:

1. Klinik

Definierter Auslöser oder Ereignis innerhalb der letzten 7 Tage oder Neuauftreten oder Verschlechterung einer vorliegenden respiratorischen Insuffizienz.

2. Bildgebung

In der radiologischen Bildgebung (Röntgen- oder Computertomographie (CT) des Thorax) in den Lungen beidseits vorliegende unscharfe Infiltrate, welche

sich nicht auf Atelektasen, Pleuraergüsse oder raumfordernde Prozesse zurückführen lassen.

3. Ätiologie

Respiratorische Insuffizienz unter Ausschluss einer kardialen Genese oder Ausschluss einer Volumenüberladung.

4. Laborchemische Untersuchung

Horovitz-Quotient < 300 mmHg.

Als Horovitz-Quotient oder auch Oxygenierungsindex wird der Quotient bezeichnet, welcher aus dem arteriellen Sauerstoffpartialdruck (p_aO_2) und dem FiO_2 gebildet wird (p_aO_2/FiO_2). Der Horovitz-Quotient dient als Parameter für die Bestimmung des Schweregrades eines ARDS (DGAI, 2017):

a) Leichtes ARDS:

Horovitz-Quotient: 201 mmHg bis ≤ 300 mmHg und $PEEP \geq 5$ cmH₂O

b) Mittleres ARDS:

Horovitz-Quotient 101 mmHg bis ≤ 200 mmHg und $PEEP \geq 5$ cmH₂O

c) Schweres ARDS:

Horovitz-Quotient ≤ 100 mmHg und $PEEP \geq 5$ cmH₂O

Mit der Etablierung der Berlin-Definition in der modernen Intensivmedizin kristallisierten sich jedoch im Laufe der Zeit Schwächen dieser Definition heraus. Im Mittelpunkt standen dabei die inadäquaten Anwendungsmöglichkeiten der Berlin-Definition in unterschiedlichen klinischen Ausgangssituationen. Hierzu zählten insbesondere die folgenden klinischen Konstellationen: nicht-intubierte Patienten und die Therapie in einem Setting, in welchem die klinisch verfügbaren Ressourcen limitiert sind. Um die Defizite der Berlin-Definition unter diesen unterschiedlichen Rahmenbedingungen zu beseitigen, erfolgte die Erarbeitung der globalen Definition des ARDS mit der Einführung einer Differenzierung zwischen invasiv-beatmeten Patienten, nicht-intubierten Patienten und der Therapie in einem Setting, in welchem die klinisch verfügbaren Ressourcen limitiert

sind (Matthay et al., 2024). Durch diese Erweiterung kann unter der Berücksichtigung der klinischen Ausgangssituation mittels der neuen Diagnosekriterien die unterschiedliche klinische Versorgungsrealität wirklichkeitsgetreuer abgebildet werden. Unabhängig von dem vorliegenden klinischen Szenario existieren in der globalen Definition drei Grundvoraussetzungen, welche sich auf die Ätiologie, den zeitlichen Verlauf und die Befunde der bildgebenden Verfahren beziehen (Matthay et al., 2024). Dabei basieren die unter diesen Punkten festgehaltenen Charakteristika auf denen der Berlin-Definition. Im Rahmen der globalen Definition wurde hierbei jedoch die Anwendung einer Lungen-Sonographie mit Nachweis von B-Linien als ein neuer Aspekt unter dem Punkt der bildgebenden Verfahren ergänzt (Matthay et al., 2024). Eine weitere Neuerung ist die Berücksichtigung der pulsoxymetrisch gemessenen Sauerstoffsättigung (SpO_2) als eine Alternative zum Oxygenierungsindex (Matthay et al., 2024).

Neben diesen Grundvoraussetzungen existieren für die unterschiedlichen klinischen Ausgangssituation die weiteren folgenden Diagnosekriterien (Matthay et al., 2024):

1) Invasiv-beatmete Patienten

a) Mild: Horovitz-Quotient: 201 mmHg bis ≤ 300 mmHg oder
 $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$: 235 – ≤ 315 (bei einem SpO_2 von ≤ 97 %)

b) Moderat: Horovitz-Quotient: > 100 mmHg bis ≤ 200 mmHg oder
 $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$: 148 - ≤ 235 (bei einem SpO_2 von ≤ 97 %)

c) Schwer: Horovitz-Quotient ≤ 100 mmHg oder
 $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$: ≤ 148 (bei einem SpO_2 von ≤ 97 %)

2) Nicht-intubierte Patienten

Horovitz-Quotient ≤ 300 mmHg oder
 $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$: ≤ 315 (bei einem SpO_2 von ≤ 97 %) unter nasaler
high-flow-Therapie mit einer Flussrate von > 30 l/min
 oder
 eine nicht-invasive Beatmung bzw. einer Therapie mit kontinuierlichen

Atemwegsüberdruck (*continuous positive airway pressure*) mit einem PEEP von mindestens 5 cmH₂O.

- 3) Limitation der klinisch und infrastrukturell verfügbaren Ressourcen
 $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2: \leq 315$ (bei einem SpO_2 von $\leq 97\%$)
 Weder die Anwendung eines PEEPs noch die Angabe einer Mindestflussrate von Sauerstoff ist hier für die Diagnosestellung notwendig.

Zusammengefasst sind die wichtigen Neuerungen im Zuge der globalen Definition die Berücksichtigung der Lungen-Sonographie unter den bildgebenden Verfahren zur Darstellung der pathophysiologischen Prozesse der Lunge sowie die Hinzunahme des SpO_2 als einen weiteren diagnostischen Parameter, welche beides wichtige Instrumente im Ressourcen-limitierten Setting sein können (Matthay et al., 2024). Außerdem werden mit der globalen Definition auch ARDS-Patienten ohne invasive Beatmung miterfasst (Matthay et al., 2024). Im Kontext dieser Dissertationsarbeit, welche sich mit der Versorgungsrealität im hochtechnisierten Deutschland auseinandersetzt, wird für die Definition des ARDS ausschließlich die Berlin-Definition berücksichtigt.

Für die Inzidenz des ARDS konnte für den Zeitraum von April 1999 bis Juli 2000 für den Verwaltungsbezirk King County (Washington, Vereinigte Staaten von Amerika) von Rubenfeld et al. (2005) eine Inzidenz von 78,9 Fällen auf 100.000 Einwohner erfasst werden. Für Europa werden von Bellani et al. (2016) 0,48 Fälle pro Intensivbett über einen Zeitraum von 4 Wochen beschrieben. Dabei existieren global auch geographische Unterschiede in Bezug auf die Varianz (Bellani et al., 2016). Klinisch äußern sich die pathophysiologischen Prozesse der Lunge mit Dyspnoe, Veränderungen des Säure-Basen-Haushalts und einer Oxygenierungsstörung mit Hyperkapnie. Die kausale Therapie des ARDS sollte sich am Auslöser des Syndroms orientieren. Symptomatisch sollten die allgemein etablierten therapeutischen Maßnahmen, wie die Oberkörperhochlagerung und eine lungenprotektive Ventilationsstrategie umgesetzt werden. Zudem wird in der S3-Leitlinie: Invasive Beatmung und Einsatz extrakorporaler Verfahren bei akuter respiratorischer Insuffizienz der DGAI als auch in den *General Guidelines* der ELSO die Durchführung einer Bauchlagerung empfohlen (DGAI, 2017;

ELSO, 2017). Die VV ECMO stellt in der Therapie des ARDS eine temporäre Therapieoption dar (Lotz und Müllenbach, 2018). Die Krankenhausmortalität des ARDS liegt dabei nach Bellani et al. (2016) bei 34,9 % für das milde ARDS, 40,3 % für das moderate ARDS und 46,1 % für das schwere ARDS.

1.9. Anforderungen für die Durchführung einer VV ECMO-Therapie

Die Behandlung von VV ECMO-Patienten setzt eine umfangreiche intensivmedizinische Expertise und Infrastruktur voraus. In der S3-Leitlinie: Invasive Beatmung und Einsatz extrakorporaler Verfahren bei akuter respiratorischer Insuffizienz (DGAI, 2017) werden hierbei unter anderen die Verfügbarkeit von Nierenersatzverfahren, Bronchoskopie, Echokardiographie und Gefäßdoppleruntersuchungen, Computertomographie, Blutbank und Zentrallabor sowie das Vorhandensein einer gefäß-, viszeral- und thoraxchirurgischen Einheit empfohlen. Neben diesen Punkten ist es akzeptierter Konsens, dass eine derart komplexe Therapie spezialisierten Zentren vorbehalten sein sollte, die über ausreichend und konstante Fallzahlen bei der Anwendung dieses Therapieverfahrens verfügen. In der S3-Leitlinie: Invasive Beatmung und Einsatz extrakorporaler Verfahren bei akuter respiratorischer Insuffizienz (DGAI, 2017) wird hierbei eine Mindestfallzahl von 20 ECMO-Anwendungen pro Jahr als Empfehlung ausgesprochen. Zudem sollte eine VV ECMO-Therapie in einem interprofessionellen und interdisziplinären Team erfolgen, welches über eine entsprechende Weiterbildung und Erfahrung im Bereich der extrakorporalen Verfahren verfügt (DGAI, 2017). In Bezug auf den Pflegeschlüssel (Verhältnis von Pflegepersonal zu betreuten Patienten) wird in der S3-Leitlinie: Invasive Beatmung und Einsatz extrakorporaler Verfahren bei akuter respiratorischer Insuffizienz (DGAI, 2017) eine 1:1-Betreuung bei der Versorgung von VV ECMO-Patienten empfohlen. Im Positionspapier der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI) zur Empfehlung zur Struktur und Ausstattung von Intensivstationen (2022) wird empfohlen den Pflegeschlüssel in Abhängigkeit vom *Level of Care* (LOC) der zu betreuenden Patienten festzulegen (Waydhas et al., 2022). Das LOC unterscheidet dabei in Level I (niedrigste Stufe), Level II (mittlere Stufe) und Level III (höchste Stufe) und definiert damit das Maß an notwendiger Betreuung in Abhängigkeit von der Krankheitsschwere. Bezugnehmend auf die Vorgaben der European Society of Intensive Care Medicine müssen bei einem LOC 3 mindestens

2 Organsysteme betroffen sein (Waydhas et al., 2022). Dabei sind ARDS-Patienten nach dieser Definition durch den Ausfall der Lungen mindestens auf dem LOC 2 einzustufen. Ein LOC 3 liegt bei einem Versagen von mindestens 2 Organsystemen vor und ist bei einem schweren ARDS häufig zu beobachten. Neben den Vorgaben zu quantitativen Versorgungsmerkmalen im Bereich der Pflege spielt auch die berufliche Qualifikation eine elementare Rolle bei der Patientenbetreuung. Die S3-Leitlinie: Invasive Beatmung und Einsatz extrakorporaler Verfahren bei akuter respiratorischer Insuffizienz (DGAI, 2017) empfiehlt eine entsprechende berufliche Qualifikation des Pflegepersonals, insbesondere eines strukturierten Curriculums zur ECMO-Therapie (DGAI, 2017). Auf internationaler Ebene wird im Hinblick auf die pflegerische Betreuung der Patienten von der ELSO die Empfehlung formuliert, eine Pflegekraft mit intensivmedizinischer Spezialisierung oder entsprechender Berufserfahrung (mindestens ein Jahr) einzusetzen oder alternativ einen Kardiotechniker mit ECMO-Erfahrung (ELSO, 2014). Für das ärztliche Personal existieren für Deutschland keine expliziten Strukturvorgaben. Von Seiten der ELSO wird empfohlen, dass ein Arzt mit mindestens 3 Jahren Erfahrung im Bereich der ECMO-Therapie 24 Stunden für die ECMO-Patienten-Betreuung verfügbar ist (ELSO, 2014). Die obengenannten ELSO-Vorgaben in Bezug auf die berufliche Qualifikation des Personals werden in dieser Form ebenfalls in den ELSO-Empfehlungen für die Durchführung von Transportfahrten formuliert (Labib et al., 2022).

1.10. Ziel der Dissertation

Die vorliegende Promotionsarbeit soll einen möglichst repräsentativen und praxisbezogenen Einblick über die aktuelle Anwendung der VV ECMO-Therapie beim ARDS des Erwachsenen im klinischen Setting in Deutschland erlauben. In dieser Form existieren bisher keine umfangreichen Untersuchungen, welche einen detaillierten Einblick über die tatsächlich praktizierte klinische Realität der gegenwärtigen VV ECMO Versorgung unter den Gesichtspunkten von therapeutischen Empfehlungen, infrastrukturellen und organisatorischen Aspekten sowie den allgemein-anerkannten Leitlinien der ELSO, DIVI und DGAI widerspiegeln.

2. Material und Methoden

Für die prospektive Datenerhebung wurden nach einer intensiven Literaturrecherche, welche im Mai 2020 abgeschlossen werden konnte, vier wesentliche Arbeitsschritte umgesetzt, um die Ziele dieses wissenschaftlichen Projektes zu realisieren. Hierzu zählten die Identifikation von Kliniken mit VV ECMO-Verfügbarkeit, die Erstellung eines wissenschaftlichen und interdisziplinären Fragebogens zur Datenerhebung, die Auswahl und Gestaltung eines geeigneten Mediums zur Datenerhebung und die abschließende statistische Auswertung. Im Folgenden werden die für diese Arbeitsschritte genutzten Materialien und angewandten Methoden zur Durchführung dieser Untersuchung im Detail beschrieben.

2.1. Kliniken mit ECMO-Verfügbarkeit

Zur Vorbereitung auf die Datenerhebung wurde zunächst im Januar 2020 mithilfe des ARDS-Netzwerk Deutschlands eine Liste von Kliniken in Deutschland erstellt, welche sich auf die Therapie des ARDS spezialisiert haben (ARDS-Netzwerk Deutschland, 2020).

Mit Beginn der Corona-Pandemie wurde das Intensivregister der DIVI (DIVI-Intensivregister) im Jahr 2020 initiiert (DIVI, 2020a). Das bis dahin existierende ARDS-Netzwerk Deutschland wurde in das DIVI-Intensivregister integriert (DIVI, 2020b). Die Internetseite des ARDS-Netzwerkes (<http://ardsnetzwerk.de/>) wurde im Zuge dieser Zusammenführung deaktiviert (Stand: 6. Mai 2022). Das DIVI-Intensivregister führt sämtliche Intensivstationen (ICU) in Deutschland auf und zeigt die Verfügbarkeit von ECMO-Geräten in den aufgeführten Intensivstationen an (DIVI, 2020a). In den täglich veröffentlichten Tagesreporten des DIVI-Intensivregisters werden unter anderem die absoluten Zahlen an belegten und verfügbaren Intensivbetten (ICU-Betten) und ECMO-Behandlungskapazitäten angegeben. Diese öffentlichen Daten resultieren aus den täglichen und ab Mitte April 2020 verpflichtenden Meldungen der partizipierenden Intensivstationen und wurden in der vorliegenden Arbeit als Referenz für epidemiologische Kennzahlen (ECMO-Geräte, Intensivbettenanzahl etc.) genutzt (DIVI, 2020c). Das DIVI-Intensivregister erlaubt mittels einer Filtersuchfunktion die alleinige Betrachtung von Intensivstationen, welche über die ECMO als Therapieoption verfügen.

Mit dieser Funktion wurden die Kliniken für diese Untersuchung identifiziert. Ein Abgleich der ECMO-Verfügbarkeit mit den initial erfassten Kliniken des ARDS-Netzwerkes im DIVI-Intensivregister zeigte, dass ein Teil der Kliniken des ARDS-Netzwerkes nicht über die Möglichkeit einer ECMO-Therapie verfügt. Daher erfolgte der Ausschluss dieser Kliniken. Zusätzlich wurde, sofern verschiedene Abteilungen eines Krankenhauses im ARDS-Netzwerk aufgeführt waren, durch Recherche auf den Klinik-Homepages eruiert, ob es sich dabei um einen interdisziplinären Zusammenschluss handelt oder ob beide Abteilungen unabhängig voneinander die VV ECMO-Therapie beim ARDS durchführen. Dieser Arbeitsschritt führte im April 2020 zu einer weiteren Reduktion der potenziellen Umfrageteilnehmer.

Zusätzlich zu den Kliniken des ARDS-Netzwerks konnten im April 2020 mithilfe des DIVI-Intensivregisters weitere Krankenhäuser identifiziert werden, die über eine ECMO als Therapieoption verfügen. Dabei wurden jedoch auch Kliniken mit ECMO-Geräten erfasst, welche über einen herzchirurgischen oder kardiologischen Behandlungsschwerpunkt verfügen. Im Folgenden erfolgte ein Ausschluss von Einrichtungen, welche die reine Bezeichnung Herzzentrum führen, über einen ausschließlichen herzchirurgischen Schwerpunkt verfügen oder bei welchen anhand der Informationen auf der Klinik-Homepage eine eindeutige Fokussierung auf die VA ECMO ersichtlich wurde. Ausgenommen von diesem Ausschluss sind Abteilungen, welche Teil des ARDS-Netzwerkes sind oder explizit die VV ECMO-Therapie als Therapieoption in ihrer Abteilung auf ihrer Internetseite aufgeführt haben. Zusätzlich zeigten sich auch im DIVI-Intensivregister Kliniken, welche mit verschiedenen Abteilungen unterschiedlicher Fachrichtungen aufgeführt worden sind. Hier konnten bei der Recherche auf den Webseiten der Kliniken interdisziplinäre Therapieansätze oder eine einzige definitive, hauptverantwortliche Fachabteilung für die VV ECMO-Therapie eruiert werden, sodass diese Abteilungen zu einer teilnehmenden Klinik zusammengefasst werden konnten. Im November 2020 erfolgte erneut anhand der Angaben des DIVI-Intensivregisters eine finale Reevaluation der Teilnehmerliste. Dabei konnten weitere Kliniken mit VV ECMO-Verfügbarkeit identifiziert werden und mittels der erneuten Anwendung der oben beschriebenen Ausschlusskriterien die finale Liste der VV ECMO Kliniken fertiggestellt werden (Anhang 6.1). Für die Teilnehmerliste wurden pädiatrische Einrichtungen nicht berücksichtigt. Die Erstellung der Teilnehmerliste wurde am 30.11.2020 beendet.

Die Adressaten der Umfrage wurden den im ARDS-Netzwerk öffentlich hinterlegten Kontaktdaten entnommen (ARDS-/ECMO-Beauftragten) (<http://ardsnetzwerk.de/>). Das gleiche Prozedere erfolgte für die Kontaktangaben, welche im DIVI-Intensivregister zum Zeitpunkt der Teilnehmererfassung zugänglich hinterlegt waren. Bei fehlender Nennung eines expliziten Ansprechpartners wurde der ärztliche Sektionsleiter oder Oberarzt der Intensivstation, der leitende Oberarzt, der Chefarzt oder das Kliniksekretariat als Adressat für die Umfrage festgelegt, wobei diese Kontaktdaten der Klinikhomepage entnommen wurden.

2.2. Erstellung eines wissenschaftlichen Fragebogens

Für den Entwurf des Fragebogens waren sowohl klinikinterne Algorithmen und Standardprozeduren als auch national wie international verschiedene Konzepte bei der Anwendung der VV ECMO-Therapie relevant. Insbesondere die Empfehlungen der DIVI und der DGAI als auch die allgemein anerkannten Empfehlungen der ELSO nahmen bei der Gestaltung des Fragebogens einen hohen Stellenwert ein. Zudem wurden die fachgesellschaftlichen Leitlinien, die wissenschaftliche Literatur und die Ergebnisse klinischer Studien berücksichtigt. Gesundheitspolitische Fragen und Aspekte, welche die organisatorische Ebene der VV ECMO-Therapie oder die Infrastruktur der Kliniken betreffen, wurden ebenfalls einbezogen. Durch den interdisziplinären Charakter einer VV ECMO-Therapie wurde unter Einbeziehung unterschiedlicher Berufsgruppen des an der ECMO Versorgung beteiligten Behandlungsteams (ärztliches und pflegerisches Personal, Rettungsdienst) eine gemeinsame Reevaluation des Fragebogens durchgeführt, sodass auch bis dato unberücksichtigte Dimensionen der VV ECMO-Therapie einfließen konnten. Der Fragebogen gliedert sich in verschiedene Blöcke mit thematisch verknüpften Unterblöcken, welche unterschiedliche Dimensionen der VV ECMO-Therapie beleuchten. Bei der Auswahl der Fragetypen wurden die folgenden Formate verwendet: Single-Choice- und Multiple-Choice-Fragen, offene Textfeldfragen, Drag-and-Drop-Fragen sowie Kreuztabellen. Einige Fragen ließen eine Mehrfachauswahl zu. Zudem bestand für einige Fragen die Antwortmöglichkeit „Sonstige“, bei welchen der Teilnehmende in ein dazugehöriges Textfeld eine Freitextantwort hinzufügen konnte. Keine der Fragen wurde als Pflichtfrage konzipiert. Fehlende Angaben wurden als keine Angabe (NA) gewertet. Angaben, im Freitextformat, die im Kontext der Fragestellung

offensichtlich fehlerhaft, unlogisch oder erkennbar unvollständig waren wurden als nicht valide (NS) gewertet. Der Fragebogen ist im Anhang dieser Dissertationsarbeit zu finden (Anhang 6.2).

2.3. Datenerhebung

Nach der Erstellung der endgültigen Version des Fragebogens wurde entschieden, die Untersuchung als onlinebasierte Umfrage durchzuführen. Für die Durchführung der Online-Umfrage wurde das Produkt EFS-Survey Unipark „Test“ & „Student“ der Firma cleverbridge/ Tivian XI GmbH (Köln, Deutschland) genutzt. Dabei wurden über die Funktion der Teilnehmerverwaltung eine Liste der Umfrageteilnehmer aller recherchierten Kliniken generiert und nach Bundesland und Fachrichtung (Anästhesiologie, Innere Medizin, Chirurgie) in Gruppen eingeteilt. Der digitale Fragebogen wurde unter Verwendung des Fragebogen-Editors der Umfrageplattform als dynamischer Fragebogen konzipiert. Das bedeutet, dass die oben genannten Unterblöcke als sogenannte Filterseiten eingerichtet worden sind, welche für die Teilnehmer nur dann zugänglich waren, wenn sie die entsprechende abhängige Filterbedingung einer Variable erfüllten (verzweigte Fragen). Dies sollte der Verbesserung der Effizienz und Benutzerfreundlichkeit des Fragebogens dienen.

Es erfolgte eine Einschätzung dieser Untersuchung durch die Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Universität Bonn. Aufgrund der Tatsache, dass es sich bei diesem Projekt um kein biomedizinisches Forschungsvorhaben am Menschen nach § 15 Berufsordnung für die nordrheinischen Ärztinnen und Ärzte handelt, konnte auf einen klassischen Ethikantrag verzichtet werden. Zusätzlich wurde durch die Ethikkommission die Notwendigkeit einer Stellungnahme des Datenschutzbeauftragten für nicht erforderlich erachtet, weil personenbezogene Daten in dieser Untersuchung nicht erhoben werden.

Aufgrund der Coronavirus-Pandemie und der damit verbundenen Belastungen auf den Intensivstationen wurde der Beginn der Umfrage zeitlich mehrfach verschoben. Schließlich erfolgte nach Abklingen der pandemischen Lage am 12.04.2022 die Versendung der Einladungen zur Online-Umfrage. Dazu wurden E-Mails auf Basis von

programmierten Mailvorlagen über das Umfrage-Tool generiert und versendet. Die Einladungsmail enthielt den Weblink, der die Teilnehmer zur Online-Umfrage weiterleitete. Am 27.04.2022 erfolgte eine erneute Kontaktaufnahme in Form einer Erinnerungsmail, um die Teilnehmer erneut zur Teilnahme an der Umfrage zu motivieren. Das Ende der Umfragephase war ursprünglich für den 31.05.2022 angesetzt. Bei teilweise aufgetretenen Fehlermeldungen des Systems, die beispielsweise die Unzustellbarkeit der Einladung zeigten, erfolgte eine Verlängerung der Möglichkeit zur Beantwortung des Online-Fragebogens bis zum 30.06.2022.

2.4. Statistik

Die Datenauswertung erfolgte in anonymisierter Form. Lediglich die Teilnahme der eingeladenen Kliniken wurde vom Umfragetool erfasst, um die Repräsentativität der Studie zu gewährleisten. Nach Abschluss der Datenerhebung am 30.06.2022 erfolgte der Datenexport und die Datenauswertung der Ergebnisse mit den Programmen Numbers (Apple®, Version 3.6.2.(2577)) und R® (R Core Team, Version 4.2.2.). Mithilfe des Codebuches aus der Umfrageplattform wurde eine Anpassung der Variablen durchgeführt, um die Übersichtlichkeit der Umfrageergebnisse zu verbessern. Dabei wurden nur Datensätze mit dem Dispositionscode „Beendet“ und „Beendet nach Unterbrechung“ für die Datenauswertung berücksichtigt. Unvollständige Datensätze (Dispositionscode: Unterbrochen) wurden nicht berücksichtigt. Zudem erfolgte eine Datenbereinigung, in welchem Datensätze mit unlogischen Angaben entfernt worden sind. Die Datenauswertung der erhobenen Daten erfolgte ausschließlich deskriptiv. Die Grundlage von epidemiologischen und demographischen Daten dieser Untersuchung stellten die öffentlichen Angaben des DIVI-Intensivregisters sowie die Daten des deutschen Bundesamts für Statistik dar. Unter Einhaltung der Regeln der Statistik wurden die folgenden Größen anhand des Datensatzes ausgegeben: absolute Stichprobengröße (n), Mittelwerte, Median, Maximalwert, Minimalwert, Interquartilsabstand (IQR), Standardabweichung (SD), Prozentangaben und Modalwerte. Die Prozentwerte sind dabei auf die erste Nachkommastelle gerundet worden. Bei der vorliegenden Stichprobengröße würde für eine logische statistische und graphische Darstellung sowie zur Optimierung der Lesbarkeit mit vernachlässigbaren Rundungsfehlern gearbeitet, um den Wert von 100 % abzubilden, ohne damit für diese Untersuchung relevante oder

signifikante Verzerrungen zu verursachen. Die graphische Darstellung der Ergebnisse erfolgte durch das Programm Numbers (Apple®, Version 3.6.2. (2577)). Für die geographische Darstellung der teilnehmenden ECMO Kliniken wurde über Google Maps (Map data ©2022 GeoBasis-DE/BKG) (©2009), Google, Inst. Geogr. Nacional) mithilfe der Funktion „Meine Karten“ eine geographische Abbildung generiert.

3. Ergebnisse

Im Erhebungszeitraum vom 12.04.2022 bis 30.06.2022 wurden insgesamt 143 Kliniken zur Teilnahme an der Umfrage eingeladen, wobei 62 (43,4 %) den Fragebogen als vollständig bearbeitet abgesendet haben. Die Ergebnisse bilden hierbei die folgenden Bereiche der VV ECMO-Therapie ab:

- Block 1: Intensivmedizinische Infrastruktur und epidemiologische Kenngrößen
- Block 2: Organisation und Management bei der Versorgung von VV ECMO-Patienten
- Block 3: Transport und Logistik von VV ECMO-Patienten
Unterblock 3: ECMO-Transport-Team
- Block 4: Monitoring und Diagnostik während der stationären VV ECMO-Therapie
Unterblock 4: Zeitgleicher Einsatz von Pulskontur-Herzzeitvolumen (PiCCO®) und Pulmonalarterienkatheter (PAK)
- Block 5: Antikoagulation und Gerinnungsdiagnostik
Unterblock 5: Zielwerte der aPTT unter Unfraktionierten Heparin (UFH) und Argatroban
- Block 6: Rolle des vWF während der VV ECMO-Therapie
Unterblock 6: vWF - Zeitliche Abstände bei der Verlaufsdagnostik und therapeutische Konsequenz
- Block 7: Maschinelle Beatmung unter der VV ECMO-Therapie
Unterblock 7: Veränderung der Beatmungsstrategie beim Einsatz einer Ösophagusdruckmessung
- Block 8: Einstellungen und Standardprozeduren bei der VV ECMO-Therapie

3.1. ECMO-Verfügbarkeit und Intensivbettenkapazitäten in Deutschland

Zur Erfassung der Intensivbetten- und ECMO-Kapazitäten wurden das ARDS-Netzwerk und das DIVI-Intensivregister genutzt. Das ARDS-Netzwerk zählte im Januar 2020 insgesamt 89 Mitglieder, die zur initialen Teilnehmerliste zusammengefasst worden sind (ARDS-Netzwerk Deutschland, 2020). Eine Klinikabteilung wurde dort dabei mit ihrer Poliklinik und der dazugehörigen Intensivstation zweifach aufgeführt, sodass es sich effektiv um 88 Mitglieder handelt. Von diesen Kliniken wurden 8 aufgrund fehlender ECMO-Kapazitäten entfernt. Weitere 7 Krankenhäuser verfügen über mehrere aufgeführte Abteilungen unterschiedlicher Fachdisziplinen im ARDS-Netzwerk, welche interdisziplinär zusammenarbeiten. Aufgrund dessen konnten diese Einrichtungen zu einem Teilnehmer zusammengefasst werden, sodass sich die Teilnehmerliste um weitere 8 Klinikabteilungen reduzierte. Die Teilnehmerliste belief sich damit nach Anwendung der Ausschlusskriterien auf 72 Teilnehmer. Dabei verteilen diese sich auf 69 unterschiedliche Krankenhäuser. Im April 2020 wurden weitere 53 Kliniken mit ECMO-Kapazitäten identifiziert, sodass sich die Teilnehmerliste nach Ausschluss von 8 herzchirurgischen Zentren auf 117 Krankenhäuser belief (DIVI, 2020a). Im November 2020 konnten weitere 33 Kliniken erfasst werden, welche über die ECMO-Therapie verfügen (DIVI, 2020a). Nach erneuter Anwendung der Ausschlusskriterien konnten für Deutschland insgesamt 143 Krankenhäuser für die finale Teilnehmerliste identifiziert werden (Abb. 3).

Unter Berücksichtigung der herzchirurgischen und VA ECMO-Zentren existieren in Deutschland nach dieser Analyse 158 Krankenhäuser, die formal technisch ausgestattet in der Lage sind, eine ECMO-Therapie durchzuführen (Stand: November 2020). Die gesamte Auflistung aller Einrichtungen mit ECMO-Verfügbarkeit findet sich im Anhang (Anhang 6.1).

Die Gesamtanzahl der ECMO-Geräte auf allen Intensivstationen in Deutschland belief sich zu Beginn dieser Untersuchung am 29.03.2020 nach Angaben des DIVI-Intensivregisters auf 425 ECMO-Geräte (DIVI, 2020d). Durch die Corona-Pandemie und damit verbundenen politischen Anforderungsveränderungen sowie finanziellen Förderungen wurden am 01.11.2020, dem Ende der Recherche, im DIVI-Intensivregister insgesamt 740 ECMO-Geräte gelistet (DIVI, 2020h). Im Verlauf der Untersuchung zeigten

sich anhand der öffentlich einsehbaren DIVI-Tagesreporte die dargestellten Veränderungen bei den verfügbaren ECMO-Kapazitäten in Deutschland (Abb. 4).

Zusätzlich sind die Veränderungen bei der Anzahl der ICU-Betten (*low-care* und *high-care*) zu denselben Zeitpunkten in dieser Abbildung dargestellt (*low-* und *high-care*, ohne ECMO). Dabei wird von der DIVI erst ab dem 01.01.2021 zwischen pädiatrischen und erwachsenen ICU-Betten differenziert, sodass sich die abgebildeten Zahlen der ICU-Betten erst zu diesem Zeitpunkt ausschließlich auf die erwachsenen Patienten beziehen (Abb. 4).

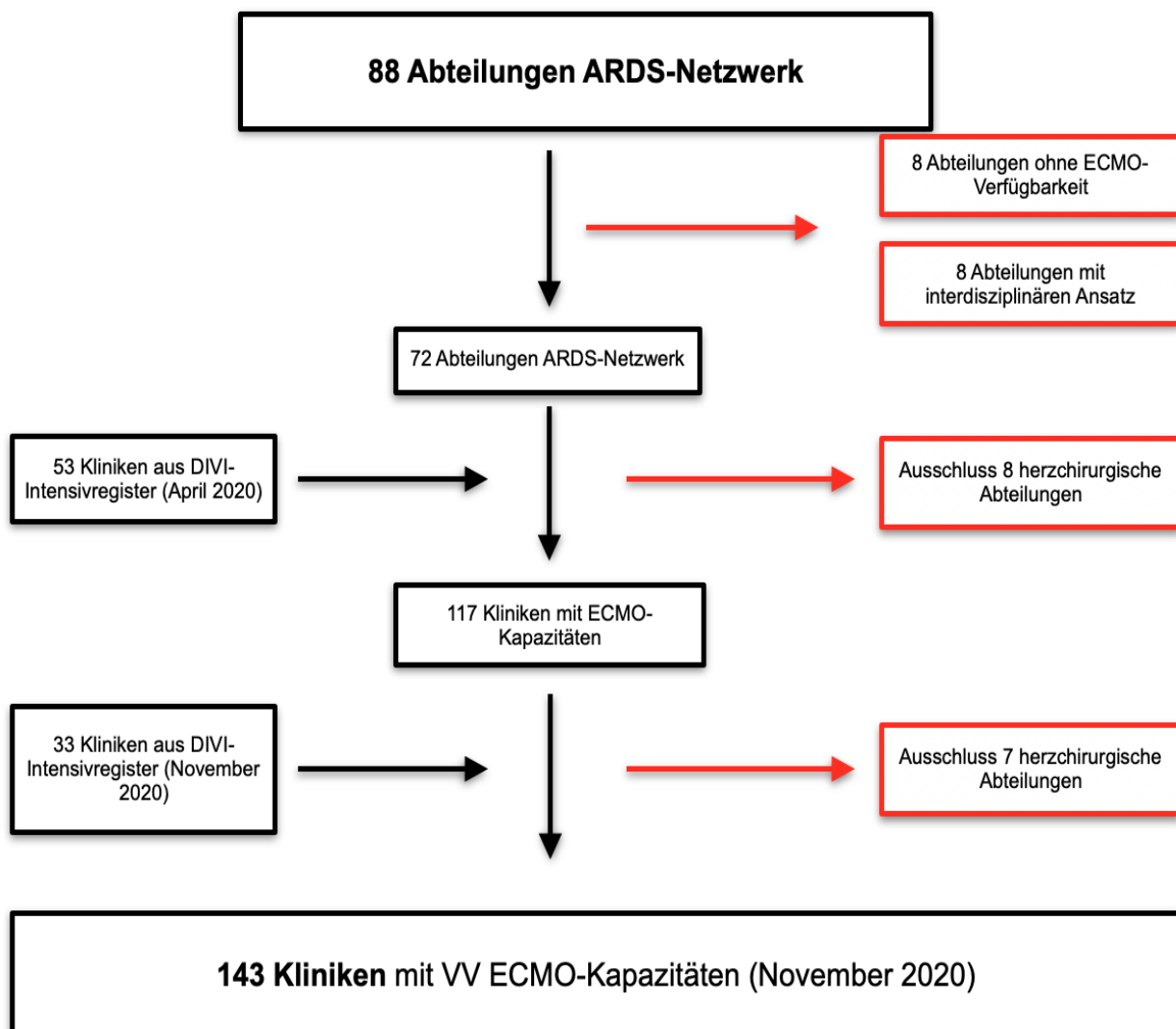


Abb. 3: Chartflow: Graphische Darstellung der Ermittlung und Auswahl qualifizierter Kliniken mit VV ECMO-Verfügbarkeit in Deutschland für die Umfrage.

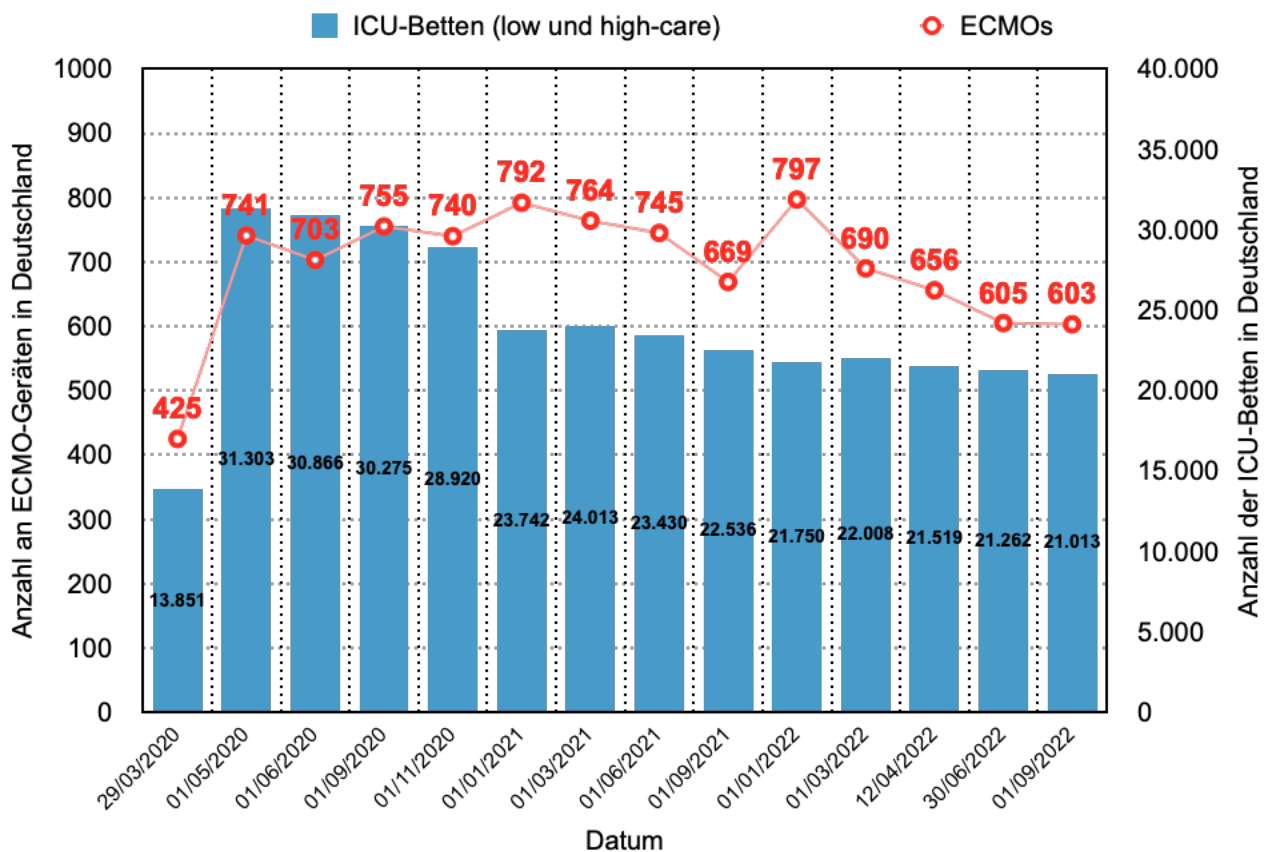


Abb. 4: Verlauf der Intensivbetten- und ECMO-Behandlungskapazitäten in Deutschland vom 29.03.2020 bis 01.09.2022 anhand der öffentlichen Daten der Tagesreporte des DIVI-Intensivregisters. Eine Differenzierung zwischen erwachsenen und pädiatrischen Intensivbetten erfolgte hierbei erst ab 01.01.2021, sodass sich die Angaben erst zu diesem Zeitpunkt ausschließlich auf die intensivmedizinischen Behandlungskapazitäten für erwachsene Patienten beziehen (DIVI, 2020d, 2020e, 2020f, 2020g, 2020h, 2021a, 2021b, 2021c, 2021d, 2022a, 2022b, 2022c, 2022d, 2022e).

3.2. Entwicklung des Fragebogens

Es wurde ein Fragebogen generiert, der unter Berücksichtigung der bedingten Fragen 49 Items umfasst. Der Fragebogen gliedert sich dabei in die oben genannten Blöcke. Der Umfragebogen befindet sich im Anhang (Anhang 6.2).

3.3. Umfang der Stichprobe - Rücklaufquote

Insgesamt wurden alle 143 identifizierten ECMO-Kliniken mit VV ECMO-Verfügbarkeit zur Umfrage eingeladen. Dabei wurden von den 62 vorliegenden Datensätzen (Dispositionscode „Beendet“, „Beendet nach Unterbrechung“) insgesamt 4 Datensätze für die statistische Aufarbeitung noch nachträglich entfernt: bei zwei Datensätzen waren die Angaben für sämtliche Items nicht valide; bei zwei weiteren Datensätzen ist trotz des

entsprechenden Dispositionscode kein auswertbarer Datensatz vorhanden gewesen. Der finale Datensatz auf dessen Grundlage die weitere statistische Aufarbeitung erfolgt umfasst somit 58 vollständige Fragebögen von 143 angefragten Krankenhäusern. Dies entspricht einem prozentualen Anteil von 40,6 % der in Deutschland identifizierten Abteilungen mit VV ECMO-Verfügbarkeit.

In Bezug auf die im Erhebungszeitraum im DIVI-Intensivregister gemeldeten ECMO-Geräte werden durch die teilnehmenden Kliniken am 12.04.2022 somit 57,0 % und am 30.06.2022 insgesamt 61,8 % der in Deutschland verfügbaren ECMO-Behandlungsoptionen repräsentiert (DIVI, 2022c, 2022d).

3.4. Geographische Verteilung der Umfrageteilnehmer

Geographisch verteilen sich die Teilnehmer wie auf der abgebildeten Landkarte dargestellt (Map data ©2022 GeoBasis-DE/BKG) (©2009), Google, Inst. Geogr. Nacional) (Abb. 5).



Abb. 5: Geographische Verteilung der teilnehmenden Kliniken auf Bundesebene (Map data ©2022 GeoBasis-DE/BKG) (©2009), Google, Inst. Geogr. Nacional)

3.5. Block 1: Intensivmedizinische Infrastruktur und epidemiologische Kenngrößen

Unter diesem Abschnitt werden die epidemiologischen und infrastrukturellen Kenngrößen der teilnehmenden Kliniken erfasst, zu welchen die Intensivbetten- und ECMO-Geräte-Anzahl, die klinische Erfahrung mit der VV ECMO-Therapie in Jahren, die Höhe der durchschnittlichen Fallzahlen pro Jahr, die Krankenhausentlassrate der behandelten VV ECMO Patienten sowie die Anzahl der parallel möglichen betriebenen VV ECMOs.

3.5.1. ICU-Bettenkapazitäten der teilnehmenden Einrichtungen

Bei der Erfassung der demographischen Kenngrößen und den Aspekten im Hinblick auf die Infrastruktur der VV ECMO-Zentren verfügen die 58 teilnehmenden Zentren in Summe über 1.607 Intensivbetten. Dies entspricht mit Blick auf die Daten des DIVI-Intensivregisters 7,5 % (12.04.2022) bzw. 7,6 % (30.06.2022) der insgesamt an diesen Tagen ausgewiesenen Intensivbetten (DIVI, 2022c, 2022d). Der Median beläuft sich auf 21 (IQR 14-36). Die größte Intensivstation gibt dabei eine Bettenanzahl von 96 ICU-Betten an. Die geringste Bettenkapazität liegt bei 10 Betten (Abb. 6).

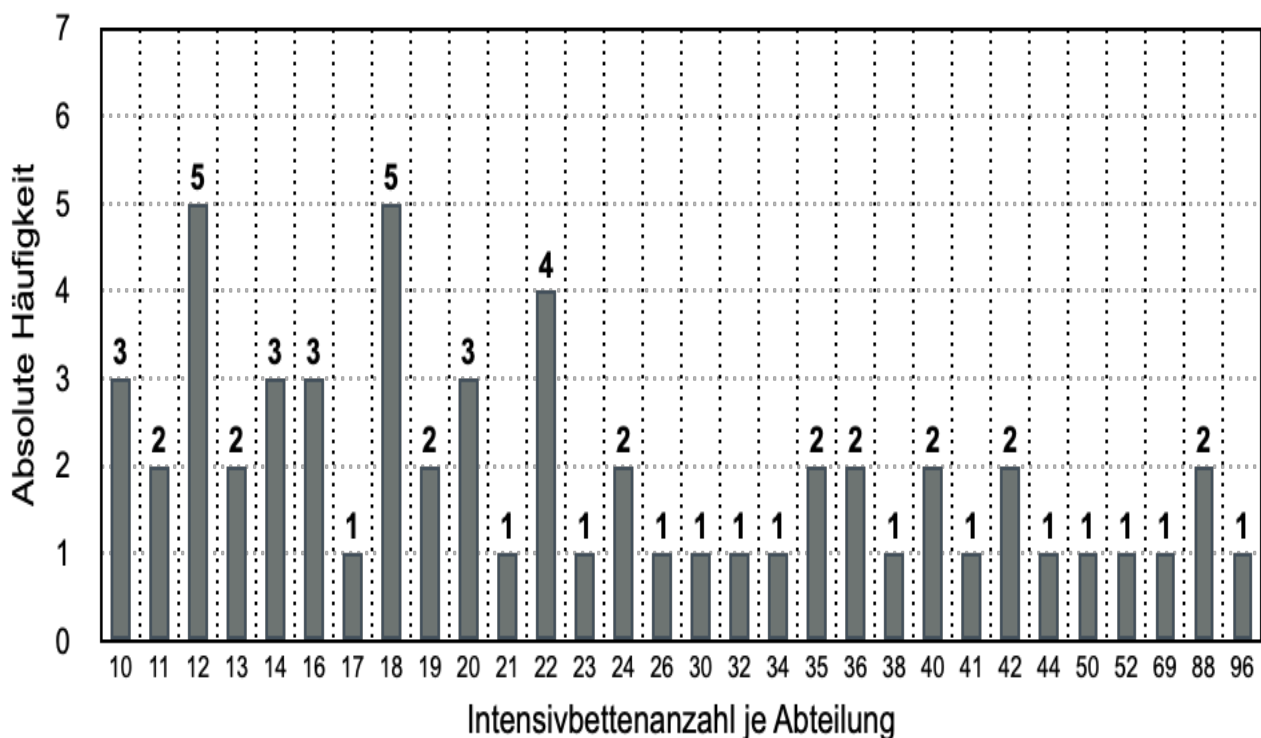


Abb. 6: Verteilung der Intensivbettenanzahl je Intensivstation in den teilnehmenden Einrichtungen angegeben in absoluten Zahlen (schwarz) (n= 58)

3.5.2. Anzahl der ECMO-Geräte je Intensivstation

Auf die Gesamtanzahl der erfassten Intensivbetten entfällt insgesamt eine Anzahl von 374 ECMO-Geräten in dieser Stichprobe. Dabei liegt der Median bei 5 (IQR 2-9). Der erhobene Maximalwert an ECMO-Konsolen beläuft sich auf 24. Das Minimum an ECMO-Geräten beträgt eins. Der Modalwert liegt bei zwei ECMO-Geräten pro Intensivstation mit 11 Angaben (Abb. 7).

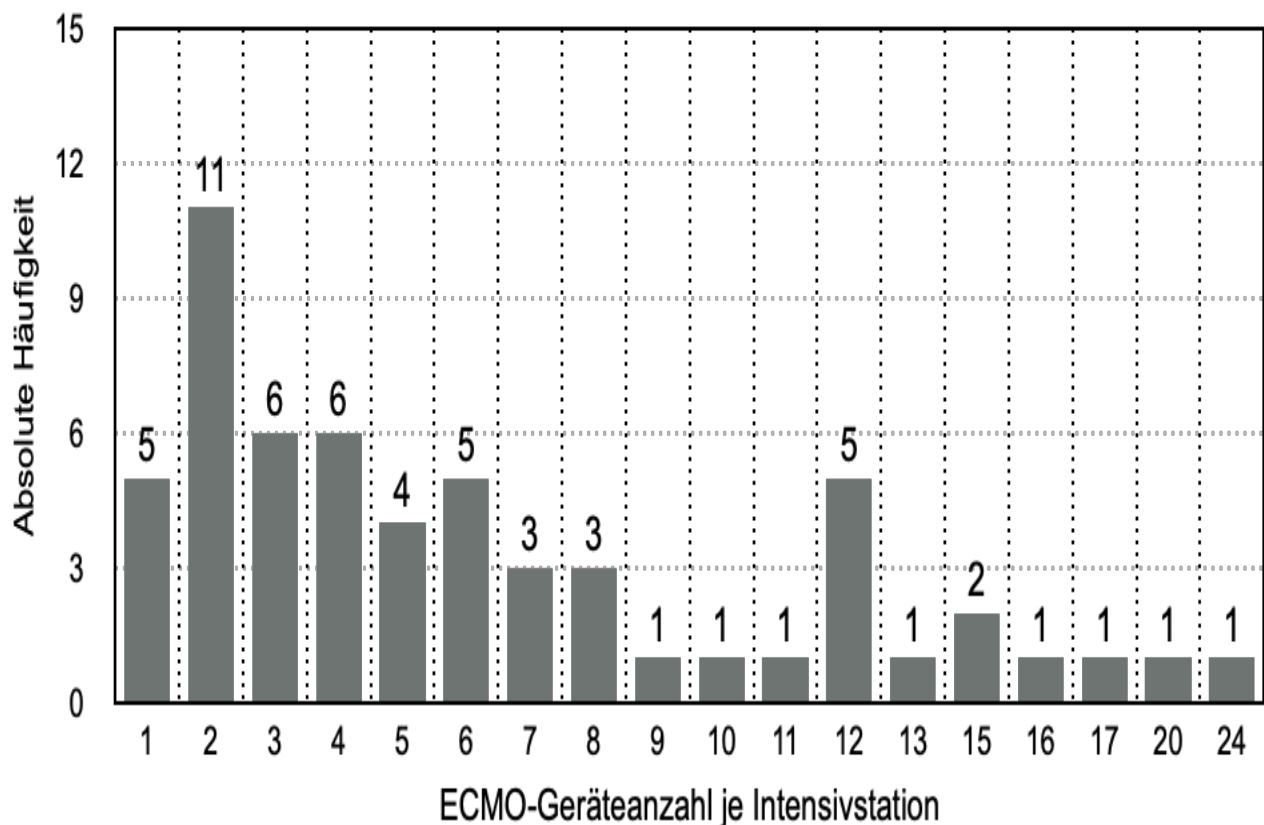


Abb. 7: Verteilung der monozentrischen ECMO-Geräteanzahl je Intensivstation in den teilnehmenden Einrichtungen angegeben in absoluten Zahlen (schwarz) (n= 58)

3.5.3. Klinische Verfügbarkeit und Erfahrung der VV ECMO-Therapie angegeben in Jahren

Die Spannweite bei der klinischen Erfahrung beträgt 24 Jahre. Dabei führt ein Zentrum dieser Datenauswertung die VV ECMO-Therapie mit 25 Jahren standardmäßig am längsten durch. Der niedrigste Wert für die Erfahrung mit der VV ECMO-Therapie beläuft sich auf ein Jahr. Im Durchschnitt wird die VV ECMO-Therapie seit 10 (10,3) Jahren

(SD= 4,4) regelhaft angeboten. Der Median liegt ebenfalls bei 10 Jahren (IQR 9,0-12,0). Ein Teilnehmer hat bei diesem Item keine Angabe gemacht (NA= 1).

3.5.4. Jährliche Fallzahl der VV ECMO-Therapie

Die Anzahl an jährlich betreuten VV ECMO-Patienten, angegeben in Spannweiten, beläuft sich bei 26 der 58 Kliniken (44,8 %) auf 10 bis 30 VV ECMO-Patienten pro Jahr. Der Maximalwert wird von einer Klinik abgebildet und beträgt > 150 VV ECMO-Patienten pro Jahr (1,7 %). Die geringste Merkmalsausprägung mit < 10 VV ECMO-Therapien pro Jahr wurde von 6 Kliniken angegeben und entspricht 10,4 % der gesamten Stichprobe. Die bisher unberücksichtigten Spannweiten lassen sich aus dem Diagramm entnehmen (Abb. 8).

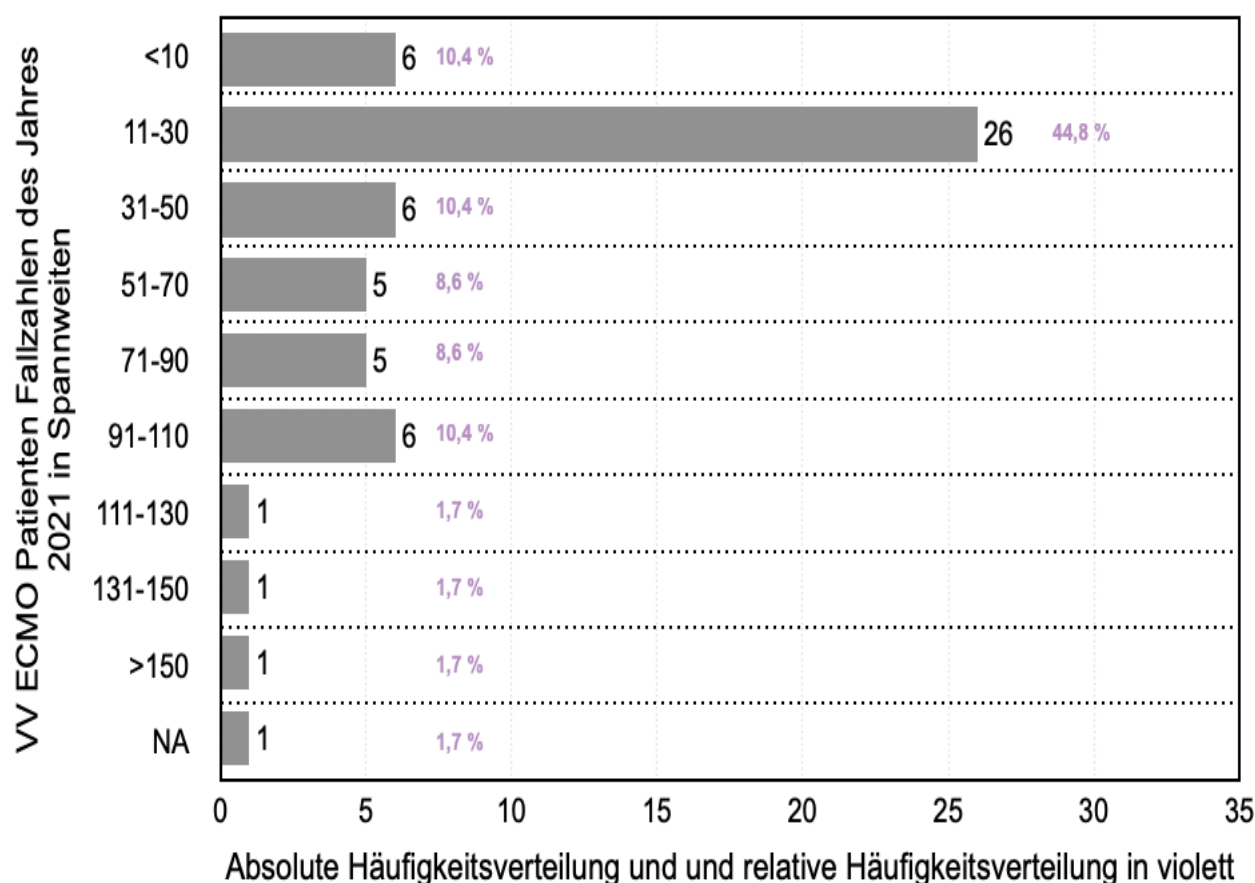


Abb. 8: Häufigkeitsverteilung der Höhe der Fallzahlen abgebildet in Spannweiten in den teilnehmenden Kliniken angegeben in absoluten Zahlen (in schwarz) und in Prozent (in violett) (n= 58)

3.5.5. Anzahl von zeitgleich durchführbaren VV ECMO-Therapien

Der Median bei den zeitgleich durchführbaren VV ECMO-Therapien beträgt 4 (IQR 2-8). Ein Zentrum gab an, in der Lage zu sein, 20 VV ECMO-Patienten zeitgleich versorgen zu können.

3.5.6. Krankenhausentlassrate nach VV ECMO-Therapie

Die niedrigste Krankenhausentlassrate der mit einer VV ECMO Therapie behandelten Intensivpatienten im Bereich von 0 bis 10 % wird von einer Klinik angegeben (1,7 %). Der überwiegende Anteil der Angaben bewegt sich im Bereich von 41 bis 70 % mit einer relativen Häufigkeit von 64,0 %. Bei 5 Teilnehmern ist die Krankenhausentlassrate nicht bekannt (8,6 %). Es wurden von zwei Teilnehmern (3,4 %) keine Angabe gemacht (Abb. 9).

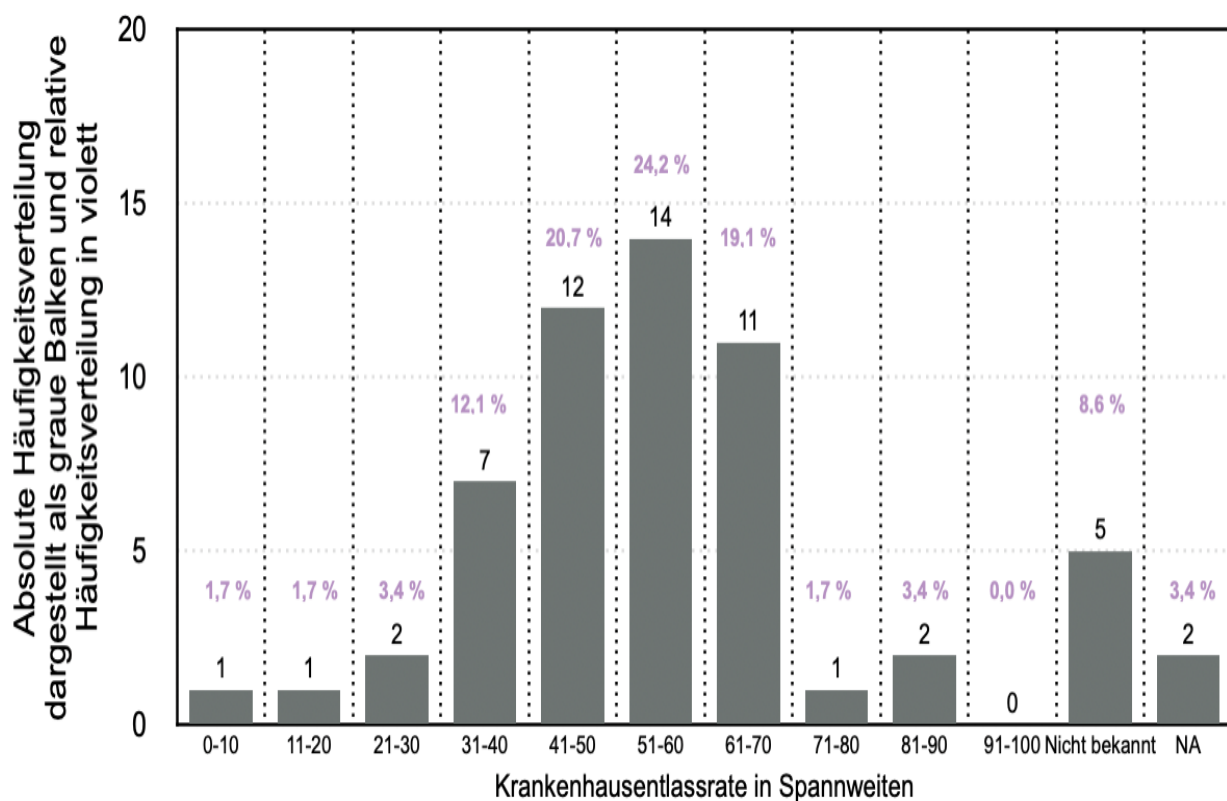


Abb. 9: Krankenhausentlassraten abgebildet in Spannweiten bei der VV ECMO-Therapie dargestellt in absoluten Zahlen (abgebildet in schwarz) und in Prozent (abgebildet in violett) (n= 58)

3.6. Block 2: Organisation und Management bei der Versorgung von VV ECMO-Patienten

Für diesen Bereich der VV ECMO-Therapie werden die personellen Standards im Hinblick auf die Zuständigkeitsbereiche, den Anforderungen an den Personalschlüssel des Pflegedienstes als auch die Berufsgruppen übergreifenden beruflichen Qualifikationen erfasst.

3.6.1. Hauptbehandelnde Fachärztegruppen

Die VV ECMO-Therapie fällt in 32 der teilnehmenden Kliniken hauptsächlich in den Zuständigkeitsbereich der Fachärzte für Anästhesiologie (ANÄ) (55,2 %). Die weitere Verteilungshäufigkeit ist dem Balkendiagramm zu entnehmen (Abb. 10). Unter den 4 Teilnehmern, welche die Antwortmöglichkeit Sonstige wählten, werden interdisziplinäre Therapieansätze beschrieben. Hier sind die Kombinationen der Fachrichtungen Gefäßchirurgie, Kardiologie (KAR) und Pneumologie (PNEU) (1 (1,7 %)) und Anästhesiologie und allgemeine Innere Medizin (Allg. Innere Medizin) (2 (3,4 %)) genannt worden. Eine Angabe unter Sonstige wurde als nicht valide gewertet und ist ausschließlich quantitativ berücksichtigt worden (1,7 %) (Abb. 10).

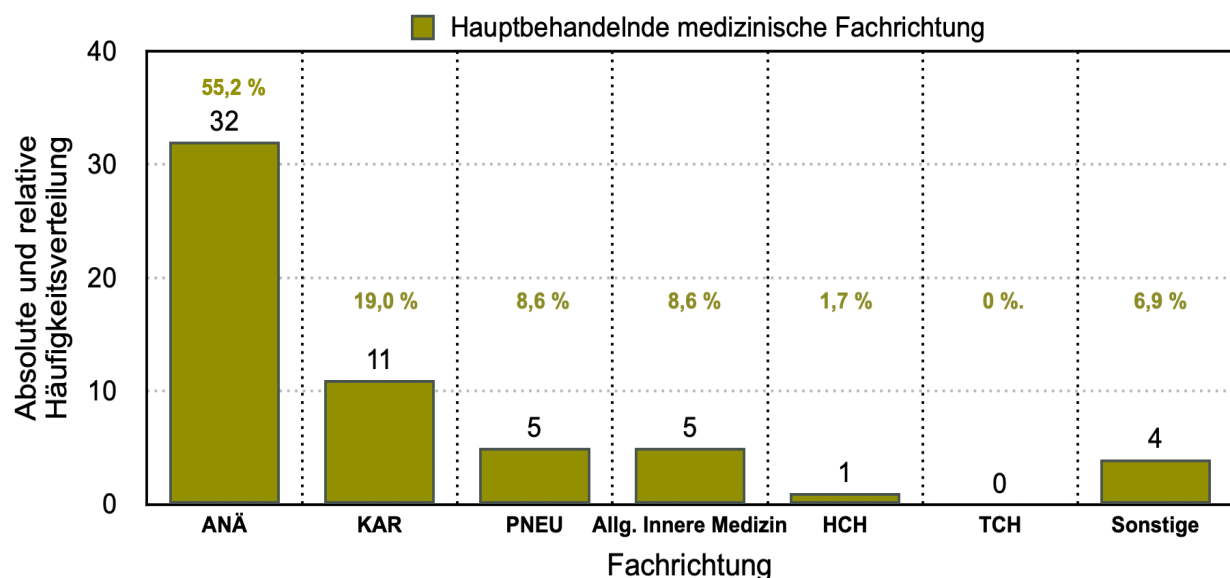


Abb. 10: Verteilungshäufigkeit der hauptbehandelnden Facharztgruppe (Anästhesiologie (ANÄ), Kardiologie (KAR), Pneumologie (PNEU), Allgemeine (Allg.) Innere Medizin, Herzchirurgie (HCH) und Thoraxchirurgie (TCH)) bei der VV ECMO-Therapie des ARDS der teilnehmenden Kliniken dargestellt in absoluten Zahlen (abgebildet in schwarz) und in Prozent (abgebildet in grün) (n = 58)

3.6.2. Bettseitiges Management

Beim technischen bettseitigen Management der VV ECMO-Therapie verteilt sich die Zuständigkeit zu den folgenden Anteilen auf die zur Auswahl stehenden Berufsgruppen: ärztlicher Dienst: 38 (65,5 %), pflegerischer Dienst: 15 (25,9 %), Kardiotechniker: 2 (3,4 %), Sonstige: Interdisziplinär Ärzte und Pflege: 3 (5,2 %).

3.6.3. Beteiligung eines Kardiotechnikers während der VV ECMO-Therapie

Bei dieser Frage war eine Mehrfachauswahl möglich. Der Kardiotechniker ist in der vorliegenden Umfrage in den unten dargestellten Bereichen der VV ECMO-Therapie zu folgenden Anteilen beteiligt (Abb. 11). Unter den drei Nennungen bei Sonstigen (5,2 %) wurden keine Freitextantworten von den Teilnehmern angegeben.

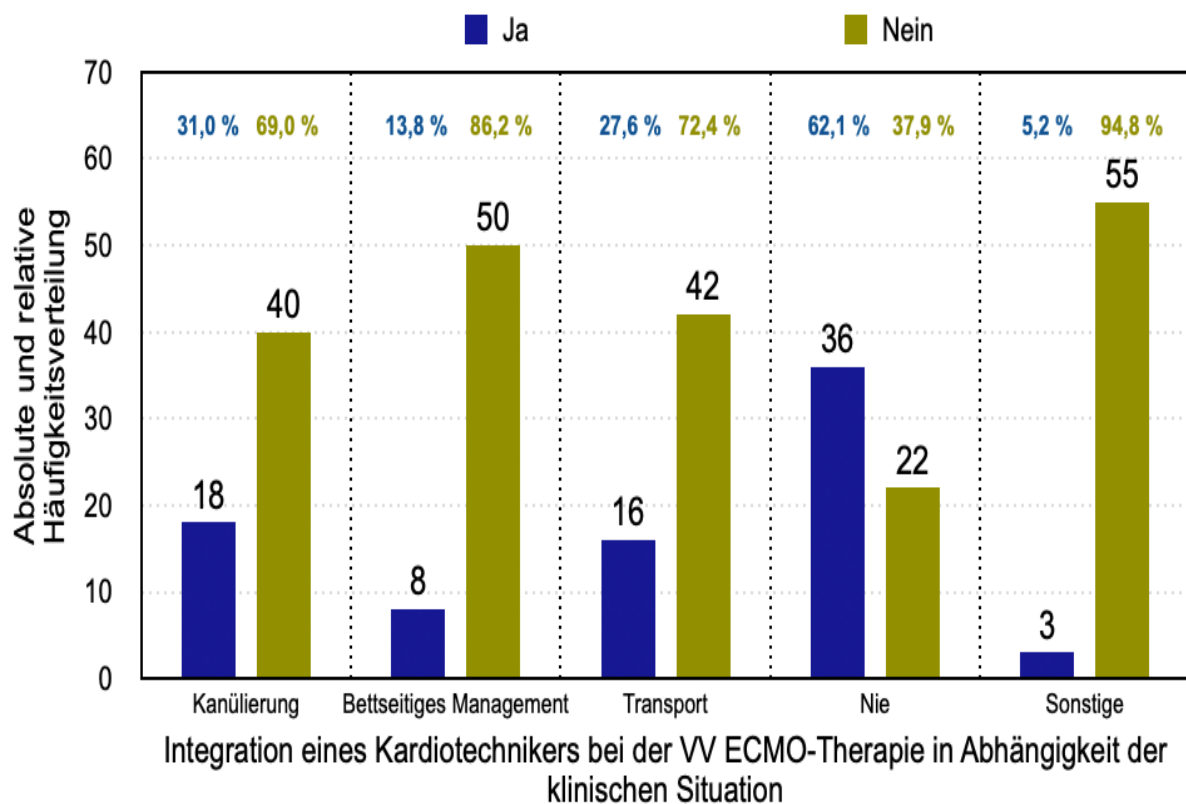


Abb. 11: Prozentuale (farbig) und absolute Verteilungshäufigkeit (schwarz) bei der Frage nach der Integration eines Kardiotechnikers bei der Durchführung einer VV ECMO-Therapie (n= 58)

3.6.4. Angestrebter Pflegeschlüssel

Für den Pflegeschlüssel (Verhältnis von betreuender Pflegefachkraft zu Patienten) (Pflegekraft:Patient) zeigt sich die folgende Verteilung bei der Frage nach den Idealvorstellungen der behandelnden Ärzte (Abb. 12).

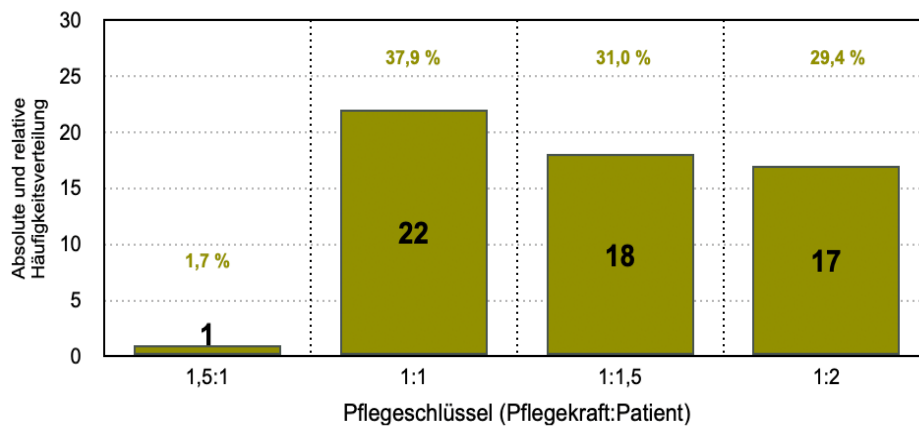


Abb. 12: Vorstellungen der behandelnden Ärzte in den teilnehmenden Kliniken im Hinblick auf den anzustrebenden Pflegeschlüssel bei der Betreuung von VV ECMO-Patienten in absoluten Zahlen (abgebildet in schwarz) und in Prozent (abgebildet in grün) (n= 58)

3.6.5. Realisierter Pflegeschlüssel

Für den klinisch realisierten Pflegeschlüssel zeigt sich die folgende Häufigkeitsverteilung (Abb. 13).

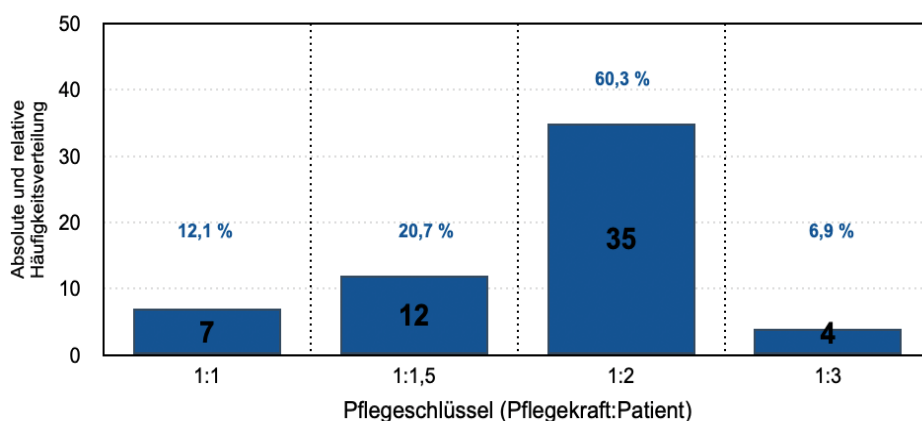


Abb. 13: Klinisch realisierter Pflegeschlüssel in den teilnehmenden Kliniken bei der Betreuung von VV ECMO-Patienten in absoluten Zahlen (abgebildet in schwarz) und in Prozent (abgebildet in blau) (n= 58)

3.6.6. Angestrebte berufliche Qualifikation des betreuenden Pflegedienstes

Für die berufliche Qualifikation des pflegerischen Personals wurde ebenfalls nach den Vorstellungen der Teilnehmer zu dem Mindestmaß der beruflichen Qualifikation des eingesetzten Personals gefragt. So gaben 42 der 58 Teilnehmer an (72,4 %), dass die Fachweiterbildung für Anästhesie- und Intensivpflege bei den Gesundheits- und Krankenpflegern (GKP) gewünscht ist. Eine klinikinterne ECMO-Fortbildung wird von 14 Teilnehmern (24,2 %) gefordert. Nur zwei Kliniken sehen die reine Berufsausbildung zum GKP ohne weitere aufbauende berufliche Qualifikation als ausreichend an (3,4 %).

3.6.7. Realisierte berufliche Qualifikation des betreuenden Pflegedienstes

Die klinische Realität zeigt, dass in 34 der 58 befragten Kliniken die VV ECMO-Therapie von GKP mit der Fachweiterbildung Anästhesie- und Intensivpflege durchgeführt wird (58,6 %), in 14 Fällen (24,2 %) ist eine klinikinterne Fortbildung im Bereich der ECMO-Therapie absolviert worden und lediglich 8 haben angegeben, die ECMO-Therapie mit der Unterstützung von GKP ohne weitere Zusatzqualifikationen durchzuführen (13,8 %). Ein Teilnehmer hat keine Angabe gemacht (1,7 %). Ein weiterer Teilnehmer gibt unter Sonstige an, die berufliche Qualifikation des *Physician Assistant* bei der Patientenversorgung einzusetzen (1,7 %).

3.7. Block 3: Transport und Logistik von VV ECMO-Patienten

Bei der Notwendigkeit von innerklinischen Transportfahrten wurden in diesen Block die personellen Anforderungen für die Durchführung dieser abgefragt. Zusätzlich wurden bei Verfügbarkeit eines ECMO-Transport-Teams für die außerklinischen Interhospitaltransporte die personellen, infrastrukturellen und logistischen Charakteristika eruiert.

3.7.1. Personelle Zusammenstellung eines Behandler-Teams zur Durchführung innerklinischer Transporte

Für die Durchführung eines innerklinischen Transportes werden von den befragten Zentren folgende personelle Anforderungen für die folgenden Berufsgruppen (Arzt, Pflege, Kardiotechniker, Sonstige) angegeben (Abb. 14). Unter Sonstige werden hierbei Personal des Rettungsdienstes, Personal des Patiententransportdienstes und Studierende und Auszubildende genannt.

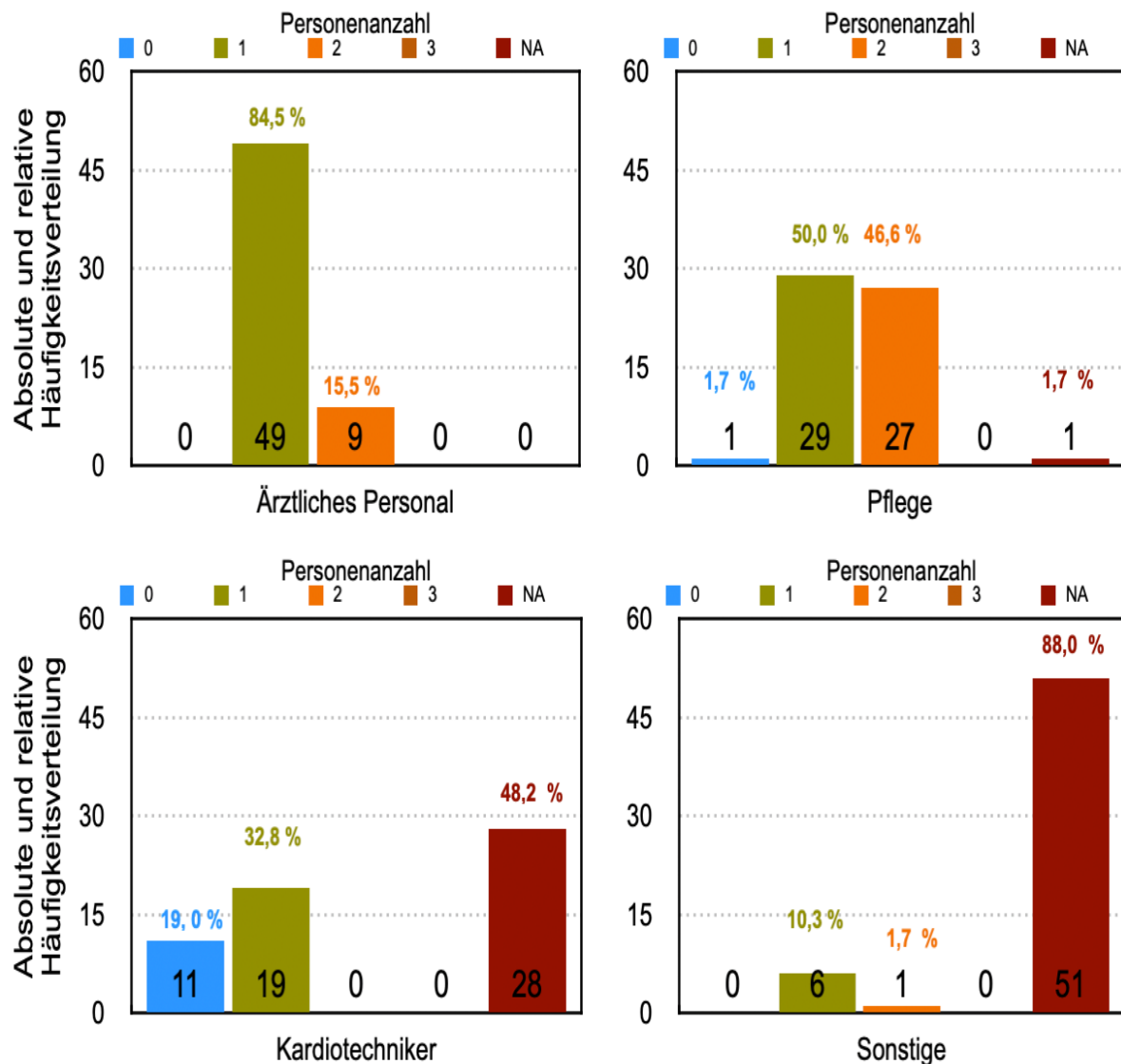


Abb. 14: Personelle Zusammensetzung der unterschiedlichen Berufsgruppen bei der Durchführung einer innerklinischen Transportfahrt eines VV ECMO-Patienten bspw. zur bildgebenden Diagnostik angegeben in absoluten Zahlen (schwarz) und in Prozent (farbig) (n= 58)

3.7.2. Verfügbarkeit eines ECMO-Transport-Teams

Von den 58 Kliniken verfügen 34 (58,6 %) über ein ECMO-Transport-Team, welches Interhospitaltransporte unter ECMO durchführt.

3.7.3. Unterblock 3: ECMO-Transport-Team

Die 34 Zentren, welche über ein ECMO-Transport-Team verfügen, wurden zu weiteren Aspekten des außerklinischen VV ECMO-Patiententransport befragt.

3.7.3.1. Externe Einsätze des VV ECMO-Teams im Jahr 2021

Zunächst erfolgte die Erhebung der Transporteinsätze des vergangenen Jahres, welche sich für diese Umfrage auf das Jahr 2021 beziehen. Dabei haben die ECMO-Teams im Jahr 2021 im Median 10 ECMO-Transporte zwischen externe Kliniken und dem eigenen Zentrum durchgeführt (IQR 5-40). In der Stichprobe sind 5 absolvierte Transporteinsätze die häufigste Merkmalsausprägung mit 4 Nennungen (11,8 %). Ein Teilnehmer hat keine Angabe gemacht (2,9 %) (Abb. 15).

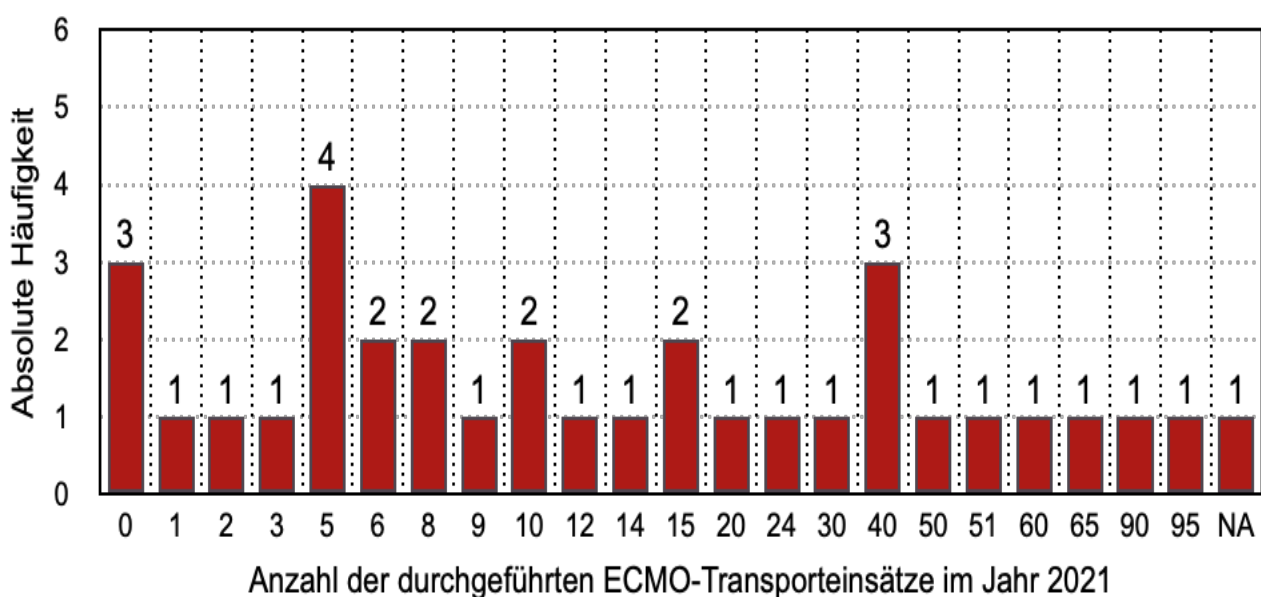


Abb. 15: Häufigkeitsverteilung der durchgeführten VV ECMO-Transporteinsätze für das Jahr 2021 abgebildet in absoluten Zahlen (n= 34)

3.7.3.2. Personelle Zusammenstellung des ECMO-Transport-Teams

Die personelle Zusammensetzung des ECMO-Transport-Teams für den außerklinischen Einsatz wurde im Hinblick auf den Personalschlüssel folgendermaßen angegeben (Abb. 16). Unter Sonstige wird mit zwei Angaben die Begleitung durch zwei Personen des Rettungsdienstes (5,9 %) genannt und eine weitere Angabe beschreibt die Beteiligung von drei Personen der Flugrettung (2,9 %). Eine Angabe unter Sonstige wurde als nicht valide Angabe gewertet (2,9 %).

Bezugnehmend auf die Teamzusammensetzung zeigt sich, dass in 18 Kliniken das ECMO-Team aus zwei Personen besteht (52,9 %). 15 Umfrageteilnehmer (44,2 %) führen

den Transport mit drei Personen durch. In einem Fall wurde angegeben, dass sich das Team aus 4 Personen zusammensetzt (2,9 %).

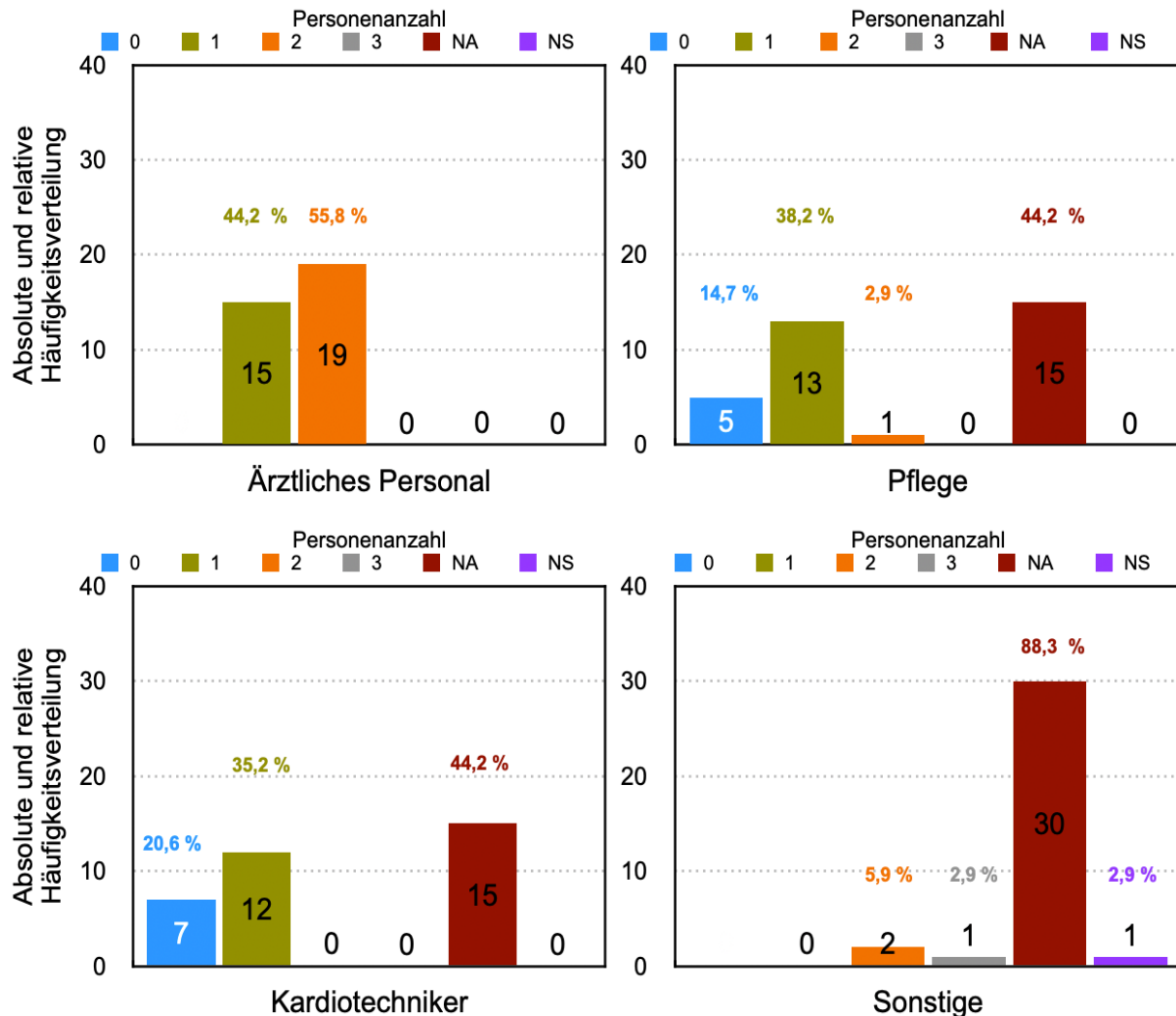


Abb. 16: Personelle Zusammensetzung der unterschiedlichen Berufsgruppen bei der Durchführung eines ECMO-Interhospitaltransportes eines VV ECMO-Patienten angegeben in absoluten Zahlen (schwarz) und in Prozent (farbig) (n= 34) (NS = nicht valide)

3.7.3.3. Zeitliche Verfügbarkeit der ECMO-Transportteams

Die zeitliche Verfügbarkeit der ECMO-Transportteams stellt sich wie folgt dar (absteigend sortiert): 17 Teams sind Rund-um-die-Uhr (24/7) über Rufbereitschaften (50,0 %) verfügbar, 11 Teams sind Rund-um-die-Uhr (24/7) aus der regulären stationären Besetzung und einem Bereitschaftsdienst (32,4 %) besetzt, ganzwöchig (Montag bis

Sonntag) aus der Kernarbeitszeit heraus in drei Zentren (8,8 %) und nur Wochentags (Montag bis Freitag) aus der Kernarbeitszeit in zwei Abteilungen (5,9 %). Unter Sonstige ist mit einer Nennung der Einsatz zeitungebunden und erfolgt auf Anfrage (2,9 %).

3.7.3.4. Vorbereitungszeit bis zur Einsatzbereitschaft des ECMO-Transport-Teams

Die teilnehmenden ECMO-Kliniken benötigen nach Kontaktaufnahme in 22 Fällen weniger als 60 Minuten (64,7 %) bis zur Einsatzbereitschaft des ECMO-Transport-Teams. Die weiteren 12 Zentren gaben 61 bis 120 Minuten (35,3 %) als Zeitintervall bis zur Einsatzbereitschaft an.

3.7.3.5. Infrastrukturelle Voraussetzungen für den ECMO-Transport

Unter diesem Abschnitt wurden die für die ECMO-Transport-Teams verfügbaren Transportmittel einschließlich Organisationsstruktur erhoben (Tab. 1). Es bestand die Möglichkeit der Mehrfachauswahl.

Tab. 1: Logistische Infrastruktur und Einsatz unterschiedlicher Transportmittel dargestellt in absoluten Zahlen und in Prozent

Organisationsstruktur und Transportmittel	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit
lokale Rettungsmittel, je nach Verfügbarkeit	13	38,2 %
spezialisierte Intensivtransport (Luft/ Boden)	14	41,2 %
feste Kooperation und Konzept mit Rettungsdienst/ Intensivtransport	15	44,2 %
feste Kooperation und Konzept mit Luftrettung/ Intensivtransport	11	32,4 %

3.8. Block 4: Monitoring und Diagnostik während der stationären VV ECMO-Therapie

Im folgenden Abschnitt werden die bei der VV ECMO-Therapie zum Einsatz kommenden unterschiedlichen Monitoringverfahren sowie Angaben zur Durchführung bildgebender Diagnostik erhoben.

3.8.1. Neurologisches Monitoring während der VV ECMO-Therapie

Bei dieser Frage war eine Mehrfachauswahl möglich. Das standardmäßig durchgeführte neurologische Monitoring in dieser Stichprobe bildet sich wie folgt ab: 18 Kliniken führen ein NIRS durch (31,0 %), in 10 Krankenhäusern zählt der Bispektralindex zum klinischen Standard (17,2 %). In 25 Kliniken wird zu keinem Zeitpunkt ein regelhaftes neurologisches Monitoring durchgeführt (43,1 %). Zehn Teilnehmer geben sonstige Verfahren an, unter welchen 5 das Elektroenzephalographie (EEG) (8,6 %) nannten. Ein Teilnehmer führt das EEG kombiniert mit evozierten Potentialen durch (1,7 %), zwei Zentren führen die neurologische Kontrolle klinisch durch (3,4 %). Weitere zwei Angaben wurden als nicht valide Antworten gewertet (3,4 %).

3.8.2. Hämodynamisches Monitoring

Bei diesem Item war eine Mehrfachauswahl bei den vorgegebenen Antwortoptionen möglich. Das standardmäßige hämodynamische Monitoring erfolgt in 17 Kliniken (29,4 %) durch den Einsatz einer Pulskonturanalyse (PiCCO®). Einen Pulmonalarterienkatheter (PAK) verwenden 11 Intensivstationen (19,0 %). Von 35 Teilnehmern wird die Transösophageale Echokardiographie (TEE) als ein weiteres Verfahren angegeben (60,3 %). Sonstige Verfahren werden in 18 Einrichtungen angegeben, die wie folgt benannt worden sind: Transthorakale Echokardiographie (TTE) (10 (17,2 %)), TTE gemeinsam mit Sonographie ohne eine weitere spezifische Angabe (2 (3,4 %)) und die Kombination aus TTE und einem weiteren nicht näher spezifizierten hämodynamischen Monitoring (2 (3,4 %)). Der weitere Einsatz von sonstigen hämodynamischen Monitoringverfahren, abgesehen von den vorgegebenen Optionen (PiCCO®, PAK, TEE), erfolgt in zwei Krankenhäusern indikationsbezogen (3,4 %). Ein Teilnehmer gibt unter Sonstiges an, keines der vorgegeben Verfahren standardmäßig durchzuführen (1,7 %). Eine weitere Antwort unter Sonstige (1 (1,7 %)) wurde als nicht valide gewertet.

3.8.3. Indikationsbezogene Anwendung und zeitliche Intervalle beim Einsatz bildgebender Verfahren

Für die Durchführung bildgebender Untersuchungen (Röntgen-Thorax, CT-Thorax und craniales CT (cCT)) wurden die Teilnehmer nach den zeitlichen Intervallen und der

indikationsbezogenen Anwendung befragt. Hier zeigt sich das folgende Verteilungsmuster (Abb. 17).

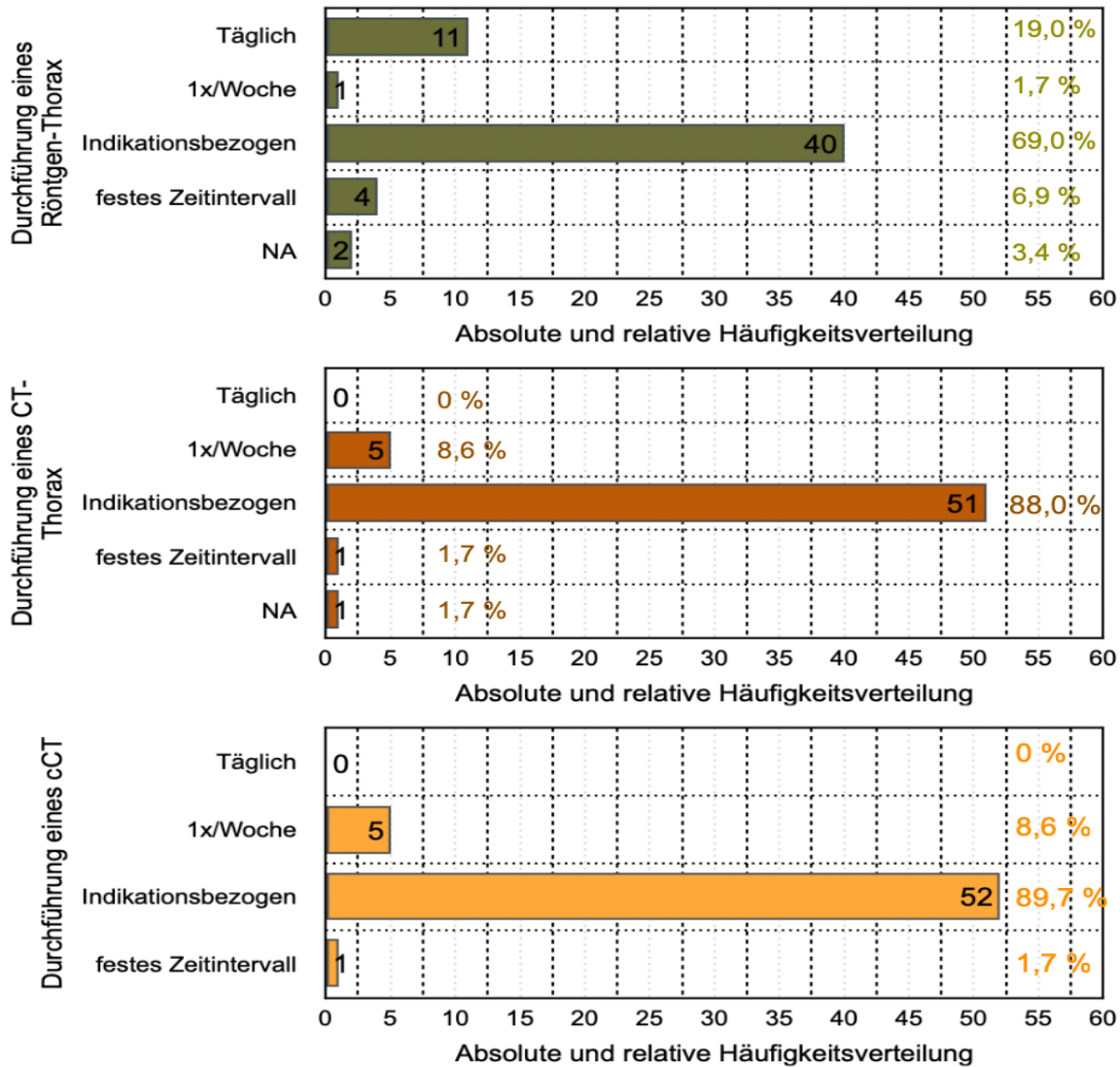


Abb. 17: Indikationsbezogene Anwendung und zeitliche Intervalle beim Einsatz der bildgebenden Verfahren Röntgen-Thorax, CT-Thorax und cCT angegeben in absoluten Zahlen und in Prozent (n = 58)

3.8.4. Unterblock 4: Zeitgleicher Einsatz von PiCCO® und PAK

In 7 der befragten Kliniken erfolgt standardmäßig die Anwendung der Verfahren PiCCO® und PAK. Dabei führt eine der 7 Kliniken diese beiden Verfahren zeitgleich bei der Durchführung der VV ECMO durch (14,3 %); in 5 Kliniken erfolgt keine zeitgleiche Anwendung (71,4 %). Ein Teilnehmer machte keine Angabe (14,3 %) (n= 7).

3.9. Block 5: Antikoagulation und Gerinnungsdiagnostik

Im Block Antikoagulation und Gerinnungsdiagnostik werden die Strategien zur antikoagulatorischen Therapie, während der VV ECMO-Therapie abgebildet, bei welcher der zeitliche und technische Einsatz von verschiedenen Messverfahren, die Auswahl der Antikoagulanzen, sowie die verschiedenen laborchemischen Grenzwerte im Rahmen des Gerinnungsmanagement erfasst werden.

3.9.1. Zeitliche Intervalle bei der Gerinnungsdiagnostik

Die Überwachung der Gerinnung mittels laborchemischer Diagnoseverfahren wird vom Großteil der Kliniken (33 (56,9 %)) in festen zeitlichen Abständen von 8 h durchgeführt. Andere Intervalle abweichend von den vorgegebenen Antwortmöglichkeiten wurden von 8 Kliniken angegeben. Die weitere Verteilung lässt sich dem Diagramm entnehmen (Abb. 18).

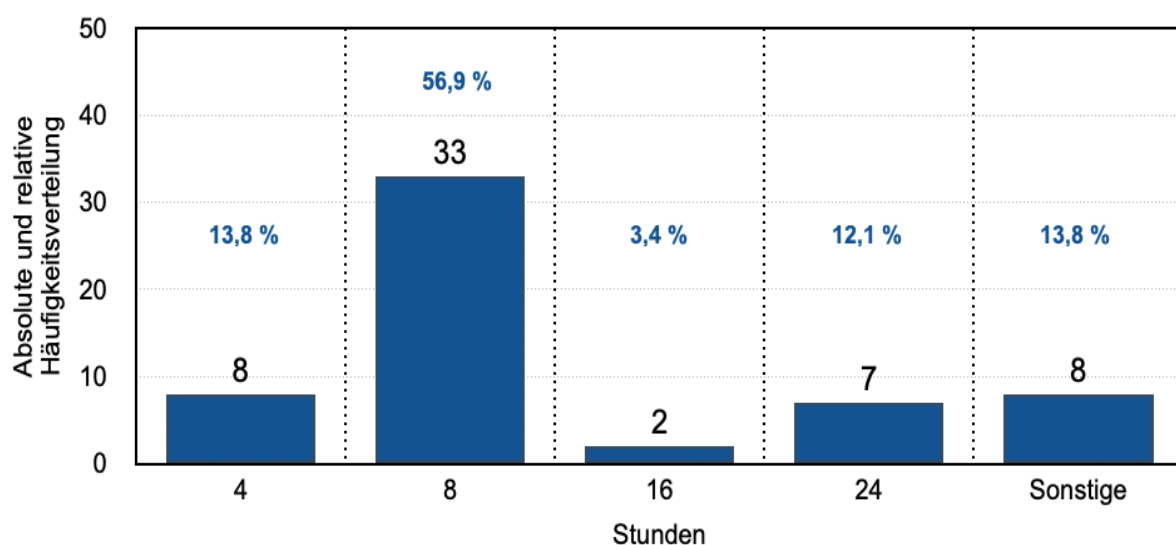


Abb. 18: Zeitliche Intervalle bei der Durchführung von Gerinnungsdiagnostik unter den teilnehmenden Kliniken dargestellt in absoluten Zahlen (abgebildet in schwarz) und in Prozent (abgebildet in blau) (n= 58)

Unter den freien Angaben wird ein zeitlicher Abstand von 6 h von zwei Zentren (3,4 %) genannt; ebenso wie die indikationsbezogene Gerinnungsdiagnostik (ohne feste Zeitintervalle) von zwei Teilnehmern benannt wurde (3,4 %). In einem zeitlichen Abstand von 12 h führt eine Abteilung die Gerinnungsdiagnostik durch (1,7 %). Zwei weitere Intensivstationen (3,4 %) orientieren sich bei der Durchführung der Gerinnungsdiagnostik

am klinischen Zustand des Patienten. Dabei wird ein Diagnostikintervall beschrieben mit initial stündlichen Kontrollen und dann von 2 bis 4 h abhängig vom klinischen Zustand (1,7 %) und es wird ein weiteres Diagnostikintervall mit zeitlichen Abständen von 2 bis 4 h zu Beginn der Therapie und abhängig vom klinischen Zustand in Abständen von 6 h (1,7 %) beschrieben. Die Angabe einer Klinik wurde als nicht valide gewertet und ausschließlich quantitativ berücksichtigt (Abb. 18).

3.9.2. Einsatz der ACT-Messung als laborchemisches Diagnostikinstrument

Die Messung der aktivierten (Blut-)Gerinnungszeit (*Activated Clotting Time*) (ACT) zählt in 14 der 58 teilnehmenden Krankenhäusern (24,2 %) zum standardmäßigen Repertoire der labordiagnostischen Gerinnungsparameter.

3.9.3. Untere Grenzbereiche der Thrombozytenzahl

Für die Grenzbereiche der angestrebten Thrombozytenzahl zeigte sich, dass der überwiegende Anteil der Behandler (44 von 58 (75,8 %)) den Bereich von 50 bis 79 G/l für die Thrombozytenzahl als unteren Grenzwert erachten. Im Bereich von 80 bis 119 G/l legen 14 Teilnehmer (24,2 %) den unteren Grenzbereich fest. Der Bereich von 120 bis 149 G/l und > 150 G/l wurde von keiner Klinik angegeben.

3.9.4. Präferenz der Diagnoseverfahren zur Plasmatischen Gerinnung

Die Teilnehmer konnten die vorgegebenen gerinnungsdiagnostischen Verfahren in eine Bewertungsrangfolge bringen und nach ihrer Priorisierung sortieren. Dabei zeigten sich folgende Verteilungen (sortiert nach diagnostischen Verfahren):

Die aPTT als primäres Verfahren wählten 48 Teilnehmer (82,8 %), weitere 8 Teilnehmer setzen die aPTT auf den 2. Rang (13,8 %). Es wurden von zwei Zentren keine Angabe zur aPTT gemacht (3,4 %).

Die ACT-Messung nutzen fünf Intensivstation als das diagnostische Verfahren der ersten Wahl (8,6 %) und weitere 14 als das Mittel der zweiten Wahl (24,2 %). Bei zwei Zentren steht es an dritter Stelle in der diagnostischen Priorität (3,4 %) und weitere fünf Zentren geben es auf dem 4. Platz an (8,6 %). 32 Kliniken machten hier keine Angabe (55,2 %).

Die Bestimmung des Anti-Faktor Xa wird von drei Teilnehmern (5,2 %) auf den ersten Rang gesetzt, auf den zweiten Rang von 9 (15,6 %), an dritter Stelle von 12 Einrichtungen (20,7 %) und an vierter Stelle von 8 Kliniken (13,8 %).

Keiner der Teilnehmer betrachtet die Bestimmung der Thrombinzeit als das diagnostische Mittel der ersten Wahl (0 %); als Mittel der zweiten Wahl betrachten es 12 Teilnehmer (20,7 %). Als tertiäre Option 11 (19,0 %) und als quartäre Option drei Kliniken (5,2 %).

3.9.5. Medikamentöses Mittel der ersten Wahl für die Antikoagulation

Zum Einsatz für die systemische Blutverdünnung wird unfractioniertes Heparin (UFH) am häufigsten genannt (43 Kliniken, 74,2 %), gefolgt von Argatroban mit 10 Nennungen (17,2 %). Der Einsatz von niedermolekularem Heparin (NMH) als primäres Antikoagulans wurde von zwei Kliniken ausgewählt (3,4 %) (Abb. 19). Unter Sonstige erfolgten drei Nennungen, welche die Angaben „UFH oder Argatroban“ (2 (3,4 %)) und „keine routinemäßige Antikoagulation, Thromboseprophylaxe mit Argatroban“ umfassten (1 (1,7 %)).

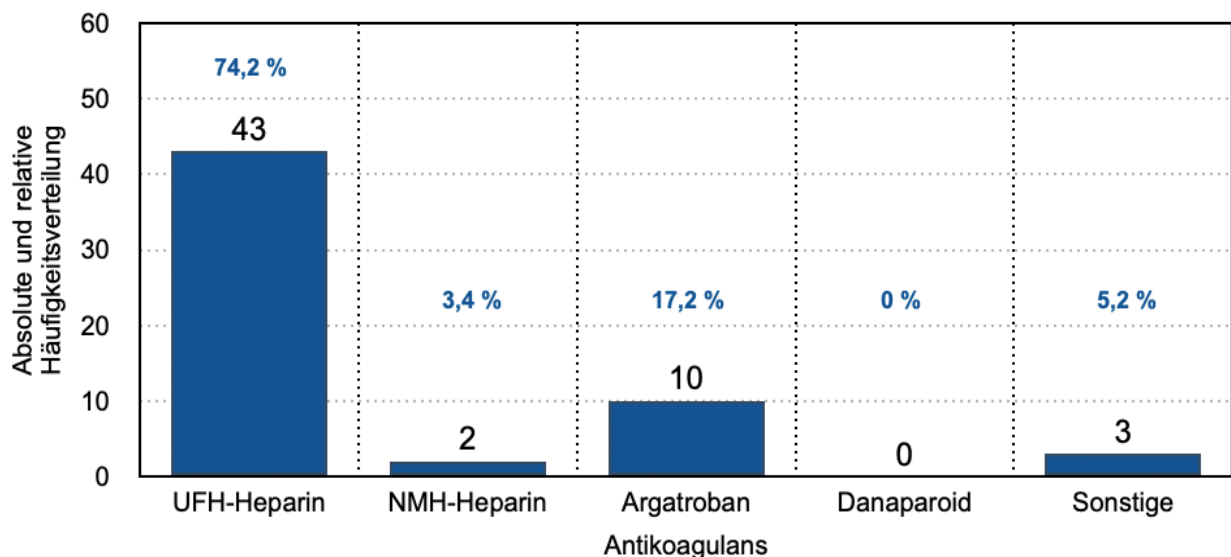


Abb. 19: Häufigkeitsverteilung der unterschiedlichen medikamentösen Therapieoptionen zur Durchführung der Antikoagulation unter VV ECMO-Therapie in absoluten Zahlen (abgebildet in schwarz) und in Prozent (abgebildet in blau) (n= 58)

3.9.5.1. Unterblock 5: Zielwerte der aktivierte partielle Thromboplastinzeit (aPTT) unter UFH und Argatroban

Bei der Auswahl von UFH oder Argatroban als bevorzugte Substanz zur Antikoaguation wurden die Teilnehmer nach dem Zielwert der angestrebten aPTT befragt. Insgesamt wurden diese Antwortmöglichkeiten (UFH und Argatroban) von 53 der 58 Teilnehmer (91,4 %) ausgewählt. Dabei geben 26 der 53 Befragten (49,1 %) an, die aPTT im Zielbereich von 50 bis 60 s anzustreben. Es folgt mit 13 Nennungen die Einstellung bei 40 bis 50 s (24,5 %), gefolgt von 7 Teilnehmern, die den Bereich von 60 bis 70 s nennen (13,2 %). Der Zielbereich 35 bis 40 s wird mit 5 Nennungen (9,4 %) und 70 bis 80 s mit einer Angabe (1,9 %) berücksichtigt. Eine Antwort wurde als nicht valide gewertet (1,9 %) (Abb. 20).

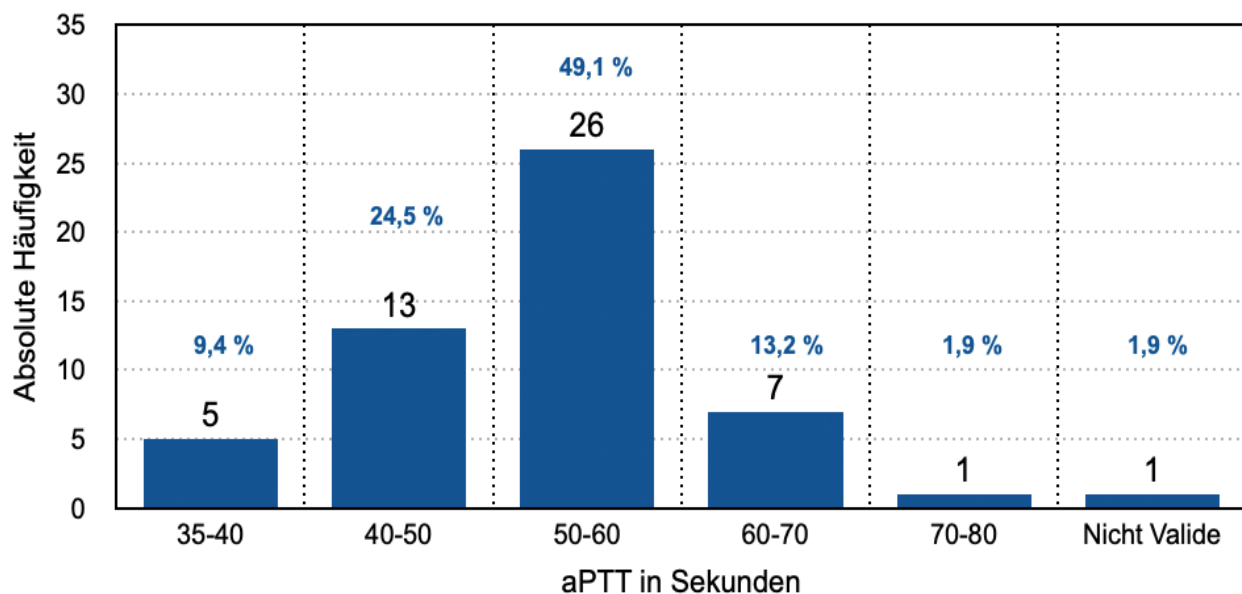


Abb. 20: Häufigkeitsverteilung bei der Frage nach dem angestrebten Zielbereich der aPTT in Sekunden in den teilnehmenden Kliniken bei der Anwendung von UFH-Heparin und Argatroban dargestellt in absoluten Zahlen (abgebildet in schwarz) und in Prozent (abgebildet in blau) (n= 53)

3.10. Block 6: Rolle des vWF während der VV ECMO-Therapie

Unter den 58 teilnehmenden Kliniken bestimmen 19 (32,8 %) regelhaft den vWF.

3.10.1. Unterblock 6: vWF - Zeitliche Abstände bei der Verlaufsdiagnostik und Therapie

Unter den 19 Kliniken, die den vWF bestimmen, führen 8 die Diagnostik 1x/Woche durch (42,0 %). Eine Klinik bestimmt täglich den vWF (5,3 %).

In 10 Zentren wird die Diagnostik abweichend von den vorgegeben Zeitintervallen durchgeführt, und zwar wie folgt (in absteigender Reihenfolge): In vier Kliniken wird die Diagnostik indikationsbezogen durchgeführt (21,1 %), jeweils zwei Zentren führen die Diagnostik in zeitlichen Abständen von 72 h (10,5 %) und 3x/Woche durch (10,5 %). In einer Einrichtung erfolgt die vWF-Messung alle 48 h (5,3 %) und ein weiteres Zentrum macht die Bestimmung des vWF abhängig vom klinischen Blutungszustand kombiniert mit der einmaligen Bestimmung während der gesamten Therapiedauer (5,3 %) (n= 19).

Bei der Diagnose eines erworbenen vWF-Syndroms leiten 15 der 19 Kliniken (78,9 %) eine entsprechende Therapie ein (n= 19).

3.11. Block 7: Maschinelle Beatmung unter VV ECMO-Therapie

Mittels eines Drag-Rankings konnte ein Konzept einer lungenprotektiven Beatmung durch die Teilnehmer dargestellt werden. Dabei konnten die zur Auswahl stehenden Items nach ihrer Priorität im Konzept der lungenprotektiven Beatmung sortiert werden. Zudem wurden der Einsatz von zusätzlichen diagnostischen Verfahren für das Monitoring der Beatmung wie der elektrischen Impedanztomographie (EIT) und der Ösophagusdruckmessung unter diesem Block erfasst.

3.11.1. Lungenprotektive Beatmungsstrategie

Für das Konzept der lungenprotektiven Beatmung wurden von den Befragten folgende Angaben zu den einzelnen Beatmungsparametern gemacht:

niedrige Tidalvolumina (*low VT*)

Die Einstellung eines niedrigen Tidalvolumen (*low VT*) wird von 31 der Teilnehmer (53,4 %) auf den ersten Rang gesetzt. In 13 Kliniken wird dies auf den zweiten Rang platziert (22,5 %). Weitere 8 Kliniken (13,8 %) wählen das *low VT* auf den dritten Rang und mit zwei Kliniken (3,4 %) wird es auf den 4. Rang angegeben. Keine Angabe erfolgte in 4 Kliniken (6,9 %). Damit betrachten 54 der 58

ECMO-Kliniken die Einstellung eines *low VT* als eine der vier Hauptkomponenten für die Umsetzung eines lungenprotektiven Beatmungskonzepts (93,1 %).

Positiver end-expiratorischer Druck (PEEP)

Mit 13 Angaben auf Rang 1 (22,5 %) wird die Einstellung eines hohen PEEPs für die Durchführung einer lungenprotektiven Beatmung genannt. Auf den zweiten Rang an (20,7 %) folgt die Berücksichtigung durch 12 Krankenhäuser, gefolgt von 7 Angaben auf Rang 3 (12,1 %) und zwei Angaben auf Rang 4 (3,4 %).

Ein moderater PEEP wird von zwei Intensivstationen als eine Hauptkomponente beim Konzept der lungenprotektiven Beatmung betrachtet (3,4 %). Weitere 10 Teilnehmer geben es auf den zweiten Rang an (17,2 %). Mit 8 Angaben wird er auf Rang 3 (13,8 %) und mit 4 Angaben (6,9 %) auf vierten Rang ausgewählt.

Die Einstellung eines niedrigen PEEPs erfolgt in keiner Klinik (0 %).

Niedriger *driving Pressure* (dP)

Der *driving Pressure* (dP) bezeichnet die Differenz zwischen dem end-inspiratorischen Druck bei der Inspiration und dem positiven end-expiratorischen Druck. Dabei verteilt sich die Präferenz der Kliniken wie folgt: in 11 Kliniken wird der dP auf den ersten Rang (19,0 %) gesetzt, in 20 Einrichtungen auf den zweiten Rang (34,5 %), weitere 21 Kliniken setzten den dP auf den dritten Rang (36,2 %) und vier Angaben finden sich für den 4. Rang (6,9 %). Zwei Teilnehmer machten keine Angabe (3,4 %).

Plateaudruck(Pplat)

Ein hoher Pplat ist in keinem Zentrum ausgewählt worden (0 %).

Einstellungen der Atemzeitverhältnisse

Bei der Einstellung des Inspirations:Expirations-Verhältnisses (I:E) wird die Antwortmöglichkeit 1:1 (I:E) von keiner Klinik auf dem ersten Rang berücksichtigt (0 (0 %)). Ein Teilnehmer berücksichtigt ein I:E von 1:1 auf dem

zweiten Rang (1,7 %). Auf Rang 3 erfolgte die Angabe durch drei Teilnehmer (5,2 %). Der Großteil der Teilnehmer wählt das I:E-Verhältnis von 1:1 (I:E) auf den 4. Rang (20 (34,5 %)). 34 Teilnehmer machten hierbei keine Angaben (58,6 %).

Die weiteren Auswahlmöglichkeiten zeigen folgendes Verteilungsmuster: Ein I:E-Verhältnis von 1:2 (I:E) wird insgesamt von 11 Teilnehmern ausgewählt davon von vier auf den 3. Rang (6,9 %) und von weiteren 7 auf den 4. Rang (12,1 %). Das Atemzeitverhältnis von 2:1 (I:E) wird insgesamt von 6 Teilnehmern ausgewählt (10,4 %). Davon zwei auf Rang 3 (3,4 %) und vier auf Rang 4 (7,0 %).

Die Atemzeitverhältnisse 3:1 (I:E) und 4:1 (I:E) wurden jeweils von zwei Kliniken ausgewählt. Die Verteilung auf die Ränge ist bei beiden Antwortmöglichkeiten jeweils mit einer Angabe auf Rang 3 (1,7 %) und Rang 4 (1,7 %). Beide Antwortmöglichkeiten werden von 98,3 % der Teilnehmer nicht berücksichtigt.

3.11.2. Durchführung einer elektronischen Impedanztomographie (EIT)

Als ein zusätzliches Monitoringinstrument für die Beatmung nutzen 6 Kliniken eine EIT-Messung (10,4 %). In 24 Kliniken wird dieses Verfahren nicht regelhaft durchgeführt (41,5 %). 28 Krankenhäuser (48,1 %) verfügen nicht über die Möglichkeit einer EIT-Messung.

3.11.3. Durchführung einer Ösophagusdruckmessung und therapeutische Konsequenz

Die Messung des intrapulmonalen Druckes über den Ösophagus wird von 16 (27,6 %) der Kliniken durchgeführt.

Im Unterblock 7 geben alle diese 16 Kliniken an bei zuverlässigen Messwerten die Beatmungsparameter anzupassen (100 %) (n= 16).

3.12. Block 8: Einstellungen und Standardprozeduren bei der VV ECMO-Therapie

Die Items dieses Abschnittes beschreiben die effektiv und praktisch umgesetzte VV ECMO-Therapie unmittelbar am Patienten.

3.12.1. Definition Outlet-Kanüle

In 34 Krankenhäusern (58,6 %) wird die Outlet-Kanüle als die Kanüle definiert, die das Blut vom Patienten zur ECMO-Konsole führt. Weitere 18 Kliniken (31,0 %) definieren die Outlet-Kanüle als Kanüle, die das Blut von der ECMO-Konsole zum Patienten leitet. Durch 6 der Teilnehmer erfolgte bei dieser Frage keine Angabe (10,4 %).

3.12.2. Lokalisation der rückführenden Kanüle (oxygeniertes Blut)

Mit 53 Nennungen (91,4 %) ist die *V. jugularis interna* rechts die häufigste Lokalisation für die rückführende Kanüle. Es folgen mit drei Angaben (5,2 %) die *V. femoralis* rechts und mit weiteren zwei Angaben (3,4 %) die *V. femoralis* links.

3.12.3. Lokalisation der ableitenden Kanüle (desoxygeniertes Blut)

Mit 44 Nennungen (75,8 %) ist die *V. femoralis* rechts die häufigste Lokalisation für die ableitende Kanüle. Es folgen mit 9 Angaben (15,6 %) die *V. femoralis* links und mit einer Nennung die *V. jugularis interna* links (1,7 %). Unter Sonstige finden sich 4 Nennungen (6,9 %), welche alle die *V. femoralis* benennen, jedoch ohne eine Zuordnung zur linken oder rechten Seite.

3.12.4. Anlage der ECMO-Kanülen

Bei der Anlage der ECMO-Drainagen nutzen 52 die Möglichkeit der sonographischen Bildgebung (89,7 %). In drei Kliniken erfolgt der Einsatz einer Durchleuchtung/Angiographie (5,2 %). Bei zwei Teilnehmern wird die Punktion perkutan ohne weitere Hilfsmittel durchgeführt (3,4 %). Unter Sonstige findet sich eine Antwort (1,7 %), welche ein gefäßchirurgisches Backup bei der Punktion nennt, jedoch nicht die Art und Weise wie die Punktion erfolgt.

3.12.5. Durchführung einer Bauchlagerung unter VV ECMO-Therapie (*prone position*)

Bei 41 der teilnehmenden Einrichtungen (70,7 %) wird bei der Anwendung einer Bauchlagerung während der VV ECMO-Therapie diese für eine Dauer von 12 bis 18 h durchgeführt. In 15 Fällen (25,9 %) erfolgt die Lagerungstherapie für 18 bis 24 h. Jeweils ein Krankenhaus führt die Therapie für 0 bis 6 h (1,7 %) und 6 bis 12 h (1,7 %) durch.

3.12.6. Grenzwert für die Indikation zur Transfusion von Erythrozytenkonzentraten
 Dabei setzen die behandelnden Ärzte in 30 Fällen (51,6 %) den niedrigsten tolerierbaren Hb-Wert auf 8 g/dl fest. Es folgt mit 17 Nennungen der Wert 7 g/dl (29,4 %). In 5 Kliniken wird ein Hb-Wert von 10 g/dl als Transfusionstrigger erachtet (8,6 %). Mit jeweils drei Nennungen wurden die Werte 6 g/dl (5,2 %) und 9 g/dl (5,2 %) ausgewählt.

3.12.7. Einsatz von Muskelrelaxanzien

Bei dieser Frage bestand die Möglichkeit der Mehrfachauswahl. Die regelhafte Gabe von Muskelrelaxanzien erfolgt sehr selten und wird nur in einem Krankenhaus routinemäßig durchgeführt (1,7 %). Zu keinem Zeitpunkt der Therapie erfolgt die Gabe von Muskelrelaxanzien in 37 der befragten Zentren (63,8 %). In den folgenden klinischen Situationen wird die Gabe von Muskelrelaxanzien von den teilnehmenden Kliniken zu folgenden Anteilen beschrieben: In der Akutphase des ARDS bzw. der VV ECMO-Therapie erfolgt sie in 4 Fällen (6,9 %). Bei der Durchführung von medizinischen Interventionen wie bspw. Bronchoskopien erfolgt die Gabe in 7 Abteilungen (12,1 %). Bei der Anwendung einer Lagerungstherapie, in diesem Fall der Bauchlagerung, geben 10 Teilnehmer an, muskelrelaxierende Medikamente einzusetzen (17,2 %). In Notfallsituationen erfolgt der Einsatz in 11 Kliniken (19,0 %).

3.12.8. Wechsel des Membranfilters des ECMO-Systems

Bei dieser Mehrfachauswahl wird in zwei Kliniken der Filter nach dem Standardintervall des Herstellers gewechselt (3,4 %). 55 der 58 Zentren machen den Filterwechsel von der Oxygenierungsleistung des Systems abhängig (94,8 %). In 43 Fällen wird der Filter gewechselt sofern Clotting-Phänomene auftreten (74,2 %). Kein Teilnehmer wechselt den Filter nach einem festen Zeitintervall.

3.12.9. Herstellerangaben der verfügbaren ECMO-Geräte

Bei dieser Frage war eine Mehrfachauswahl möglich. In 46 der 58 befragten Kliniken (79,3 %) wird das System Cardiohelp der Firma Getinge eingesetzt. Weitere 12 Einrichtungen (20,7 %) nutzen das Modell Rotaflow der Firma Getinge. Das Modell FMC der Firma Xenios kommt in 28 Krankenhäusern zum Einsatz (48,1 %).

Unter Sonstige wurden 8 freie Angaben erfasst, welche nicht unter den vorgegebenen Auswahlmöglichkeiten vorhanden sind. Diese Angaben wurden jeweils einmalig genannt (1 (1,7 %)) (Tab. 2).

Tab. 2: Herstellerangaben der verfügbaren ECMO-Geräte - Sonstige Angaben

Herstellerangaben der verfügbaren ECMO-Geräte - Sonstige Angaben
Centrimag von St Jude Medical/Abbott
ECMOLIFE by Eurosets
Medos by Xenios AG/Centrimag von St Jude Medical/Abbott
Herstellerfirma: Medtronic (Oxygenator und Zubehör)/ LivaNova (Hersteller)
RotaFlow II (Getinge/Maquet)
Sorin Group (Bemerkung: heute LivaNova)
Stöckert SPC (Bemerkung: heute LivaNova)/MobyBox by Haemovent
Stöckert/Liva Nova SCPC

3.12.10. Zeitpunkt der Tracheotomie im zeitlichen Zusammenhang einer VV-ECMO Behandlung

Bei der Durchführung einer möglichen Tracheotomie im zeitlichen Zusammenhang einer ECMO Behandlung geben 53 der Befragten an (91,4 %) diese unter der laufenden ECMO-Therapie durchzuführen. In drei Kliniken erfolgt diese Intervention in der Regel erst nach erfolgreichem Weaning von der ECMO und Entfernung der ECMO-Kanülen (5,2 %). In zwei Krankenhäusern wird angegeben, die Tracheotomie unmittelbar vor Entfernung der ECMO-Kanülen durchzuführen (3,4 %).

3.12.11. ECMO-Follow-up-Ambulanz

Über eine Follow-up/ECMO-Ambulanz verfügen 6 Kliniken (10,3 %). 51 der 58 befragten Zentren verfügen nicht über diese Möglichkeit (88 %). Keine Angaben machte eine Klinik (1,7%).

4. Diskussion

Die vorliegende Arbeit ist nach unserem Kenntnisstand eine erstmalige Erfassung der klinisch-gelebten Realität der VV ECMO-Therapie. Dabei stellen die vorliegenden Ergebnisse eine als repräsentativ anzusehende und realitätsnahe Abbildung der in Deutschland tatsächlichen klinischen Praxis der VV ECMO-Therapie dar und erlauben eine kritische Diskussion der praktischen VV ECMO Therapie in Bezug auf die theoretischen Erkenntnisse, der wissenschaftlichen Literatur und der bestehenden Leitlinien. Mit der Teilnahme von 40,6 % der Kliniken mit ECMO-Therapieoption im November 2020 bildet diese Untersuchung einen repräsentativen Einblick in die VV ECMO-Therapie. Die dabei erfasste Anzahl an ECMO-Konsolen in dieser Umfrage beläuft sich auf insgesamt 374 Geräte. Für den Zeitraum der Datenerhebung entspricht diese erfasste Anzahl an ECMO-Geräten unter Bezugnahme der DIVI-Tagesreporte 57,0 % (12.04.2022) und 61,8 % (30.06.2022) der in Deutschland insgesamt verfügbaren ECMO-Geräte (DIVI, 2022c, 2022d). Da die Angaben der DIVI-Tagesreporte ebenfalls die ECMO-Kapazitäten von VA ECMO-Zentren aufführen, wird die Stichprobe für die reinen VV und VA-/VV ECMO-Einrichtungen sogar noch höher ausfallen, ist jedoch nicht ganz genau zu spezifizieren.

4.1. Ausgangssituation der Versorgungsinfrastruktur in Deutschland

Bei der Betrachtung der Versorgungsinfrastruktur der Intensivstationen und ECMO-Kapazitäten bilden, die zu Beginn dieser Untersuchung recherchierten, 143 intensivmedizinischen Abteilungen mit der Möglichkeit der VV ECMO-Therapie 11,2 % der am 01.11.2020 insgesamt 1.282 ans DIVI-Intensivregister meldenden Intensivstationen für Erwachsene ab (DIVI, 2020h). Unter Berücksichtigung der 15 ausgeschlossenen herzchirurgischen und VA ECMO-Zentren in Deutschland verfügen somit am 01.11.2020 12,3 % der Intensivstationen in Deutschland über eine technisch vorhandene Infrastruktur, um theoretisch eine VV ECMO-Therapie durchführen zu können. Zu Beginn der Datenerhebung meldeten 1.264 Intensivstationen am 12.04.2022 und am 30.06.2022 insgesamt 1.252 Intensivstationen ihre Behandlungskapazitäten an das DIVI-Intensivregister (DIVI, 2022c, 2022d). In Zusammenschau mit den

recherchierten Kliniken entspricht dies bei alleiniger Betrachtung der VV ECMO-Zentren am 12.04.2022 11,3 % und am 30.06.2022 11,4 % der Intensivstationen in Deutschland. Unter Berücksichtigung der herzchirurgischen und VA-ECMO-Zentren hätten 12,5 % (12.04.2022) und 12,6 % (30.06.2022) der gemeldeten Intensivstationen eine VV ECMO-Therapie technisch durchführen können. Für die intensivmedizinische Versorgungsinfrastruktur bedeutet dies, dass theoretisch circa jede 8. Intensivstation in Deutschland über die technische Möglichkeit der VV ECMO-Therapie verfügt. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass über die Jahre und nach den Erfordernissen der Corona-Pandemie intensivmedizinische Behandlungskapazitäten ausgebaut und politisch gefördert worden sind (Deutscher Bundestag - 19. Wahlperiode, 2021). Neben dem durch die Corona-Pandemie getriebenen Zuwachs von intensivmedizinischen Bettenkapazitäten spiegelte sich auch eine Zunahme von ECMO-versorgenden Kliniken im DIVI-Intensivregister wider. Am 24.01.2023 waren insgesamt 178 Intensivstationen im DIVI-Intensivregister aufgeführt, welche die Möglichkeit der ECMO-Therapie angegeben hatten (DIVI, 2020a). Dies entspricht damit einer Zunahme von 19 zu den anfangs erfassten ECMO-Kliniken. Bezogen auf diese Angaben sind bei am 24.01.2023 insgesamt 1.230 meldenden Intensivstationen circa 14,5 % der aufgeführten Intensivstationen in Deutschland in der Lage eine ECMO-Therapie durchzuführen (DIVI, 2023a). Dies entspricht circa jeder 7. Intensivstation in Deutschland, sodass im Verlauf der COVID-19-Pandemie eine deutliche Zunahme von ECMO-Behandlungskapazitäten beobachtet werden konnte. Im internationalen Vergleich dazu existieren zum Beispiel in Großbritannien bei einer vergleichbaren Bevölkerungszahl nur insgesamt 8 VV ECMO-Zentren (Association of Chartered Physiotherapists in Respiratory Care, 2024). Für Deutschland kann damit von einer hohen Versorgungsdichte im Bereich der ECMO-Therapie gesprochen werden. Im Verlauf der COVID-19-Pandemie zeigte sich allerdings mit dem Rückgang von schweren COVID-19-Krankheitsverläufen eine deutliche Abnahme der Anzahl von ICU-Betten und ECMO-Geräten, welche im DIVI-Intensivregister gemeldet werden. Diese beliefen sich am 12.07.2023, dem letzten Tagesreport des DIVI-Intensivregisters auf 17.683 ICU-Betten und 558 ECMO-Geräten (DIVI, 2023b).

Der Eindruck einer hohen Versorgungsdichte wird in Zusammenschau mit der geographischen Verteilung der teilnehmenden Zentren mit der Verfügbarkeit von gleich mehreren ECMO-Kliniken in bevölkerungsreichen Ballungsgebieten wie bspw. Nordrhein-Westfalen oder dem Rhein-Main-Gebiet verstärkt (Abb. 5). Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass sichere Angaben und Daten zur Verfügbarkeit von ECMO-Kliniken in anderen zu Deutschland vergleichbaren Industrienationen nur in einem unzureichenden Maße existieren, sodass ein direkter Vergleich der demographischen Verteilung erschwert ist.

4.2. Intensivmedizinische Infrastruktur und ECMO-Verfügbarkeit

Die in dieser Stichprobe erfassten 1.607 Intensivbetten repräsentieren für den Zeitraum der Datenerhebung 7,5 % und 7,6 % der in Deutschland insgesamt verfügbaren Intensivbetten für Erwachsene (DIVI, 2022c, 2022d). In der Bewertung der Ergebnisse der Umfrage spiegelt sich der hohe Anteil an großen universitären Einrichtungen und Maximalversorgern in der Teilnehmerpopulation wider. Mit einer Spannweite von 10 bis 96 ICU-Betten und einem Median von 21 deckt die Stichprobe eine sehr breite Variation an unterschiedlich großen Intensivstationen und verschiedenen Krankenhäusern ab. Die Empfehlungen zur Struktur und Ausstattung von Intensivstationen (2022) der DIVI stufen Intensivstationen in Versorgungsstufen ein. In dieser Veröffentlichung empfiehlt die DIVI dabei die Verfügbarkeit von ECMO-Geräten ausschließlich in Intensivstationen der Versorgungsstufe 3 (Waydhas et al., 2022). Für Intensivstationen der Versorgungsstufe 3 wird hierbei eine Mindestbettenanzahl (≥ 20 Betten, alle mit Beatmungsmöglichkeit) als Voraussetzung gefordert (Waydhas et al., 2022). Betrachtet man unter Berücksichtigung dieser Vorgaben den Median der Intensivbettenanzahl in dieser Stichprobe, so zeigt sich, dass im überwiegenden Anteil der teilnehmenden ECMO-Kliniken die empfohlene Mindestbettenanzahl nicht erfüllt ist.

Die in dieser Untersuchung erfasste Anzahl an ECMO-Geräten für den Erhebungszeitraum beträgt 57,0 % (12.04.2022) bzw. 61,8 % (30.06.2022) der in Deutschland insgesamt verfügbaren ECMO-Geräte (DIVI, 2022c, 2022d). Hierbei kann eine saisonale Schwankung bei den ECMO-Gerätezahlen beobachtet werden, welche im zeitlichen Zusammenhang dieser Untersuchung am ehesten auf die Infektionswellen der Corona-Pandemie zurückzuführen ist. Mit der Nennung von einer ECMO bis hin zu 24

ECMO-Geräten bildet die Spannweite auch die kleine, unter Umständen noch nicht so erfahrene ECMO-Klinik bis hin zum großen Maximalversorger ab.

4.3. Klinische Erfahrung, Fallzahlen und Krankenhausentlassrate

4.3.1. Klinische Erfahrung mit der VV ECMO-Therapie in Jahren

Die klinische Erfahrung mit einer VV ECMO-Therapie zeigt mit einem angegebenen Maximalwert von 25 Jahren, dass die VV ECMO-Therapie in Deutschland bereits vor der ersten größeren Studie zum ARDS, die einen Überlebensvorteil durch den Einsatz einer VV ECMO-Therapie zeigte (CESAR-Studie) angewendet worden ist (Peek et al., 2009). Im Durchschnitt wird dabei angegeben, dass eine VV ECMO-Therapie in der vorliegenden Umfrage seit 10 Jahren durchgeführt wird. Dies spiegelt die auch von Karagiannidis et al. (2016) beschriebene Zunahme von durchgeführten VV ECMO-Therapien in den Jahren 2008 bis 2014 wider. Dazu hat sicherlich auch die H1N1-Pandemie beigetragen und in diesem Sinne hat die VV ECMO-Therapie zu einer größeren Verbreitung geführt. Studien, die untersuchen, ob durch die Dauer der Erfahrung im Einsatz einer VV ECMO Therapie sich auch das Behandlungsergebnis verändert, existieren kaum. Eine monozentrische Untersuchung von Müller et al. (2013) zeigt eine Abnahme der Mortalität über den Zeitraum von 2006 bis 2012, welche die Autoren mit der zunehmenden klinischen Erfahrung der VV ECMO-Therapie erklären. Eine echte Kausalität dabei ist jedoch schwer zu belegen und ist von vielen heterogenen Faktoren abhängig. Zum Beispiel kann auch eine Indikationsstellung bei der Anwendung einen großen Einfluss auf das Überleben nach VV ECMO Therapie haben. Im Übrigen, existiert bislang keine multizentrische wissenschaftliche Studie, welche einen Zusammenhang zwischen der klinischen Erfahrung in Jahren und dem Gesamt-Überleben von VV ECMO-Patienten untersucht oder belegt.

4.3.2. Anzahl an durchgeführten VV ECMO-Therapien im Jahr

Im Kontext der klinischen Erfahrung mit der VV ECMO wird in den Empfehlungen verschiedener Fachgesellschaften und der wissenschaftlichen Literatur weniger die zeitliche Erfahrung in Jahren betrachtet, sondern die Anzahl der jährlichen VV ECMO-Patienten als wichtig erachtet. Für Deutschland wird in der S3-Leitlinie Invasive Beatmung und Einsatz extrakorporaler Verfahren bei akuter respiratorischer Insuffizienz

eine Anzahl von mindestens 20 ECMO-Anwendungen pro Jahr empfohlen (DGAI, 2017). In der vorliegenden Untersuchung wird von nahezu der Hälfte aller Befragten (43,1 %) eine Fallzahl ≥ 31 /Jahr angegeben. International wird in den *ELSO Guidelines for ECMO Centers* eine Mindestanzahl von 6 Fällen/Jahr genannt (ELSO, 2014). Unter Berücksichtigung dieser Vorgabe wäre diese Mindestanzahl in 87,9 % der befragten Kliniken erfüllt (ELSO, 2014). Die ELSO differenziert dabei jedoch nicht zwischen VA und VV ECMO-Therapien und führt lediglich die räumliche Lage in einem Ballungsraum als ein zusätzliches Kriterium auf. Im europäischen Vergleich zeigt sich beim Blick auf Spanien, welches im Zuge der COVID-19-Pandemie ihre Vorgaben zur VV ECMO-Therapie erst kürzlich aktualisiert hat, eine Empfehlung von einer Mindestfallzahl von 15 VV ECMO-Patienten/Jahr (Pérez de la Sota und Eixerés-Esteve, 2021). Die Höhe der ECMO-Fallzahlen ist insofern bedeutsam, da gezeigt werden konnte, dass höhere ECMO-Fallzahlen pro Zentrum mit einer verbesserten Überlebensrate der Patienten einhergehen (Barbaro et al., 2015). Barbaro et al. (2015) betrachteten hierfür die Daten aus dem ELSO Register für den Zeitraum 1989 bis 2013. Im Zuge dieser Studie erfolgte auch eine Subgruppenanalyse für den Zeitraum 2008 bis 2013, in welcher Barbaro et al. (2015) für ECMO-Therapieverfahren bei erwachsenen Patienten eine niedrigere Mortalität in Krankenhäusern mit hohen ECMO-Fallzahlen (> 30 /Jahr) beobachten konnten. Neben den Ergebnissen von Barbaro et al. (2015) und den deutschen sowie spanischen Empfehlungen wirken unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Lebreton et al. (2021) die empfohlenen Mindestfallzahlen der ELSO mit der fehlenden Differenzierung zwischen VA und VV ECMO-Anwendungen zu kurz gegriffen. Lebreton et al. (2021) konnten zeigen, dass ein besseres Outcome bei der Anwendung der VV ECMO, weniger mit der allgemeinen Anzahl der insgesamt durchgeführten ECMO-Therapien (VV und VA ECMO) zusammenhängt, sondern die spezifische Anzahl an durchgeführten VV ECMO-Therapien ausschlaggebend für das Patientenoutcome ist.

Bei Betrachtung der unterschiedlichen Empfehlungen ist die Frage nach einer adäquaten Mindestanzahl an durchgeführten VV ECMO-Therapien zu diesem Zeitpunkt jedoch nicht abschließend zu klären. Ergebnisse bei COVID-19-ECMO-Patienten, bestätigen ebenfalls eine Assoziation zwischen höheren ECMO-Fallzahlen und einem verbesserten Patienten-Outcome (Herrmann et al., 2022). Insbesondere für die Bezeichnung als

ARDS-/ECMO-Zentrum (welches im engeren Sinn kein „geschützter“ Begriff ist) sollte eine adäquate Höhe der Fallzahlen ähnlich wie bei der Zertifizierung von medizinischen Zentrums-Titel eingeführt werden und ein Zertifizierungsprozess durch die Fachgesellschaften etabliert werden. Zudem erscheint es sinnvoll bei der Empfehlung einer Mindestfallzahl zwischen VV- und VA-ECMO-Therapien zu differenzieren.

4.3.3. Krankenhausentlassraten

Die Daten des statistischen Bundesamt Deutschland zeigen für die VV ECMO-Therapie in Deutschland für das Jahr 2014 eine Mortalitätsrate im Krankenhaus von 58,1 % (Karagiannidis et al., 2016). Niedrigere Überlebensraten als im Vergleich zu 2014 sind noch in 18,9 % der Fälle anzutreffen. 48,4 % der Teilnehmer liegen im Jahr 2022 mit ihren VV ECMO-Patienten oberhalb der Überlebensraten aus dem Jahre 2014. In 20,7 % der Fälle geben die Teilnehmer eine Krankenhausentlassrate von 41 bis 50 % an, welche sich methodisch in dieser Form nicht direkt mit den Daten aus 2014 vergleichen lässt. Für diese Stichprobe kann damit im Vergleich zu den Daten des statistischen Bundesamtes aus dem Jahr 2014 die Entwicklung zu einem verbesserten Patientenüberleben beobachtet werden, welche auch mit Blick auf die Daten der vorliegenden Untersuchung auf die zunehmende Verbreitung und Erfahrung mit diesen Therapieverfahren zurückzuführen sein könnte.

Die ELSO gibt auf internationaler Ebene in ihrem *Extracorporeal Life Support (ECLS) Registry Report 2022* eine Überlebensrate von 66 % für die VV ECMO bei Erwachsenen über die Jahre 1990 bis 2021 an (ELSO, 2022). In unserer Umfrage geben 19,1 % eine Überlebensrate von 61 bis 70 % an. Bei 5,1 % der Teilnehmer werden sogar höhere Überlebensraten berichtet. Dahingehend geben zwei Drittel der Teilnehmer eine Überlebensrate an, welche unter der von der ELSO erwarteten Rate von 66 % liegt. Zu diesen Ergebnissen können beigetragen haben, die verschiedene Organisation der Gesundheitssysteme oder infrastrukturelle Unterschiede im Bereich des Krankenhauswesens im internationalen Vergleich. Bernhardt et al. (2022) beschreiben in diesem Kontext, dass im internationalen Vergleich die ECMO-Therapie in Deutschland häufiger Anwendung findet und in Deutschland im internationalen Vergleich die VV ECMO-Therapie mit einer höheren Mortalität vergesellschaftet ist. Hierfür könnte unter Umständen die großzügigere oder breitere Indikationsstellung in Deutschland

mitverantwortlich sein. So könnte ein übermäßiger und eigentlich nicht mehr indizierter Einsatz zum Beispiel im Sinne einer Ultima Ratio-Therapie beim zu kranken oder hochbetagten Patienten diese im internationalen Vergleich vorliegenden höheren Mortalitätsraten erklären. Allerdings lässt sich aus einer anderen Perspektive diese Argumentation auch in die andere Richtung diskutieren, etwa indem ein liberaler Einsatz der VV ECMO-Therapie insbesondere bei jüngeren Patienten oder Patienten in einem klinisch adäquaten Allgemeinzustand die VV ECMO-Therapie einen Benefit darstellen könnte und ggf. zu einem besseren Überleben führen könnte. Insgesamt zeigen diese unterschiedlichen Sichtweisen deutlich, dass neben der Formulierung von eindeutigen Indikationen zur VV ECMO-Therapie, die Festlegung von präzisen Kontraindikationen für die VV ECMO-Therapie in Deutschland zwingend erforderlich ist. Bisher existieren in dieser Form nur die von der ELSO formulierten Kontraindikationen (Tonna et al., 2021). Für Deutschland werden in der S3-Leitlinie Invasive Beatmung und Einsatz extrakorporaler Verfahren bei akuter respiratorischer Insuffizienz keine präzisen Kontraindikationen für die VV ECMO-Therapie definiert, sondern nur prädiktive Faktoren, die mit einem negativen Outcome vergesellschaftet sein können (DGAI, 2017). Die individuelle Indikationsstellung zur VV ECMO-Therapie bleibt dabei klinikübergreifend immer eine Einzelfallentscheidung. Abschließend sollte auch berücksichtigt werden, dass die berichteten Überlebensraten dieser Untersuchung freiwillige und nicht überprüfbare Angaben der Teilnehmer sind.

4.4. Organisation und Management

4.4.1. Hauptbehandelnde medizinische Fachrichtung

In Deutschland wird die Intensivmedizin durch unterschiedliche Fachdisziplinen und häufig interdisziplinär erbracht. Die Ergebnisse dieser Umfrage zeigen, dass der überwiegende Anteil an VV ECMO-Therapien jedoch von Fachärzten für Anästhesiologie durchgeführt wird. Im Bereich der internistischen Fachärzte stellt sich der Anteil an Fachärzten für Innere Medizin mit Teilgebiet Kardiologie höher dar als der Anteil an Fachärzten für Innere Medizin mit Teilgebiet Pneumologie. Gründe für diese Verteilung könnten sein, dass pneumologische Abteilungen häufig als Sektionen in kardiologischen Einrichtungen eingegliedert sind, sodass diese Verteilung möglicherweise aus der Auswahl des Ansprechpartners oder der Personalzusammenstellung resultieren könnten.

bzw. der spezifische Tätigkeitsschwerpunkt auf einer Intensivstation unterschiedlich organisiert ist. Im Hinblick auf die Empfehlungen in den *General Guidelines* der ELSO, wonach ein Intensivmediziner, Herz- oder Thoraxchirurg oder Arzt mit sonstigem intensivmedizinischem Hintergrund als hauptverantwortlicher Behandler eingesetzt werden sollte, zeigt sich für Deutschland, dass dieses Kriterium erfüllt wird (ELSO, 2017), wobei diese internationale Empfehlung für Deutschland aufgrund einer unterschiedlichen Krankenhausorganisation nicht bindend ist. Trotz der 6 Teilnehmern unter den berücksichtigten herzchirurgischen Abteilungen ist die Angabe Facharzt für Herzchirurgie als hauptbehandelnde Fachrichtung nur einmalig genannt worden. Bemerkenswert ist ebenfalls, dass trotz der Teilnahme von ECMO-Kliniken, welche einen thoraxchirurgischen Schwerpunkt besitzen die Antwortmöglichkeit „Facharzt für Thoraxchirurgie“ von keinem der Teilnehmer ausgewählt worden ist.

4.4.2. Pflegerische Betreuung von VV ECMO-Patienten

In der S3-Leitlinie Invasive Beatmung und Einsatz extrakorporaler Verfahren bei akuter respiratorischer Insuffizienz wird ein Pflegeschlüssel von 1:1 bei der Betreuung von VV ECMO Patienten empfohlen (DGAI, 2017). Bei der Frage nach dem angestrebten Pflegeschlüssel spiegelt sich eine leitliniengerechte 1:1-Betreuung nur in 37,9 % der Fälle in den Vorstellungen der Behandelnden wider. Die tatsächliche Umsetzung einer 1:1-Betreuung in der klinischen Realität wird sogar nur noch in 12,1 % der teilnehmenden Intensivstationen erreicht. Diese Diskrepanz zwischen den Angaben zum angestrebten Pflegeschlüssel und dem tatsächlich realisierten Pflegeschlüssel, spiegeln sich in dieser Form für jede der vorgegebenen Antwortmöglichkeiten zum Pflegeschlüssel wider. Dies impliziert das auch aus der Perspektive der behandelnden Ärzte der tatsächlich realisierte Pflegeschlüssel nur eine unzureichende Versorgung darstellt. Bei einem schweren ARDS mit dem Ausfall eines weiteren Organsystems (LOC 3) oder der Notwendigkeit einer ECMO-Therapie könnte unter Berücksichtigung der DIVI-Empfehlungen eine 1:2-Betreuung für die optimale Versorgung von VV ECMO-Patienten nicht ausreichend sein (Waydhas et al., 2022). In 6,9 % der Kliniken werden VV ECMO-Patienten in einem Verhältnis von 1:3 betreut. Ein Pflegeschlüssel von 1:3 wurde unter den Angaben zum angestrebten Pflegeschlüssel von keinem Teilnehmer berücksichtigt. Dieses Betreuungsverhältnis wird für Intensivpatienten mit einem LOC von 1 empfohlen und zeigt

damit deutlich, dass es sich hierbei um einen unzureichenden Pflegeschlüssel für die Betreuung von LOC 2- und LOC 3-Patienten handelt (Waydhas et al., 2022). Der Großteil (60,3 %) der Teilnehmer in dieser Stichprobe setzt eine 1:2-Betreuung um. Zu den vorliegenden Ergebnissen kann auch der Pflegefachkräftemangel beigetragen haben, welcher bereits 2017 beschrieben worden ist und in und durch die Corona-Pandemie weiter verstärkt worden ist (Karagiannidis et al., 2019). In dieser von Karagiannidis et al. (2019) in Deutschland durchgeführten Umfrage zeigte sich, dass der Pflegeschlüssel für Intensivstationen in Abhängigkeit von der Dienstschrift im Durchschnitt von 1:2,5 in der Frühschicht, 1:2,6 in der Spätschicht und 1:3,1 im Nachtdienst variieren kann. Dabei werden unter Berücksichtigung der empfohlenen Pflegeschlüssel für LOC 2- oder LOC 3-Patienten, diese Vorgaben in dieser Form offenbar nicht erreicht. Insbesondere unter den Gesichtspunkten der Patientensicherheit und der Prävention von Infektionen sollte eine 1:1-Betreuung bei VV ECMO-Patienten anzustreben sein. Diesbezüglich konnten Cho et al. (2008) zeigen, dass ein Personalmangel mit unzureichendem Pflegeschlüssel mit einer höheren Mortalität von intensivmedizinischen Patienten vergesellschaftet ist. Zudem kann ein Personalmangel mit einer höheren Rate von nosokomialen Infektionen verbunden sein, welche sich auf den Krankheitsverlauf zusätzlich negativ auswirken können (Hauer und Dettenkofer, 2014). Ein weiterer Aspekt, welcher die Bedeutung einer 1:1-Betreuung unterstreicht, zeigte sich in der Corona-Pandemie. Hier könnte eine konsequente Umsetzung einer 1:1-Betreuung ein Instrument sein, um Virustransmission durch Mitarbeiter auf andere Patienten oder Arbeitskollegen zu reduzieren. Neben einer Verbesserung der Patientensicherheit, könnte eine solche Maßnahme zur Prävention von Personalausfällen durch Virustransmission und damit verbundener Krankheit führen. Dadurch könnte eine Verschärfung, einer wie auch aus unseren Daten ersichtlichen angespannten Personalsituation, durch Krankheitsausfälle vermieden werden. Insbesondere für zukünftige Pandemien (Influenza, Corona-Viren etc.) könnte eine konsequente Umsetzung einer 1:1-Betreuung unter diesen Gesichtspunkten bedeutsam werden, sofern sich der allgemeine Fachkräftemangel insbesondere im Bereich der Pflege nicht verbessern sollte.

Unabhängig von den nur unzureichend vorliegenden Pflegeschlüsseln zeigt sich ein hohes Maß an beruflicher Qualifikation des zuständigen Pflegepersonals. Hier werden

von den unterschiedlichen Fachgesellschaften verschiedene Maßstäbe für die Definition eines hohen beruflichen Qualifikationsgrad gesetzt. Für Deutschland wird in der S3-Leitlinie Invasive Beatmung und Einsatz extrakorporaler Verfahren bei akuter respiratorischer Insuffizienz eine entsprechende Qualifikation sowie ein hohes Maß an Expertise im Bereich der ECMO-Therapie empfohlen (sowohl für ärztliches als auch pflegerisches Personal) (DGAI, 2017). Zudem sollte ein entsprechendes Curriculum im Sinne eines strukturierten Weiterbildungsprogramms zur Durchführung von ECMO-Therapieverfahren für das ECMO-betreuende Personal vorhanden sein (DGAI, 2017). In den neueren DIVI-Empfehlungen zur Struktur und Ausstattung von Intensivstationen (2022) ist die Verfügbarkeit der ECMO-Therapie wie bereits genannt das Charaktermerkmal von Intensivstationen der Versorgungsstufe 3 (Waydhas et al., 2022). Für Intensivstationen der Versorgungsstufe 3 wird für die fachliche Qualifikation des Pflegepersonals eine Fachweiterbildungsquote von > 30 % empfohlen sowie entsprechende Fördermaßnahmen um eine Fachweiterbildungsquote von > 50 % zu erreichen (Waydhas et al., 2022). Mit Blick auf die Angaben der Befragten zeigt sich bezogen auf die Empfehlungen der DGAI und DIVI, dass in 84,5 % der Fälle diese Voraussetzungen klinisch realisiert werden (GKP mit der Fachweiterbildung Anästhesie- und Intensivpflege (58,6 %), klinikinterne Fortbildung im Bereich der ECMO-Therapie (24,2 %) und *Physician Assistant* (1,7 %)). Bei der Betrachtung der angestrebten beruflichen Qualifikation des betreuenden Personals zeigt sich in den Vorstellungen der Teilnehmer die Bestrebung den Qualifikationsgrad des Personals noch weiter zu optimieren (96,6 % (GKP mit Fachweiterbildung für Anästhesie- und Intensivpflege (72,4 %), klinikinterne ECMO-Fortbildung (24,2 %)). Diese Angaben sind kongruent mit der Empfehlung von Waydhas et al. (2022) die Fachweiterbildungsquote des Pflegepersonals kontinuierlich zu optimieren. Auch auf internationaler Ebene wird in den *ELSO Guidelines For ECMO Centers* ein strukturiertes ECMO-Curriculum empfohlen, womit auch diese Anforderung als erfüllt angesehen werden kann (ELSO, 2014).

4.5. ECMO-Transport-Team

Für die Besetzung eines ECMO-Transport-Teams empfiehlt die ELSO keinen expliziten Personalschlüssel, führt jedoch fünf Aufgabenbereiche auf, die von den einzelnen Mitgliedern des ECMO-Teams abgedeckt werden sollten. Dazu zählen: Teamleitung,

Kanülierungs-Experte, ECMO-Experte, nicht-ärztlicher ECMO-Spezialist (Pflegerkraft, Kardiotechniker, etc.) und Transportpersonal (Rettungsdienst oder Ähnliche) (Labib et al., 2022). Dabei können verschiedene Aufgabenbereiche auch in einer Person vereint werden (Labib et al., 2022). In dieser Stichprobe zeigt sich in den Ergebnissen dieser Umfrage ein heterogenes Bild bei der Anzahl der Teammitglieder. In den teilnehmenden Einrichtungen mit ECMO-Teams in dieser Stichprobe besteht kein Team aus fünf Personen, sodass in allen ECMO-Transport-Teams verschiedene Aufgabenbereiche in einzelnen Teammitgliedern vereint werden. Aufgrund des ressourcenintensiven Charakters der ECMO-Therapie ist die Ressourcenschonung von Personal im Bereich des ECMO-Transportes erstrebenswert. Diesbezüglich konnten Ehrentraut et al. (2019) nachweisen, dass die Sicherheit und Praktikabilität eines ECMO-Transports in einem Zwei-Personen-Team sicher durchgeführt werden kann. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen zusätzlich, dass in der Hälfte der Fälle die Bereitstellung des ECMO-Teams nicht über eine eigene Rufbereitschaft, sondern über die (vorhandene) stationäre Besetzung erfolgt. Dies unterstreicht die Notwendigkeit eines personen-reduzierten ECMO-Teams, da sich dieser Wegfall von Personalressourcen negativ auf die übrigen stationären Intensivpatienten auswirken könnte (Cho et al., 2008). Mit Blick auf die Ergebnisse von Ehrentraut et al. (2019) zeigt sich in dieser Stichprobe, dass in 50,0 % der Fälle ein Zwei-Personen-Team ohnehin schon der klinisch gelebten Realität entspricht.

Für die Rolle des nicht-ärztlichen ECMO-Teammitglieds zeigt sich eine ähnliche Häufigkeitsverteilung in den Angaben der Befragten für den pflegerischen Dienst und für die Berufsgruppe der Kardiotechniker. Zwar wird die Integration eines Kardiotechnikers von Bernhardt et al. (2022) in das VV ECMO Behandlungskonzept nahegelegt, die S3-Leitlinie der DGAI empfiehlt dies jedoch nicht (DGAI, 2017). Die Daten unserer Untersuchung zeigen, dass ein Kardiotechniker im Allgemeinen nur selten bei der VV ECMO-Therapie involviert ist, in 62,1 % sogar zu keinem Zeitpunkt.

4.6. Antikoagulation und Gerinnungsmanagement

4.6.1. Auswahl der medikamentösen Antikoagulation

In den Ergebnissen dieser Untersuchungen ist UFH, die am häufigsten genutzte Substanz zur Antikoagulation und damit kongruent mit den Empfehlungen der ELSO (McMichael et al., 2022).

Als Alternativen zu UFH werden von der ELSO die direkten Thrombininhibitoren (DTI) Argatroban und Bivalirudin genannt (McMichael et al., 2022). In dieser Stichprobe wird dabei nur Argatroban von den Befragten benutzt. In einer wissenschaftlichen Untersuchung zur Anwendung von Argatroban bei der VV ECMO-Therapie konnten Menk et al. (2017) dabei keinen Vorteil gegenüber einer Heparin-gabe nachweisen. Allerdings zeigten die Ergebnisse von Menk et al. (2017) auch, dass es sich bei Argatroban um ein sicheres Medikament zur Einstellung einer adäquaten aPTT handelt. Für Bivalirudin, welches von keinem Zentrum benutzt wird, konnten Kaseer et al. (2020) zeigen, dass bei der Anwendung von Bivalirudin im Vergleich zu UFH keine wesentlichen Unterschiede zwischen dem Auftreten der Komplikationen Thrombose und Hämorrhagie bei der VV ECMO vorliegen. Zudem konnte kein Unterschied in Bezug auf die Mortalität festgestellt werden (Kaseer et al., 2020). Unter Berücksichtigung der wissenschaftlichen Literatur zeigt sich jedoch für beide DTI nur eine geringe Datenlage. Tatsächlich wird dieser Faktor auch von der ELSO als eine mögliche Ursache für die geringe Verbreitung der DTI erachtet (McMichael et al., 2022). Das Fehlen eines spezifischen Antidots für die DTI und die begrenzte Verfügbarkeit von diagnostischen Mitteln zur Steuerung einer Antikoagulationstherapie mit DTI sind als weitere Ursachen für die geringe Verbreitung dieser Antikoagulanzen zu nennen (McMichael et al., 2022). In den offiziellen *Anticoagulation-Guidelines* der ELSO wird der Einsatz von DTI als Off-Label-Medikation deklariert (McMichael et al., 2022).

Die Gabe von NMH als subkutane Medikation erfolgt in 2 (3,4 %) der befragten Zentren. Der theoretische Vorteil dieser antikoagulatorischen Therapie als subkutane Gabe im Vergleich zu einer intravenösen Applikation ist das deutlich seltenere Auftreten einer Heparin-induzierten Thrombozytopenie (HIT) unter diesem Heparin (Martel et al., 2005). Die Betrachtung der wissenschaftlichen Literatur zeigt für diesen therapeutischen Ansatz

allerdings nur wenige Untersuchungen. Dabei konnte für die subkutane Applikation von NMH kein erhöhtes Risiko für Thrombosen nachgewiesen werden (Krueger et al., 2017). Unter alleiniger Betrachtung dieser Daten stellt sich dieses Konzept trotz seiner geringen Verbreitung als sicher dar. Jedoch muss berücksichtigt werden, dass es sich hierbei um Ergebnisse einer Single-Center-Studie handelt und die Studienlage insgesamt sehr gering ist (Krueger et al., 2017).

Im Hinblick auf die breite Variabilität der einsetzbaren Antikoagulanzen ist der Einsatz von UFH trotz einer Inzidenz der HIT (0,2 - 5 %) als sicher anzusehen (McMichael et al., 2022). Das von McMichael et al. (2022) beschriebene hohe Maß an klinischer Erfahrung mit UFH und die weite Verbreitung der aPTT als diagnostisches Laborverfahren der ersten Wahl spiegeln sich in der Anwendung dieses Medikamentes in drei Viertel der teilnehmenden Kliniken wider.

4.6.2. Antikoagulationsstrategien - Höhe der angestrebten aPTT

Bei der Bewertung einer adäquaten Gerinnungssituation muss erwähnt werden, dass durch technische Weiterentwicklung von ECMO-Geräten und insbesondere der ECMO Membranen verschiedene Strategien verfolgt wurden. So standen in den Anfängen der VV ECMO-Therapie Hochdosis-Antikoagulationstherapie im Vordergrund, wohingegen heutzutage für eine adäquate Gerinnungssituation, die 1,5 bis 2,5-fache Höhe der aPTT häufig angestrebt wird (Lotz und Müllenbach, 2018; McMichael et al., 2022). Allerdings existieren ebenso *low-dose*-Therapiekonzepte mit aPTT Zielwerten um 35 - 40 s. In den vorliegenden Umfrageergebnissen zeigt sich die Verteilung für die Höhe der angestrebten aPTT sehr heterogen. Die Einstellung der aPTT auf 50 - 60 s ist mit 49,1 % der Fälle am häufigsten vertreten und entspricht damit den Empfehlungen der ELSO (ELSO, 2017; McMichael et al., 2022).

In der modernen VV ECMO-Therapie lässt sich gegenwärtig die Entwicklung zu restriktiveren Antikoagulationsstrategien beobachten (McMichael et al., 2022). In dieser Stichprobe zeigt sich bei einem Drittel der Teilnehmer die Tendenz zur *low-dose*-Antikoagulation mit einer aPTT von 35 - 40 s (9,4 %) und 40 - 50 s (24,5 %). Seeliger et al. (2021) beschreiben diesbezüglich, dass ein *low-dose* Therapieschema mit Heparin mit 35 - 40 s aPTT bei der VV ECMO für den Patienten nicht mit wesentlichen

höheren Risiken einhergeht. Im Gegensatz zu einer Heparintherapie mit höheren aPTT-Zielwerten zeigt sich sogar, dass unter einer *low-dose* Therapie weniger intrazerebrale Blutungen auftreten. Dabei wurde in der *low-dose*-Gruppe eine häufigere Rate von thromboembolischen Ereignissen (19 %) im Vergleich zur *high-dose*-Gruppe (6,8 %) beobachtet, ebenso eine höhere Rate von durch Thromben bedingten Wechseln des Oxygenatorfilters (Seeliger et al., 2021). In der *high-dose*-Gruppe konnten vermehrte Blutungsereignisse im Vergleich zur *low-dose*-Gruppe beobachtet werden (19,7 % vs. 13,9 %). Intrazerebrale Blutungen konnten dabei ausschließlich in der *high-dose*-Gruppe beobachtet werden (Seeliger et al., 2020). In einer anderen Veröffentlichung in Form einer Single-Center-Studie zeigten sich bei der Durchführung eines *low-dose*-Therapiekonzept gegenüber einem *high-dose*-Therapiekonzept keine signifikanten Veränderungen auf das Patientenoutcome (Shah et al., 2022). Für die *low-dose*-Gruppe konnte sogar gezeigt werden, dass das Auftreten von Thrombosen im Vergleich zur *high-dose*-Gruppe niedriger war bei zeitgleich weniger auftretenden Blutungsereignissen. Zudem zeigte sich auch kein Unterschied für die Frequenz der Notwendigkeit eines Oxygenator-Filterwechsels (Shah et al., 2022). Im Gegensatz zu den *low-dose*-Therapiekonzepten ist die Verbreitung von Antikoagulationsstrategien mit dem Ziel einer hohen aPTT dagegen nur in geringen Anteilen in dieser Stichprobe repräsentiert (60 bis 70 s (13,2 %) und 70 bis 80 s (1,9 %)). Historisch und gegenwärtig stellt die Entscheidung zwischen einem Hochdosis-Antikoagulationskonzept mit dem Risiko von Blutungskomplikationen versus dem Risiko von thrombotischen Ereignissen im Rahmen einer *low-dose*-Therapie immer noch eine zentrale Frage bei der VV ECMO-Therapie dar (Seeliger et al., 2020). In dieser Frage wird auch von Seiten der ELSO in den *Anticoagulation Guidelines* die Festlegung auf eine bestimmte Antikoagulationsstrategie offengelassen und in den Verantwortungsbereich der behandelnden Einrichtungen verlagert, welche in Abhängigkeit ihrer klinischen Erfahrung eine individuelle standortspezifische Vorgehensweise eruieren sollen (McMichael et al., 2022).

Neben *low-dose*-Therapiekonzepten existieren auch Therapieansätze die völlig auf eine Antikoagulation verzichten. In einem Review von Olson et al. (2021) konnten 201 ECMO-Patienten, davon 111 VV ECMO-Patienten, identifiziert werden, bei welchen auf

die Durchführung einer antikoagulatorischen Therapie verzichtet worden ist. Die Inzidenz für thrombotische Ereignisse unter einem solchen Antikoagulanzen-freien Therapieansatz lag in der Gruppe der VV ECMO-Patienten bei 3,6 % (Olson et al., 2021). Kurihara et al. (2020) konnten beim Vergleich von antikoagulierten VV ECMO-Patienten und Patienten ohne Antikoagulation keinen Nachteil für die nicht antikoagulierte Gruppe nachweisen. In den ELSO-Empfehlungen zu Antikoagulationsstrategien wird trotz dieser wissenschaftlichen Erkenntnisse, von der Durchführung der ECMO-Therapie ohne Antikoagulation streng abgeraten (McMichael et al., 2022). Allerdings befindet sich derzeit eine Studie mit der Fragestellung nach der Sicherheit von ECMO-Therapien ohne Antikoagulation in der Durchführung (NCT04496362) und eine weitere Untersuchung ist bereits in Planung (NCT04273607) mit dem Ziel, zukünftig eine wissenschaftlich fundierte Antwort auf diese Fragestellung zu ermöglichen (McMichael et al., 2022).

Letztlich reflektieren die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung die klinische Breite bei der Umsetzung einer angemessenen Antikoagulationsstrategie und die offenen wissenschaftlichen Fragestellungen zur Bewertung der verschiedenen Therapieansätze und eingesetzten Antikoagulanzen. Die Tendenz zu *low-dose*-Therapiekonzepten in dieser Untersuchung und die von unterschiedlichen Autoren beschriebene Sicherheit einer *low-dose*-Antikoagulation im Vergleich zu *high-dose*-Therapiekonzepten sind Aspekte, welche eine weiterführende wissenschaftliche und klinische Bewertung von *low-dose*-Antikoagulationsstrategien nach sich ziehen sollte.

4.7. Lungenprotektive Beatmung unter VV ECMO-Therapie

Eine lungenprotektive Beatmung definiert sich durch eine Begrenzung der Tidalvolumina und Spitzendrücke und die Einstellung eines hohen PEEPs (Huschak et al., 2013). Amato et al. (1998) konnten hierfür bereits in den 90er-Jahren nachweisen, dass ARDS-Patienten, welche eine lungenprotektive Beatmung erhalten, einen Überlebensvorteil gegenüber ARDS-Patienten haben, die eine konventionelle Beatmungsstrategie erfahren. Eine von Fichtner et al. (2019) beschriebene Diskrepanz zwischen der vorliegenden Evidenz für lungenprotektive Therapieansätze und der fehlenden Umsetzung dieser in der klinischen Realität ist für diese Stichprobe kriterienübergreifend zumindest nicht festzustellen, welche exemplarisch wie von Huschak et al. (2013) beschrieben an der konsequenten Umsetzung von niedrigen

Tidalvolumina und der Einstellung eines hohen PEEPs in dieser Stichprobe deutlich werden. Dabei zielt die Anwendung eines niedrigen VT mit einem hohen PEEP auf einen niedrigen dP hin (Amato et al., 2015). Im Hinblick auf die EOLIA-Studie, bei welcher im Gegensatz zur CESAR-Studie, ein standardisiertes Beatmungsprotokoll unter den Gesichtspunkten einer lungenprotektiven Beatmung für die Kontrollgruppe vorlag, konnte der definitive Vorteil einer VV ECMO-Therapie nicht gezeigt werden (Combes et al., 2014; Peek et al., 2009). Sekundäre Endpunkte der EOLIA-Studie, die eine Verkürzung der Beatmungszeit zeigten, werden jedoch für den Patienten mit einer positiveren Prognose vergesellschaftet sein und sind damit wichtig im Hinblick auf die Prophylaxe eines beatmungsassoziierten Lungenschadens und dem Weaning (Combes et al., 2014). Die weite Verbreitung von lungenprotektiven Konzepten in dieser Stichprobe ist insofern eine wichtige Erkenntnis, da diese in der Vergangenheit in dieser Form nicht standardmäßig erfolgten (Küstermann et al., 2012).

4.8. Follow-up-Ambulanz

Die Ergebnisse unserer Umfrage zeigen, dass nur in wenigen Einrichtungen, die Umsetzung eines Nachsorgeprogramms von VV ECMO-Patienten etabliert ist und umgesetzt wird. Eine intensivmedizinische Behandlung stellt unweigerlich für viele Patienten eine psychische Belastung dar, welches in dieser Form natürlich ebenfalls auf VV ECMO-Patienten zutrifft (Taylor et al., 2023). Eine australische Studie konnte hierbei eine Häufung von mittleren bis schweren Symptomen einer Depression und Fatigue nachweisen (Hodgson et al., 2012). Für die VV ECMO existieren zum Zeitpunkt der Verfassung dieser Promotionsarbeit bisher keine Empfehlungen oder infrastrukturellen Vorgaben auf nationaler Ebene, welche die Etablierung von Follow-up-Ambulanzen für erwachsene VV ECMO-Patienten fordern. Die ELSO empfiehlt in ihren *Guidelines for ECMO Centers* zwar ein Follow-up-Programm zur Nachsorge von Patienten nach der ECMO-Therapie, nennt jedoch keine konkreten infrastrukturellen Rahmenbedingungen hierzu (ELSO, 2014). Für pädiatrische ECMO-Patienten werden von der ELSO präzisere Vorgaben genannt (Ijsselstijn et al., 2021). Hierzu soll im Rahmen des Follow-up-Programms ein besonderer Fokus auf die neurologisch-kognitive Entwicklung der betroffenen Kinder und Heranwachsenden nach erhaltender ECMO-Therapie gesetzt werden (Ijsselstijn et al., 2021). Für die VV ECMO-Therapie existieren zum Zeitpunkt der

Verfassung dieser Dissertationsarbeit keine präzisen und eindeutigen Vorgaben zur Etablierung von Follow-up-Programmen auf nationaler und internationaler Ebene. Im Gegensatz dazu wird zumindest für die VA ECMO-Therapie in Deutschland von der Deutschen Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie (DGTHG) in der S3-Leitlinie 011/021: Einsatz der extrakorporalen Zirkulation (ECLS / ECMO) bei Herz- und Kreislaufversagen die Einrichtung von sogenannten Follow-up-ECMO-Ambulanzen empfohlen (DGTHG, 2020). Dabei kann für ehemalige ECMO-Patienten im Vergleich zu ehemaligen ICU-Patienten ohne ECMO-Therapie eine höhere Rate von behandlungsbedürftigen psychologischen und psychiatrischen Folgeerkrankungen beobachtet werden (Fernando et al., 2022). Dabei wird in der Untersuchung von Fernando et al. (2022) methodisch jedoch nicht konkret zwischen VV und VA ECMO differenziert, allerdings sind von den 642 Patienten in der ECMO-Gruppe 400 Patienten (62,3 %) wegen einer respiratorischen Insuffizienz mit einer ECMO behandelt worden. In Zusammenschau dieser Ergebnisse mit den Empfehlungen der DGTHG in der S3-Leitlinie 011/021: Einsatz der extrakorporalen Zirkulation (ECLS / ECMO) bei Herz- und Kreislaufversagen scheint es durchaus plausibel die Empfehlung zur Einrichtung von Follow-up-Ambulanzen in dieser Form auch auf VV ECMO-Patienten zu übertragen. Neben psychischen Erkrankungen und Folgeerscheinungen sind für ehemalige Intensiv-Patienten häufig Störungen verschiedenster Organsysteme zu beobachten. Dazu zählen u.a. kognitive Einschränkungen, Myasthenie, Beeinträchtigungen der Sinnesorgane, welche insgesamt auch als Post-Intensive-Care-Syndrom zusammengefasst werden können (DGTHG, 2020). Die Ergebnisse unserer Untersuchung bestätigen die Defizite in der Etablierung solcher Nachsorge-Ambulanzen, bei welchen nur in 6 deutschen Kliniken eine solche Spezial-Sprechstunde existiert (10,3 %). In Großbritannien, den Vereinigten Staaten von Amerika und in Skandinavien sind derartige Spezial-Ambulanzen dagegen häufiger Teil eines multimodalen ECMO-Nachsorgeprogrammes; die Bedeutung und Rolle dieser Versorgungsmöglichkeiten kann zum aktuellen Zeitpunkt jedoch aufgrund der Diversität dieser Sprechstunde nicht endgültig bewertet werden (DGTHG, 2020). Für die Versorgungsqualität der ECMO-Therapie in Deutschland ist wie in den vergleichbaren Industrienationen Großbritannien und den skandinavischen Ländern die Einführung solcher Follow-up-Ambulanzen durchaus als sinnvoll zu erachten. Dabei könnten

Informationen aus einer solchen Follow-up-Ambulanz neue Impulse für (neue) klinische Fragestellungen liefern, welche die Versorgung der Patienten im Allgemeinen verbessern könnte. Außerdem könnten wichtige Erkenntnisse zum Langzeitverlauf und zur Lebensqualität nach dieser hochkomplexen Therapie gewonnen werden.

4.9. Limitationen

Die Hauptlimitation der vorgelegten Promotionsarbeit liegt in der Natur des Studienansatzes einer Umfrage mit auf freiwilligen und im Wesentlichen nicht überprüfbaren Angaben der Teilnehme. Dabei ist die Validität der erhobenen Daten abhängig von den wahrheitsgemäßen und vollständigen Angaben der befragten Einrichtungen, welche nicht sicher gewährleistet sein kann und auch nicht geprüft werden kann. Die Erhebung von Daten in Form von Spannweiten erlaubt nur eine Größeneinordnung von angefragt epidemiologischen Kennzahlen wie bspw. die Höhe der Fallzahlen aus welcher keine präzise Zahl eruiert werden kann und die Ermittlung von Durchschnittswerten etc. nicht möglich ist.

Zusätzlich sind wie bereits erwähnt die Ungenauigkeiten im Hinblick auf eine noch präzisere Differenzierung zwischen VA und VV ECMO-Kliniken zu nennen, welche anhand der Angaben im DIVI-Intensivregister zum Zeitpunkt der Etablierung und Durchführung der Untersuchung nicht zu entnehmen sind. Zusätzlich muss benannt werden, dass die fehlende Teilnahme der übrigen recherchierten VV ECMO-Kliniken einen statistischen Bereich erzeugt, für welcher ein Einblick in die klinisch-gelebte Realität weiterhin unbekannt bleibt.

5. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit gibt nach unserem Kenntnisstand erstmals einen umfassenden Einblick in die klinische Versorgungsrealität der VV ECMO-Therapie in Deutschland. Mit der Teilnahme von 40,6 % der ECMO-versorgenden Einrichtungen und Erfassung von > 60 % der verfügbaren ECMO-Kapazitäten in Deutschland stellen die Ergebnisse dieser Untersuchung eine repräsentative Stichprobe dar.

Eine adäquate Höhe an VV ECMO-Fallzahlen, der Einsatz intensivmedizinischer ärztlicher Experten und die hohe berufliche Qualifikation des ECMO-betreuenden Pflegepersonals spiegeln stellvertretend die leitliniengerechten Rahmenbedingungen der VV ECMO-Therapie wider, welche in großen Teilen der Stichprobe Zentren übergreifend in Deutschland realisiert werden.

Neben diesen Punkten zeigen die verschiedenen Konzepte bei der Antikoagulation, das weitestgehende Fehlen von ECMO-Follow-up-Ambulanzen oder die Verfügbarkeit von ECMO-Geräten in Intensivstationen mit geringen ICU-Bettenkapazitäten, die Differenzen zwischen den fachgesellschaftlichen Empfehlungen und der Umsetzung dieser in der klinischen Realität. Insbesondere in Bezug auf die verschiedenen Antikoagulationsstrategien wird deutlich, dass auch anerkannte internationale Institutionen wie die ELSO einen großen Interpretationsspielraum ihrer Empfehlungen und Leitlinien zulassen. Neben diesen Punkten existieren auch Defizite infrastruktureller und gesellschaftlicher Natur wie ein inadäquater Pflegeschlüssel bei der ECMO-Patienten-Betreuung, welcher am ehesten auf einen allgemeinen Fachkräftemangel zurückzuführen sein könnte.

Die breite Verfügbarkeit der VV ECMO-Therapie, insbesondere in Ballungsräumen, spiegelt eine hohe Versorgungsdichte dieser Therapieoption in Deutschland wider. Die geographische Zentralisierung von Behandlungsangeboten in Abhängigkeit von der Bevölkerungsdichte könnte eine sinnvolle Maßnahme sein, einen zusätzlichen Anstieg der monozentrischen VV ECMO-Fallzahlen zu erreichen, wie auch eine Konzentration

von fachlich qualifiziertem Personal zu fördern, für welche für beides wissenschaftlich bereits mehrfach eine positive Korrelation zum Patientenüberleben nachgewiesen werden konnte. Bei der gezeigten qualitativ und quantitativ hohen Versorgungsqualität durch ECMO-Transportteams ist bei einer Zentralisierung von ECMO-Kapazitäten ein Versorgungsengpass nicht zu erwarten. Die Etablierung von fachgesellschaftlich zertifizierten Zentrumsbezeichnungen, bei welcher die Höhe der VV ECMO-Fallzahlen, die klinische Erfahrung, sowie die personellen und infrastrukturellen Rahmenbedingungen Zertifizierungskriterien darstellen könnten, stellt ein weiteres Instrument dar mit welcher die Qualität bei der vorliegenden Versorgungsdichte optimiert werden könnte. Bisher handelt es sich bei dem Begriff „ARDS-/ECMO-Zentrum“ um eine ungeschützte Bezeichnung. Insbesondere in Anbetracht der aktuellen gesundheitspolitischen Bestrebungen und Umstrukturierung der deutschen Krankenhauslandschaft mit der Zuordnung von definierten Versorgungsaufträgen und Leistungsgruppen werden Punkte wie die Zentralisierung der ECMO-Therapie und Fokussierung dieser in qualifizierte und große Krankenhauszentren zwangsläufig unumgänglich sein.

Insgesamt liefern die Ergebnisse dieser Umfrage einen wichtigen Einblick in die Versorgungsrealität der VV ECMO-Therapie in Deutschland und geben trotz der Limitationen Impulse für zukünftige wissenschaftliche Fragestellungen und Weiterentwicklung der ECMO-Therapiekonzepte sowie Versorgungsstrukturen. Ausgehend von den Umfrageergebnissen zur VV ECMO-Versorgung können neue Impulse bei der Entwicklung und Optimierung neuer Leitlinien und wissenschaftlicher Fragestellungen abgeleitet werden.

6. Anhang

6.1. Liste der VV ECMO Kliniken

Liste der ECMO-Kliniken des ARDS-Netzwerks mit ECMO-Verfügbarkeit

1. Klinik für Anästhesiologie und Klinik für Operative Intensivmedizin (Erwachsene) - Universitätsklinikum Aachen, Pauwelsstr. 30, 52074 Aachen
2. Zentrum für Anästhesie, Intensivmedizin und Notfallmedizin - Zentralklinikum Bad Berka, Robert-Koch-Allee 9, 99437 Bad Berka
3. Klinik für Intensivmedizin - HELIOS Klinikum Bad Saarow, Pieskower Str. 33, 15526 Bad Saarow
4. ARDS ECMO Zentrum - Charité - Universitätsmedizin Berlin: Campus Virchow Klinikum und Campus Charité Mitte, Augustenburger Platz 1, 13353 Berlin
5. Klinik für Intensivmedizin - Helios-Klinikum Berlin-Buch, Schwanebecker Chaussee 50, 13125 Berlin
6. Klinik und Poliklinik für Chirurgie - Klinikum Bergmannsheil, Bürkle-de-la-Camp Platz 1, 44797 Bochum
7. Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie - Universitätsklinikum KKH Bochum, In der Schornau 23-35, 44892 Bochum
8. Klinik für Anästhesiologie, Notfallmedizin und operative Intensivmedizin - Augusta-Kranken-Anstalt Bochum - Akademisches Lehrkrankenhaus, Bergstraße 26, 44791 Bochum
9. Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin - Universitätsklinikum Bonn, Sigmund-Freud-Str. 25, 53105 Bonn
10. Klinik für Intensivmedizin und Notfallmedizin - Klinikum Bremen Mitte, St.Jürgen-Str. 1, 28177 Bremen
11. Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie - Klinikum Dortmund, Beurhausstr. 40, 44137 Dortmund
12. Kliniken für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie - Klinikum Westfalen GmbH, Am Knappschafts Krankenhaus 1, 44309 Dortmund
13. Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin - HELIOS Klinikum Duisburg, An der Abtei 7, 47166 Duisburg

14. Universitätsklinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin - Universitätsklinikum
Düsseldorf, Moorenstr. 5, 40225 Düsseldorf
15. Abteilung für Anästhesiologie und Intensivmedizin - Klinikum Emden,
Bolardusstr. 20, 26721 Emden
16. Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin - Universitätsklinikum Essen,
Hufelandstr. 55, 45147 Essen
17. Internistische/Kardiologische Intensivmedizin - HELIOS Klinikum Erfurt,
Nordhäuserstr. 74, 99089 Erfurt
18. Anästhesiologische Klinik - Universitätsklinikum Erlangen,
Krankenhausstraße 12, 91054 Erlangen
19. Internistische Intensivtherapie - Klinikum Frankfurt Höchst,
Gotenstr. 6 - 8, 65929 Frankfurt/Main
20. Anästhesiologische Universitätsklinik Freiburg, Hugstetter Str. 55, 79106 Freiburg
21. Internistische Intensivstation - SRH Wald-Klinikum Gera gGmbH,
Straße des Friedens 122, 07548 Gera
22. Medizinische Klinik und Poliklinik - Universitätsklinikum Gießen, Klinikstr. 36,
35392 Gießen
23. Klinik für Innere Medizin B - Universitätsmedizin Greifswald,
Ferdinand Sauerbruch-Straße, 17475 Greifswald
24. Herzzentrum Halle (Saale) / Universitätsklinik für Anästhesiologie und Operative
Intensivmedizin - Universitätsklinikum Halle (Saale), Ernst-Grube-Straße 40,
06120 Halle
25. Innere Medizin - Internistische Intensivmedizin - Universitätsklinikum Halle (Saale),
Ernst-Grube-Straße 40, 6120 Halle (Saale) 27
26. Klinik für Intensivmedizin - Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf,
Martinistr. 52, 20246 Hamburg
27. Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin - Medizinische Hochschule
Hannover, Carl-Neuberg-Str. 1, 30625 Hannover
28. Klinik für Innere Medizin: Pneumologie - Medizinische Hochschule Hannover,
Carl-Neuberg-Str. 1, 30625 Hannover
29. Klinik für Atemwegs-, Lungen- und Thoraxmedizin - Asklepios Klinikum Hamburg,
Eißendorfer Pferdeweg 52, 21079 Hamburg

30. Klinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin - KRH Klinikum Siloah und KRH Klinikum Oststadt-Heidehaus, Podbielskistr. 380, 30699 Hannover
31. Klinik für Pneumologie, Internistische Intensiv- und Schlafmedizin - KRH Klinikum Siloah-Oststadt-Heidehaus, Stadionbrücke 4, 30459 Hannover
32. Abteilung für Anästhesiologie & Intensivmedizin - Thoraxklinik am Universitätsklinikum Heidelberg, Röntgenstr. 1, 69126 Heidelberg
33. Klinik für Anästhesiologie, operative Intensivmedizin, Rettungsmedizin, Schmerztherapie - Klinikum Herford (AÖR), Schwarzenmoorstr. 70, 32049 Herford
34. Klinik für Thoraxchirurgie und Lungenunterstützung - Klinikum Ibbenbüren, Große Straße 41, 49477 Ibbenbüren
35. Kooperation aus Abteilung für „Anästhesie und Intensivmedizin“ und „Abteilung Pneumologie, Thoraxonkologie, Schlaf- und Beatmungsmedizin“ - Klinikverbund Kempten-Oberallgäu gGmbH, Standort Immenstadt, Im Stillen 3, 87509 Immenstadt
36. Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin - Friedrich-Schiller-Universität Jena, Erlanger Allee 101, 07747 Jena
37. Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie – Klinikum Kassel, Mönchebergstr. 41-43, 34125 Kassel
38. Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin - Universitätsklinikum Schleswig-Holstein: Campus Kiel, Schwanenweg 21, 24105 Kiel
39. ECMO-Zentrum der Uniklinik Köln, Kerpener Str. 62, 50937 Köln
40. Lungenklinik – Abt. Pneumologie - Kliniken der Stadt Köln, Ostmerheimer Straße 200, 51109 Köln
41. Klinik für Anästhesiologie, operative Intensivmedizin und Schmerztherapie - HELIOS Klinikum Krefeld, Lutherplatz 40, 47805 Krefeld
42. Klinik für Anästhesie & Perioperative Medizin - Asklepios Kliniken Langen-Seligenstadt GmbH, Röntgenstraße 20, 63225 Langen
43. Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie - Universitätsklinikum Leipzig, Liebigstraße 20, 04103 Leipzig
44. Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin - Universitätsklinikum Schleswig-Holstein: Campus Lübeck, Ratzeburger Allee 160, 23538 Lübeck

45. Klinik für Anästhesiologie - Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universitätsmedizin Mainz, Langenbeckstr. 1, 55131 Mainz
46. Institut für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin - Universitätsklinikum Mannheim, Theodor-Kutzer-Ufer, 68167 Mannheim
47. Innere Intensivmedizin - Kliniken Maria Hilf, Viersener Str. 450, 41063 Mönchengladbach
48. Klinik für Anästhesiologie - Ludwig-Maximilians-Universität München, Marchioninistr. 15, 81377 München
49. Klinikum Nürnberg Nord - Intensivstation 10/II / Klinik für Pneumologie, Prof.-Ernst-Nathan-Straße 1, 90419 Nürnberg
(Bemerkung: Im ARDS-Netzwerk doppelt mit derselben Abteilung aufgeführt)
50. Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin - Krankenhaus Barmherzige Brüder, Romanstr. 93, 80639 München
51. Universitätsklinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie - Klinikum Oldenburg, Rahel-Strauss-Str. 10, 26133 Oldenburg
52. Klinik für Innere Medizin und Internistische Intensivmedizin – Evangelisches Krankenhaus Oldenburg, Steinweg 13-17, 26122 Oldenburg
53. Klinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin – Marienhospital Osnabrück, Bischofsstraße 1, 49074 Osnabrück
54. Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie - Universitätsmedizin Rostock, Schillingallee 35, 18057 Rostock
55. Abteilung für Anästhesie - Robert-Bosch-Krankenhaus, Auerbachstr. 110, 70376 Stuttgart
56. Allgemeininternistische und Kardiologische Intensivmedizin, Innere Medizin 3 - Krankenhaus der Barmherzigen Brüder Trier, Nordallee 1, 54292 Trier
57. Universitätsklinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin - Universitätsklinikum Tübingen, Hoppe-Seyler-Str. 3, 72076 Tübingen
58. Klinik für Anästhesiologie - Universitätsklinikum Ulm, Albert-Einstein-Allee 23, 89081 Ulm
59. Klinik für Herz und Thoraxchirurgie: Sektion operative Intensivmedizin - HerzZentrum Saar, Richardstraße 7-9, 66333 Völklingen

60. Medizinische Klinik 1 - Klinikum Weiden, Söllnerstr. 16, 92637 Weiden in der Oberpfalz
61. Klinik für Intensivmedizin - HELIOS Klinikum Wuppertal Barmen, Heusnerstr. 40, 42283 Wuppertal
62. Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie - Universitätsklinikum Würzburg: Zentrum Operative Medizin, Oberdürrbacher Straße 6, 97080 Würzburg
63. Klinik für Anästhesiologie - Universitätsmedizin Göttingen, Robert-Koch-Str. 40, 37075 Göttingen
64. Klinik für Intensiv- und Notfallmedizin - Helios Klinikum Pforzheim, Kanzlerstraße 2-6, 75175 Pforzheim
65. IV. Med. Klinik und Klinik für Anästhesie und operative Intensivmedizin - St. Franziskus-Hospital Münster, Hohenzollernring 70, 48145 Münster
66. Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie - Universitätsklinikum Carl Gustav Carus Dresden, Fetscherstraße 74, 01307 Dresden
67. Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie - Klinikum der Johann Wolfgang Goethe- Universität Frankfurt/Main, Theodor-Stern-Kai 7, 60590 Frankfurt am Main
68. Klinik für Innere Medizin V – Pneumologie, Allergologie, Beatmungs- und Umweltmedizin - Universitätsklinikum des Saarlandes, Kirrberger Straße, 66421 Homburg/Saar
69. Internistische Intensivmedizin & Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie: Department für Kardiologie und Angiologie - Universitätsklinikum Münster, Albert-Schweitzer-Campus 1, A-1, 48149 Münster
70. Internistische Intensivmedizin und Pneumologie: Klinik und Poliklinik für Innere Medizin II - Universitätsklinikum Regensburg, Franz-Josef-Strauss-Allee 11, 93053 Regensburg
71. Interdisziplinäre Intensivmedizin: Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie & Klinik für Kardiologie, konservative Intensivmedizin, Angiologie - Dr. Horst-Schmidt-Kliniken GmbH, Ludwig-Erhard-Str. 100, 65199 Wiesbaden
72. Klinik für Anästhesie und Intensivtherapie - Phillips-Universität Marburg - Universitätsklinikum Gießen und Marburg, Standort Marburg, Baldingerstraße 1, 35033 Marburg

Kliniken mit ECMO-Verfügbarkeit identifiziert anhand der Angaben im DIVI-Intensivregister im April 2020

1. Klinik für Anästhesie und Operative Intensivmedizin - Klinikum Leverkusen, Am Gesundheitspark 11, 51375 Leverkusen
2. Klinik für Kardiologie, Rhythmologie, Nephrologie, Angiologie und Intensivmedizin (Med.Klinik I) - Klinikum Osnabrück, Am Finkenhügel 1, 49076 Osnabrück
3. Medizinische Klinik 1: Gastroenterologie, Pneumologie und Endokrinologie: Abteilung für Pneumologie und internistische Intensivmedizin - Universitätsklinikum Erlangen, Ulmenweg 18, 91054 Erlangen
4. Pneumologische Klinik (Zentrum für Innere Medizin) – AGAPLESION Ev. Krankenhaus Mittelhessen, Paul-Zipp-Straße 171, 35398 Gießen
5. Institut für Anästhesie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie - Allgemeines Krankenhaus Viersen, Hoserkirchweg 63, 41747 Viersen
6. Klinik für Anästhesiologie, Intensiv-, Notfall- und Schmerzmedizin - Asklepios Klinik Nord, Tangstedter Landstraße 400, 22417 Hamburg
7. Zentrum für interdisziplinäre Akutmedizin: Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie - Asklepios Klinik St. Georg/Hamburg, Lohmühlenstraße 5, 20099 Hamburg
8. Abteilung für Anästhesie Intensivmedizin und Schmerzmedizin - BG-Unfallklinik Murnau 8, Prof. Küntscher Straße, 82418 Murnau
9. Klinik für Anästhesiologie, Intensiv- und Schmerzmedizin - BG Klinikum Unfallkrankenhaus Berlin gGmbH - UKB, Warener Straße 7, 12683 Berlin
10. Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Schmerztherapie und Notfallmedizin - Bundeswehrkrankenhaus Berlin, Scharnhorststraße 13, 10115 Berlin
11. Anästhesiologie und Intensivtherapie - Fachkrankenhaus Coswig GmbH, Neucoswiger Str. 21, 1640 Coswig
12. Intensivmedizin/Intermediate Care - Gemeinschaftskrankenhaus Havelhöhe, Kladower Damm 221, 14089 Berlin
13. Anästhesiologie, Interdisziplinäre Intensivmedizin und Schmerztherapie - Helios Hansekllinikum Stralsund, Große Parower Straße 47-53, 18435 Stralsund
14. Innere Medizin und Anästhesiologie - SLK-Klinikum am Plattenwald (Bad Friedrichshall), Am Plattenwald 1, 74177 Bad Friedrichshall

15. Anästhesiologie und Intensivmedizin - Klinikum Magdeburg gGmbH,
Birkenallee 34, 39130 Magdeburg
16. Interdisziplinär: 1. Medizinische Klinik in Kooperation mit Herzchirurgie und
Kardioanästhesie - Universitätsklinikum Augsburg,
Stenglinstraße 2, 86156 Augsburg
17. Klinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin - München Klinik
Neuperlach, Oskar-Maria-Graf-Ring 51, 81737 München
18. Klinik für Anästhesiologie - Malteser Krankenhaus St. Anna,
Albertus-Magnus-Str. 33, 47259 Duisburg
19. Klinik für Innere Medizin/Pneumologie - Karl-Hansen-Klinik Bad Lippspringe,
Antoniusstraße 19, 33175 Bad Lippspringe
20. Med. Klinik I/Kardiologie-Intensivmedizin - St. Ansgar Krankenhaus Höxter
(Klinikverbund KHWE), Brenkhäuserstraße 71, 37671 Höxter
21. Klinik für Thorax, Herz- und Gefäßchirurgie - Westpfalz-Klinikum GmbH,
Hellmut-Hartert-Straße 1, 67655 Kaiserslautern
22. Innere Medizin 1/Anästhesie/cardiac arrest center Dortmund -
St-Johannes-Hospital Dortmund, Johannesstraße 9-17, 44139 Dortmund
23. Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie -
Immanuel Klinikum Bernau Herzzentrum Brandenburg,
Ladeburger Str. 17 , 16321 Bernau bei Berlin
24. Klinik für Intensivmedizin - Helios Kliniken Schwerin, Wismarsche Straße 397,
19049 Schwerin
25. Herz- und Gefäßzentrum Bad Bevensen, Römstedter Straße 25,
29549 Bad Bevensen
26. Medizinische Klinik I/Intensivstation II - Klinikum Bamberg, Buger Straße 80,
96049 Bamberg
27. Anästhesiologie/MED 1 - Klinikum Fulda, Pacelliallee 4, 36037 Fulda
28. Klinik für Anästhesiologie - Klinikum Ingolstadt, Krumenauerstraße 25,
85049 Ingolstadt
29. Klinik für Anästhesie - Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität
München, Ismaninger Str. 22, 81675 München

30. Innere Universität München - Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München, Ismaninger Str. 22, 81675 München
31. Kardiologie - Klinikum Traunstein, Cuno-Niggel-Str. 3, 83278 Traunstein
32. Anästhesie - Klinikum Traunstein, Cuno-Niggel-Str. 3, 83278 Traunstein
33. Klinik AINS - Klinikum Wilhelmshaven gGmbH, Friedrich Paffrath-Str. 100, 26389 Wilhelmshaven
34. Pneumologie und konservative Intensivmedizin - Krankenhaus Barmherzige Brüder Regensburg, Prüfeninger Straße 86, 93049 Regensburg
35. Anästhesie und operative Intensivmedizin - Krankenhaus Barmherzige Brüder Regensburg, Prüfeninger Straße 86, 93049 Regensburg
36. Innere Medizin/Kardiologie - Marienkrankenhaus Hamburg, Alfredstraße 9, 22087 Hamburg
37. Klinik für Anästhesie, Intensivmedizin und Schmerztherapie - Marienkrankenhaus Hamburg, Alfredstraße 9, 22087 Hamburg
38. Anästhesie - Rhön Klinikum Campus Bad Neustadt, Von Guttenbergstraße 11, 97616 Bad Neustadt
39. ZIM - Robert-Bosch Krankenhaus, Auerbachstr. 110, 70376 Stuttgart
40. Klinik für Kardiologie und Angiologie - Universität Magdeburg, Leipzigerstr. 44, 39120 Magdeburg
41. Medizinische Klinik 3/Konservative Intensivmedizin - Klinikum Herford, Schwarzenmoorstraße 70, 32049 Herford
42. Sektion Interdisziplinäre Konservative Intensivmedizin - Universitätsklinikum Schleswig-Holstein: Campus Lübeck, Ratzeburger Allee 160, 23538 Lübeck
43. Klinik für Kardiologie, Angiologie und internistische Intensivmedizin: Sektion für Intensivmedizin und ECMO-Therapie - Universitätsklinik Aachen, Pauwelsstraße 30, 52074 Aachen
44. Zentrum für Intensivmedizin - Kreiskliniken Reutlingen, Steinenbergstraße 31, 72764 Reutlingen
45. Medizinische Klinik II: Zentrum für Intensivmedizin - Klinikum am Steinenberg, Steinenbergstraße 31, 72764 Reutlingen

Herzchirurgische ECMO-Kliniken und VA ECMO-Kliniken anhand der Angaben der ECMO-Verfügbarkeit im DIVI-Intensivregister im April 2020

1. Deutsches Herzzentrum München des Freistaates Bayern, Lazarettstraße 36, 80636 München
2. Herzzentrum Duisburg, Kardiologie, Herzchirurgie und Anästhesiologie - Ev. Klinikum Niederrhein, Gerrickstraße 21, 47137 Duisburg
3. Helios Herzzentrum Leipzig, Strümpellstraße 39, 04289 Leipzig
4. MedClin Herzzentrum Lahr/Baden, Anästhesiologie und Intensivmedizin, Hohbergweg 2, 77933 Lahr
5. Klinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin - Helios Klinikum Siegburg, Ringstr. 49, 53721 Siegburg
6. Anästhesie/Intensivmedizin - Herz-Zentrum Bodensee GmbH, Luisenstraße 9a, 78464 Konstanz
7. Klinik für Herzchirurgie - Herzzentrum Dresden, Fetscherstr. 76, 01307 Dresden
8. Klinik für Anästhesie und Intensivmedizin - Klinikum Karlsburg, Greifswalder Str. 11A, 17495 Karlsburg

Kliniken mit ECMO-Verfügbarkeit anhand der Angaben im DIVI-Intensivregister im November 2020

1. Internistische Intensivstation - Uniklinikum Dresden, Fetscherstraße 74, 01307 Dresden
2. Klinik für Anästhesie - Elblandklinikum Riesa, Weinbergstraße 8, 01589 Riesa
3. Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie - Heinrich-Braun-Klinikum - gemeinnützige GmbH: Standort Zwickau, Karl-Keil-Straße 35, 08060 Zwickau
4. Klinik Anästhesie und Intensivmedizin - MediClin Müritzklinikum, Waren, Weinbergstraße 19, 17192 Waren (Müritz)
5. Herz- und Gefäßzentrum - Segeberger Kliniken, Bad Segeberg, Am Kurpark 1, 23795 Bad Segeberg
6. Intensivmedizin, imland gGmbH - Standort Rendsburg, Lilienstraße 20, 24768 Rendsburg

7. Medizinische Klinik 2 - Kardiologie und Internistische Intensivmedizin - St. Vincenz-Krankenhaus GmbH, Am Busdorf 2, 33098 Paderborn
8. Klinik für Innere Medizin, Kardiologie und internistische Intensivmedizin - Westküstenkliniken Brunsbüttel und Heide gGmbH, Standort Heide, Esmarchstraße 50, 25746 Heide, Holst
9. Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin - Klinikum Bielefeld Mitte, Teutoburgerstraße 50, 33604 Bielefeld
10. Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin - Klinikum Bad Hersfeld, Seilerweg 29, 36251 Bad Hersfeld
11. Internistische Intensiv- und Beatmungsmedizin (Respiratory Care Unit) - Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH, Salzdahlumerstraße 90, 38126 Braunschweig
12. Beatmungs- und Intensivmedizin - Krankenhaus Bethanien Solingen, Aufderhöher Str. 169, 42699 Solingen
13. Klinik für Akut- und Notfallmedizin, Elisabeth-Krankenhaus Essen GmbH, Klara-Kopp-Weg 1, 45138 Essen
14. Intensivmedizin - BG Klinikum Duisburg gGmbH, Großenbaumer Allee 250, 47249 Duisburg
15. Medizinische Klinik - St. Antonius Köln, Schillerstraße 23 50968 Köln
16. 3. Medizinische Klinik Kardiologie/Herzzentrum: ECMO/ECLS Zentrum Standort Nord - Klinikum Mutterhaus der Borromäerinnen gGmbH, Nordallee 1, 54292 Trier
17. Intensivmedizin - Klinikum Mutterhaus der Borromäerinnen gGmbH Standort Mitte, Feldstraße 16, 54290 Trier
18. Klinik für Anästhesie und Intensivmedizin – Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz, Rübenacher Str. 170, 56072 Koblenz
19. Klinik für Anästhesie und Intensivmedizin - Klinikum Hochsauerland GmbH: St. Walburga-Krankenhaus, Schederweg 12, 59872 Meschede
20. Medizinische Klinik - Krankenhaus Nordwest, Steinbacher Hohl 2-26, Frankfurt
21. Klinik für Kardiologie, Angiologie, Pneumologie, Nephrologie und internistische Intensivmedizin - Klinikum Hanau, Leimenstraße 20, 63450 Hanau
22. Klinik für Anästhesie und Intensivmedizin - Klinikum Hanau, Leimenstraße 20, 63450 Hanau

23. Klinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin - Klinikum Darmstadt, Grafenstraße 9, 64283 Darmstadt
24. Anästhesiologie und Intensivmedizin - Klinikum Saarbrücken gGmbH, Hauptstandort, Winterberg 1, 66119 Saarbrücken, Saarland
25. Klinik für Kardiologie, Pneumologie, Angiologie und Internistische Intensivmedizin (Medizinische Klinik B) - Klinikum der Stadt Ludwigshafen am Rhein gGmbH, Bremserstraße 79, 67063 Ludwigshafen am Rhein
26. Department für interdisziplinäre Akut-, Notfall- und Intensivmedizin (DIANI) Katharinenhospital - Klinikum Stuttgart, Kriegsbergstraße 60, 70174 Stuttgart

Herzchirurgische ECMO-Kliniken und VA ECMO-Kliniken nach den Angaben der ECMO-Verfügbarkeit im DIVI-Intensivregister im November 2020

1. Sana Herzzentrum Cottbus GmbH, Leipzigerstraße 50 03048 Cottbus
2. MediClin Herzzentrum Coswig, Lerchenfeld 1, 06869 Coswig
3. Deutsches Herzzentrum Berlin, Hauptstandort Augustenberger Platz 1, 13353 Berlin
4. Klinikum Links der Weser - Hauptstandort, Senator-Weßling-Straße 1, 28277 Bremen
5. Herz- und Diabetes-Zentrum Bad Oeynhausen, Georgstraße 11, 32545 Bad Oeynhausen
6. Schüchtermann-Schiller'sche Kliniken Bad Rothenfelde GmbH & Co. KG, Umlenke 5-11, 49214 Bad Rothenfelde
7. Sana Herzchirurgie Stuttgart GmbH, Herdweg 2, 70174 Stuttgart

6.2. Wissenschaftlicher Fragebogen der Umfrage

Fragebogen

1 Startseite - 1.1.

Die Fragen auf den folgenden Seiten sind in den Formaten von Single-Choice-, Multiple Choice-Fragen und weiteren einfachen Formaten aufgeführt.

Bitte wählen Sie die bestmögliche oder zutreffendste Antwort. Berücksichtigen Sie dabei, dass alle Fragen sich ausschließlich auf die VV ECMO Therapie beziehen.

Die Umfrage dauert ca. 15-20 Minuten. Nach Abschluss der Fragen haben Sie die Möglichkeit zur unabhängigen Teilnahme an der Verlosung eines Amazon Gutscheins als kleiner Dank für Ihren Aufwand.

Im Sinne der Lesbarkeit sind die Fragen mit dem generischen Maskulin formuliert - Bitte beachten Sie, dass die Personenbezeichnungen gleichermaßen für alle Geschlechter gelten.

2 Block 1: Infrastruktur und Patienten

Wieviele Intensivbetten bestehen in Ihrer Abteilung?

Bitte geben Sie im Textfeld die bei Ihnen vorliegende Intensivbettenanzahl an.

Wieviele ECMO-Geräte sind in Ihrer Abteilung verfügbar?

Bitte geben Sie im Textfeld die bei Ihnen vorliegende Geräteanzahl an.

Seit wie vielen Jahren wird die VV ECMO als Therapieoption in Ihrer Abteilung angeboten?

Bitte geben Sie im Textfeld die zutreffendste Antwort in Jahren an.

Wie viele VV ECMO-Patienten betreuen Sie in Ihrer Klinik ungefähr jährlich?

Bitte geben Sie die zutreffendste Spannweite an.

☐ <10

☐ 10-30

☐ 31-50

☐ 51-70

☐ 71-90

☐ 91-110

☐ 111-130

☐ 131-150

☐ >150

Wie hoch ist die Krankenhausentlassrate Ihrer Patienten nach VV ECMO-Therapie?

Bitte kreuzen Sie die zutreffendste Spannweite an (in %).

☐ 0-10

☐ 11-20

☐ 21-30

☐ 31-40

☐ 41-50

☐ 51-60

☐ 61-70

☐ 71-80

☐ 81-90

☐ 91-100

☐ keine Angabe

☐ nicht bekannt

Wie viele Patienten können Sie unter laufender VV ECMO-Therapie gleichzeitig versorgen?

Bitte geben Sie im Textfeld die zutreffende Anzahl an.

3 Block 2: Organisation und Management

Der Hauptbehandler der VV ECMO-Patienten in Ihrer Abteilung ist in der Regel Facharzt für....

Bitte wählen Sie unter den nachfolgenden Antwortmöglichkeiten die Zutreffendste aus.

☐ Anästhesiologie

☐ Innere Medizin und Kardiologie

☐ Innere Medizin und Pneumologie

☐ Herzchirurgie

☐ Thoraxchirurgie

☐ Sonstige:

Ist ein Kardiotechniker bei der Durchführung einer VV ECMO-Therapie auf Intensivstation mit eingebunden?

Wählen Sie die zutreffenden Antwortmöglichkeiten. Eine Mehrfachauswahl ist möglich.

☐ Nein, ein Kardiotechniker ist zu keinem Zeitpunkt der VV ECMO-Therapie in der Patientenbehandlung eingebunden

☐ Ja, und zwar bei der Anlage der ECMO

☐ Ja, und zwar bei der Durchführung von Patiententransporten

☐ Ja, und zwar beim stationären bettseitigem Management inklusive Monitoring und Steuerung der ECMO-Parameter

☐ Sonstiges:

Das bettseitige technische Management wird größtenteils von folgender Berufsgruppe durchgeführt....

Bitte wählen Sie die zutreffendste Antwortmöglichkeit aus.

☐ ärztlicher Dienst

☐ pflegerischer Dienst

☐ Kardiotechniker

☐ Sonstige:

Welcher Pflegeschlüssel sollte Ihrer Meinung nach bei der Betreuung von VV ECMO-Patienten angestrebt werden?

Bitte wählen Sie die zutreffendste Antwortmöglichkeit aus.

Angabe in Verhältnis Pflegekraft : Patient.

☐ 1:3

☐ 1:2

☐ 1:1,5

☐ 1:1

☐ 1,5:1

☐ 2:1

Welchen Pflegeschlüssel erreichen Sie realistisch bei der Betreuung von VV ECMO-Patienten in Ihrer Klinik?

Bitte wählen Sie die zutreffendste Antwortmöglichkeit aus.

Angabe im Verhältnis Pflegekraft : Patient.

☐ 1:3

☐ 1:2

☐ 1:1,5

☐ 1:1

☐ 1,5:1

☐ 2:1

Welche der pflegerischen Qualifikationen für die intensivstationäre Betreuung von ECMO-Patienten sehen Sie als Minimalanforderung an?

Bitte wählen Sie die zutreffendste Antwortmöglichkeit aus.

☐ Gesundheits- und Krankenpfleger (GKP) ohne Fachweiterbildung

☐ GKP mit Fachweiterbildung Anästhesie - und Intensivpflege

☐ GKP mit Fachweiterbildung Notfallpflege

☐ GKP und klinikinterne Fortbildung mit dem Schwerpunkt ECMO-Therapie

☐ Studium Fachpflege beispielsweise Advanced Nurse Practitioner etc.

☐ Sonstige:

Welche der pflegerischen Qualifikationen für die intensivstationäre Betreuung von ECMO-Patienten wird in Ihrer Klinik in der Regel umgesetzt?

Bitte wählen Sie aus den unten aufgeführten Antwortmöglichkeiten die Zutreffendste aus.

☐ exam. Gesundheits- und Krankenpfleger (GKP) ohne Fachweiterbildung

☐ GKP mit Fachweiterbildung Anästhesie - und Intensivpflege

☐ GKP mit Fachweiterbildung Notfallpflege

☐ GKP und klinikinterne Ausbildung mit Schwerpunkt ECMO-Therapie

☐ Studium Fachpflege beispielsweise Advanced Nurse Practitioner etc.

☐ Sonstige:

4 Block 3: Transport und Logistik

Wie setzt sich in Ihrer Abteilung ein Behandlungsteam für einen innerklinischen ECMO-Transport zusammen (z.B. CT-Diagnostik)?

Bitte wählen Sie die entsprechenden Berufsgruppen aus und geben die dazugehörige Anzahl an Personal in der Tabelle an.

	0	1	2	3
ärztliches Personal	☐	☐	☐	☐
pflegerisches Personal	☐	☐	☐	☐
Kardiotechniker	☐	☐	☐	☐
Sonstige:	☐	☐	☐	☐

Verfügt Ihr Haus über ein ECMO-Transportteam für den Einsatz in externen Krankenhäusern?

Bitte kreuzen Sie die zutreffende Antwortmöglichkeit an.

☐ Ja

☐ Nein

5.1 Filter

Zu wievielen Einsätzen ist Ihr ECMO-Transportteam im letzten Jahr ausgerückt?

Bitte geben Sie im Textfeld die Anzahl an Einsätzen im letzten Jahr an.

Zu welchen Zeiten und wie ist dieses Team regulär einsatzbereit?

Bitte wählen Sie die zutreffendste Antwortmöglichkeit aus.

☐ Rund-um-die-Uhr (24/7) aus dem regulären stationären Besetzung / Bereitschaftsdienst

☐ Rund-um-die-Uhr (24/7) über Rufbereitschaft

☐ nur Wochentags (Mo-Fr) - Kernarbeitszeit

☐ ganzwöchig (Mo-So) - Kernarbeitszeit

☐ Andere Organisationsform (bitte beschreiben):

Wie viel Vorlaufzeit wird benötigt bis das Ausrücken des ECMO-Transportteams erfolgen kann?

Bitte wählen Sie die zutreffendste Antwortmöglichkeit aus (in Minuten).

☐ <60

☐ 61-120

☐ 121-180

☐ >180

Wie setzt sich bei Ihnen ein Behandlungsteam für einen außerklinischen ECMO-Transport (z.B. in eine externe Klinik) zusammen?

Bitte wählen Sie die entsprechenden Berufsgruppen aus und geben die dazugehörige Anzahl an Personal in der Tabelle an.

	0	1	2	3
ärztliches Personal	☐	☐	☐	☐
pflegerisches Personal	☐	☐	☐	☐
Kardiotechniker	☐	☐	☐	☐
Sonstige:	☐	☐	☐	☐

Haben Sie feste Kooperationen und Absprachen mit Betreibern boden- und/oder luftgebundener Rettungsmittel?

Wählen Sie die zutreffenden Antwortmöglichkeiten aus. Eine Mehrfachauswahl ist möglich.

☐ Einsätze mit lokalen Rettungsmitteln je nach Verfügbarkeit

☐ Einsatz mit speziellen Intensivtransportmitteln (Luft/Boden)

☐ Feste Kooperation und Konzept mit Rettungsdienst/Intensivtransport

☐ Feste Kooperation und Konzept mit Luftrettung/Intensivtransport

6 Block 4: Monitoring während der stationären VV ECMO Therapie

Während der ECMO-Therapie:

Welche bildgebende Diagnostik führen Sie regelmäßig oder indikationsbezogen durch?

Bitte kreuzen Sie die zutreffenden Antwortmöglichkeiten in der Tabelle an.

	Täglich	Wöchentlich	festes Zeitintervall	Indikationsbezogen
Röntgen-Thorax	☐	☐	☐	☐
CT-Thorax	☐	☐	☐	☐
cCT	☐	☐	☐	☐

Erfolgt in Ihrer Klinik auf Intensivstation standardmäßig ein neurologisches Monitoring unter laufender VV ECMO-Therapie?

Wählen Sie die zutreffenden Antwortmöglichkeiten aus.

☐ Ja, und zwar ein NIRS-Monitoring

☐ Ja, und zwar das BIS-Monitoring

☐ Ja, sonstige:

☐ Nein, es erfolgt standardmäßig kein neurologisches Monitoring

Welche der folgenden Verfahren setzen Sie standardmäßig unter laufender VV ECMO-Therapie für das hämodynamische Monitoring ein?

Bitte wählen Sie die zutreffenden Antwortmöglichkeiten aus. Mehrfachnennungen sind möglich.

☐ PiCCO

☐ Pulmonalarterienkatheter

☐ TEE

☐ Sonstige:

6.1.1 Standardseite

Werden die Verfahren PiCCO und Pulmonalarterienkatheter in Ihrer Klinik zeitgleich angewendet?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwortmöglichkeit aus.

☐ Ja

☐ Nein

☐ Keine Angabe

7 Block 5: Antikoagulation und Gerinnungsdiagnostik

In welcher Frequenz führen Sie standardmäßig eine Gerinnungsdiagnostik durch?

Bitte wählen Sie die zutreffendste Antwortmöglichkeit aus.

☐ In zeitlichen Abständen kleiner als 4 Stunden.

☐ Im zeitlichen Abstand von ca. 4 Stunden.

☐ Im zeitlichen Abstand von ca. 8 Stunden.

☐ Im zeitlichen Abstand von ca. 16 Stunden.

☐ Im zeitlichen Abstand von ca. 24 Stunden.

☐ Sonstiges:

Verwenden Sie regelmäßig eine ACT-Messung?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwortmöglichkeit aus.

☐ Ja

☐ Nein

Welchen unteren Grenzbereich bei der Thrombozyten-Zahl akzeptieren Sie regulär während der VV ECMO-Therapie?

Bitte wählen Sie die zutreffendste Antwortmöglichkeit in Thrombozyten in G/l an.

☐ 50 - 79

☐ 80 - 119

☐ 120-149

☐ >150

Welche Antikoagulation setzen Sie primär unter laufender VV ECMO-Therapie ein?

Bitte wählen Sie die zutreffendste Antwortoption aus.

☐ UFH-Heparin

☐ NMH-Heparin s.c.

☐ Argatroban

☐ Danaparoid

☐ Sonstige:

Welche Parameter nutzen Sie zur Kontrolle Ihres Antikoagulationzieles?

Bitte reihen Sie die labordiagnostischen Verfahren nach Ihrer Priorität/Häufigkeit der Verwendung an. Beginnen Sie mit den bevorzugten Testverfahren.

aPTT	→	
Thrombinzeit		
ACT		
Anti-Faktor Xa		

8.1 Standardseite

Beim Einsatz von UFH-Heparin oder Argatroban - Wie hoch versuchen Sie die primär angestrebte aPTT einzustellen?

Bitte kreuzen Sie die zutreffendste Antwortmöglichkeit in Sekunden an. Berücksichtigen Sie bei der Beantwortung dieser Frage, dass die VV ECMO-Therapie im Vordergrund stehen sollte und weitere das Gerinnungsmanagement betreffende unabhängige Einflussfaktoren nicht berücksichtigt werden sollten (bspw. Vorhofflimmern etc.)

- ☐ 35-40
- ☐ 40-50
- ☐ 50-60
- ☐ 60-70
- ☐ 70-80
- ☐ Wir steuern die Therapie nicht nach aPTT.

9 vWF - Hauptseite

Bestimmen Sie standardmäßig den von Willebrand-Faktor (vWF)?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwortmöglichkeit.

- ☐ Ja
- ☐ Nein

10.1 Standardseite

In welcher zeitlichen Frequenz bestimmen Sie den von Willebrand-Faktor?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwortmöglichkeit aus.

☐ Täglich

☐ 1x/Woche

☐ 1x während der gesamten Therapiedauer

☐ Sonstige:

Wird ein labordiagnostisch gesichertes erworbenes vWF-Syndrom unter laufender VV ECMO-Therapie in Ihrer Klinik therapiert?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwortmöglichkeit aus.

☐ Ja

☐ Nein

11 Block 6: Maschinelle Beatmung

Wie definieren Sie in Ihrer Abteilung im Hinblick auf die maschinelle Beatmung das Konzept "lung rest" am ehesten?

Bitte nutzen Sie die untenstehenden Begriffe um ein für Sie zutreffendes Konzept zu beschreiben. Bitte wählen Sie mindestens 4 Bausteine aus und bewegen diese in den Kasten nach rechts.

low VT (niedrige Tidalvolumen)

High PEEP

Moderate PEEP

Low PEEP

Low Delta-P (Driving Pressure)

High Plateau

Atemzeitverhältnis (I:E): 1:1

Atemzeitverhältnis (I:E): 1:2

Atemzeitverhältnis (I:E): 2:1

Atemzeitverhältnis (I:E): 3:1

Atemzeitverhältnis (I:E): 4:1



Setzen Sie regelhaft die elektrische Impedanztomographie (EIT) als Monitoringverfahren während der ECMO Therapie ein?

Bitte kreuzen Sie die zutreffende Antwortmöglichkeit an.

- ☐ Ja
- ☐ Nein
- ☐ Nicht verfügbar.

Nutzen Sie regelhaft Verfahren zur Messung des transpulmonalen Druckes oder seiner Surrogatparameter (z.B. Ösophagusdruckmessung)?

Bitte kreuzen Sie die zutreffende Antwortmöglichkeit an.

- ☐ Ja
- ☐ Nein

12.1 intrapulmo. P.

Erlauben Sie bei zuverlässig vorliegenden Parametern des intrapulmonalen Druckes oder seiner Surrogatparameter ein Wechsel der Beatmungsstrategie (bspw. Erlauben höherer Spitzendrücke)?

Bitte wählen Sie die zutreffendste Antwortmöglichkeit aus.

- ☐ Ja
- ☐ Nein

13 Block 7: ECMO-Therapie

Wie wird in Ihrer Klinik der Begriff „Outlet-Kanüle“ verwendet?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwortmöglichkeit.

- ☐ Blutfluss von ECMO-Konsole zum Patienten
- ☐ Blutfluss vom Patienten zur ECMO-Konsole

Die häufigste Lokalisation für die rückführende Kanüle (oxygeniertes Blut) in Ihrer Klinik ist....

Bitte wählen Sie die zutreffendste Antwortmöglichkeit aus.

☐ V. jugularis interna rechts

☐ V. jugularis interna links

☐ V. femoralis rechts

☐ V. femoralis links

☐ Sonstige:

Die häufigste Lokalisation für die ableitende Kanüle (desoxygeniertes Blut) in Ihrer Klinik ist....

Bitte wählen Sie die zutreffendste Antwortmöglichkeit aus.

☐ V. jugularis interna rechts

☐ V. jugularis interna links

☐ V. femoralis rechts

☐ V. femoralis links

☐ Sonstige:

Wie legen Sie die ECMO-Kanülen zur VV ECMO in der Regel an?

Bitte wählen Sie die zutreffendste Antwortmöglichkeit aus.

☐ ohne bildgebende Hilfsmittel - perkutan

☐ unter sonografischer Kontrolle - perkutan

☐ unter Durchleuchtung/Angiographie - perkutan

☐ offen chirurgisch

☐ keine der genannten Antwortmöglichkeiten

☐ Sonstige:

Wenn eine Bauchlagerung des Patienten unter VV ECMO Therapie durchgeführt wird, für wie viele Stunden belassen Sie den Patienten mindestens in dieser Position?

Bitte wählen Sie die zutreffendste Antwortmöglichkeit aus (in Stunden).

☐ 0-6

☐ 6-12

☐ 12-18

☐ 18-24

☐ bis keine weitere klinische Verbesserung des Patienten oder Besserung der Oxygenierung beobachtet werden kann

Welcher Hämoglobin-Wert (g/dl) repräsentiert für Sie unter VV ECMO-Therapie in der Regel die Indikation zur Bluttransfusion (Transfusionstrigger)?

Bitte wählen Sie die zutreffendste Antwortmöglichkeit aus (in g/dl).

☐ 6

☐ 7

☐ 8

☐ 9

☐ 10

Werden bei Ihnen unter VV ECMO-Therapie standardmäßig Muskelrelaxanzien angewendet?

Bitte wählen Sie die zutreffenden Antwortmöglichkeiten aus. Mehrfachauswahl ist möglich.

- ☐ Ja, und zwar kontinuierlich in der Akutphase der Therapie
- ☐ Ja, und zwar bei Intervention (z.B. Bronchoskopie)
- ☐ Ja, und zwar bei Lagerungsmänoever (z.B. Transport, Prone Position)
- ☐ Ja, und zwar für die gesamte Therapiedauer einschließlich Antwortoption A-C
- ☐ Ja, und zwar im Notfall
- ☐ Nein, der Einsatz von Muskelrelaxanzien erfolgt standardmäßig zu keinem Zeitpunkt der VV ECMO-Therapie

In welcher Frequenz erfolgt ein Wechsel des Oxygenators bzw. des ECMO-Systems?

Bitte wählen Sie die zutreffendste Antwortmöglichkeit aus.

- ☐ Standardintervall nach Herstellerangaben
- ☐ nach Oxygenierungsleistung des Filters und Systems
- ☐ bei Gerinnungsstörungen bzw. Clotting im System
- ☐ Festes Zeitintervall:

Welche ECMO-Geräte (Hersteller) kommen in Ihrer Klinik zum Einsatz?

Bitte wählen Sie die zutreffenden Antwortmöglichkeiten aus. Mehrfachnennungen sind möglich.

- ☐ Cardiohelp (Getinge)
- ☐ Rotaflow (Getinge)
- ☐ Xenios (Fresenius Medical Care)
- ☐ Sonstige

- ☐ keine Angabe

Bei gegebener Indikation: Zu welchem Zeitpunkt führen Sie in der Regel eine Tracheotomie durch?

Bitte wählen Sie aus den unten genannten Antwortmöglichkeiten die Zutreffendste aus.

- ☐ Unter laufender ECMO-Therapie
- ☒ Unmittelbar vor Entfernung der ECMO-Kanülen
- ☐ Erst nach Entfernung der ECMO-Kanülen
- ☒ Wir führen keine Tracheotomie durch.

Verfügen Sie über eine follow-up/ECMO-Ambulanz für Ihre ehemaligen Patienten?

Bitte kreuzen Sie die zutreffende Antwortmöglichkeit an.

- ☐ Ja
- ☒ Nein

14 Endseite

Sie haben das Ende des Fragebogens erreicht und die Daten wurden anonymisiert erfasst.

Wir möchten uns bei Ihnen für Ihr Engagement und Ihre geschätzte kollegiale Unterstützung herzlich bedanken!

Bei Rückfragen zu dieser Studie können Sie sich unter kaiintensiv@ukbonn.de gerne an uns wenden.

Mit freundlichen kollegialen Grüßen

Dr. med. Jens-Christian Schewe
Dr. med. Stefan Ehrentraut

Universitätsklinikum Bonn
Klinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung einer VV ECMO-Therapie in der femoro-jugulären Konfiguration. Die venöse Drainage des desoxygenierten Blutes erfolgt dabei aus der *Vena femoralis* der rechten Seite. Nach Oxygenierung in der ECMO-Konsole erfolgt die Re-Infusion in die *Vena jugularis interna* rechts. Bildmaterial zur Verfügung gestellt mit freundlicher Genehmigung durch die Firma Getinge Deutschland GmbH 14

Abbildung 2: Schematische Darstellung einer VA ECMO-Therapie in der femoro-femoralen Konfiguration. Die venöse Drainage des desoxygenierten Blutes erfolgt dabei aus der *Vena femoralis* der rechten Seite. Nach Oxygenierung in der ECMO-Konsole erfolgt die Re-Infusion in die *Arteria femoralis* links. Bildmaterial zur Verfügung gestellt mit freundlicher Genehmigung durch die Firma Getinge Deutschland GmbH 15

Abbildung 3: Chartflow: Graphische Darstellung der Ermittlung und Auswahl qualifizierter Kliniken mit VV ECMO-Verfügbarkeit in Deutschland für die Umfrage. 33

Abbildung 4: Verlauf der Intensivbetten- und ECMO-Behandlungskapazitäten in Deutschland vom 29.03.2020 bis 01.09.2022 anhand der öffentlichen Daten der Tagesreporte des DIVI-Intensivregisters. Eine Differenzierung zwischen erwachsenen und pädiatrischen Intensivbetten erfolgte hierbei erst ab 01.01.2021, sodass sich die Angaben erst zu diesem Zeitpunkt ausschließlich auf die intensivmedizinischen Behandlungskapazitäten für erwachsene Patienten beziehen (DIVI, 2020d, 2020e, 2020f, 2020g, 2020h, 2021a, 2021b, 2021c, 2021d, 2022a, 2022b, 2022c, 2022d, 2022e).

Abbildung 5: Geographische Verteilung der teilnehmenden Kliniken auf Bundesebene (Map data ©2022 GeoBasis-DE/BKG) (©2009), Google, Inst. Geogr. Nacional) 35

Abbildung 6: Verteilung der Intensivbettenanzahl je Intensivstation in den teilnehmenden Einrichtungen angegeben in absoluten Zahlen (schwarz) (n= 58) 36

Abbildung 7: Verteilung der monozentrischen ECMO-Geräteanzahl je Intensivstation in den teilnehmenden Einrichtungen angegeben in absoluten Zahlen (schwarz) (n= 58) 37

Abbildung 8: Häufigkeitsverteilung der Höhe der Fallzahlen abgebildet in Spannweiten in den teilnehmenden Kliniken angegeben in absoluten Zahlen (in schwarz) und in Prozent (in violett) (n= 58) 38

Abbildung 9: Krankenhausentlassraten abgebildet in Spannweiten bei der VV ECMO-Therapie dargestellt in absoluten Zahlen (abgebildet in schwarz) und in Prozent (abgebildet in violett) (n= 58) 39

Abb. 10: Verteilungshäufigkeit der hauptbehandelnden Facharztgruppe (Anästhesiologie (ANÄ), Kardiologie (KAR), Pneumologie (PNEU), Allgemeine (Allg.) Innere Medizin, Herzchirurgie (HCH) und Thoraxchirurgie (TCH)) bei der VV ECMO-Therapie des ARDS der teilnehmenden Kliniken dargestellt in absoluten Zahlen (abgebildet in schwarz) und in Prozent (abgebildet in grün) (n = 58) 40

Abbildung 11: Prozentuale (farbig) und absolute Verteilungshäufigkeit (schwarz) bei der Frage nach der Integration eines Kardiotechnikers bei der Durchführung einer VV ECMO-Therapie (n= 58) 41

- Abbildung 12: Vorstellungen der behandelnden Ärzte in den teilnehmenden Kliniken im Hinblick auf den anzustrebenden Pflegeschlüssel bei der Betreuung von VV ECMO-Patienten in absoluten Zahlen (abgebildet in schwarz) und in Prozent (abgebildet in grün) (n= 58) 42
- Abbildung 13: Klinisch realisierter Pflegeschlüssel in den teilnehmenden Kliniken bei der Betreuung von VV ECMO-Patienten in absoluten Zahlen (abgebildet in schwarz) und in Prozent (abgebildet in blau) (n= 58) 42
- Abbildung 14: Personelle Zusammensetzung der unterschiedlichen Berufsgruppen bei der Durchführung einer innerklinischen Transportfahrt eines VV ECMO-Patienten bspw. zur bildgebenden Diagnostik angegeben in absoluten Zahlen (schwarz) und in Prozent (farbig) (n= 58) 44
- Abbildung 15: Häufigkeitsverteilung der durchgeführten VV ECMO-Transporteinsätze für das Jahr 2021 abgebildet in absoluten Zahlen (n= 34) 45
- Abbildung 16: Personelle Zusammensetzung der unterschiedlichen Berufsgruppen bei der Durchführung eines ECMO-Interhospitaltransportes eines VV ECMO-Patienten angegeben in absoluten Zahlen (schwarz) und in Prozent (farbig) (n= 34) (NS = nicht valide) 46
- Abbildung 17: Indikationsbezogene Anwendung und zeitliche Intervalle beim Einsatz der bildgebenden Verfahren Röntgen-Thorax, CT-Thorax und cCT angegeben in absoluten Zahlen und in Prozent (n = 58) 49
- Abbildung 18: Zeitliche Intervalle bei der Durchführung von Gerinnungsdiagnostik unter den teilnehmenden Kliniken dargestellt in absoluten Zahlen (abgebildet in schwarz) und in Prozent (abgebildet in blau) (n= 58) 50

Abbildung 19: Häufigkeitsverteilung der unterschiedlichen medikamentösen Therapieoptionen zur Durchführung der Antikoagulation unter VV ECMO-Therapie in absoluten Zahlen (abgebildet in schwarz) und in Prozent (abgebildet in blau) (n= 58) 52

Abbildung 20: Häufigkeitsverteilung bei der Frage nach dem angestrebten Zielbereich der aPTT in Sekunden in den teilnehmenden Kliniken bei der Anwendung von UFH-Heparin und Argatroban dargestellt in absoluten Zahlen (abgebildet in schwarz) und in Prozent (abgebildet in blau) (n= 53) 53

8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Logistische Infrastruktur und Einsatz unterschiedlicher Transportmittel dargestellt in absoluten Zahlen und in Prozent	47
Tabelle 2: Herstellerangaben der verfügbaren ECMO-Geräte - Sonstige Angaben	59

9. Literaturverzeichnis

Amato MB, Barbas CS, Medeiros DM, Magaldi RB, Schettino GP, Lorenzi-Filho G, Kairalla RA, Deheinzelin D, Munoz C, Oliveira R, Takagaki TY, Carvalho CR. Effect of a protective-ventilation strategy on mortality in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 1998; 338: 347-354

Amato MB, Meade MO, Slutsky AS, Brochard L, Costa EL, Schoenfeld DA, Stewart TE, Briel M, Talmor D, Mercat A, Richard JC, Carvalho CR, Brower RG. Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 2015; 372: 747-755

Apple Inc. Apple Numbers (Version 3.6.2. (2577), Cupertino, United States of America. <https://www.apple.com/de/numbers/> (Zugriffsdatum: 24.07.2024)

ARDS Definition Task Force, Ranieri VM, Rubenfeld GD, Thompson BT, Ferguson ND, Caldwell E, Fan E, Camporota L, Slutsky AS. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition. *JAMA* 2012; 307: 2526-2533

ARDS-Netzwerk Deutschland, 2020: ARDS-Netzwerk. <http://ardsnetzwerk.de/> (Zugriffsdatum: 20.01.2020) (**Anmerkung:** Nach der Einführung und Etablierung des DIVI-Intensivregisters wurde diese Internetseite deaktiviert.)

Association of Chartered Physiotherapists in Respiratory Care, 2024: ECMO Physiotherapy Network. <https://www.acprc.org.uk/resources/critical-care/ecmo-physiotherapy-network/> (Zugriffsdatum: 31.07.2024)

Barbaro RP, Odetola FO, Kidwell KM, Paden ML, Bartlett RH, Davis MM, Annich GM. Association of hospital-level volume of extracorporeal membrane oxygenation cases and mortality. Analysis of the extracorporeal life support organization registry. *Am J Respir Crit Care Med* 2015; 191: 894-901

Bellani G, Laffey JG, Pham T, Fan E, Brochard L, Esteban A, Gattinoni L, van Haren F, Larsson A, McAuley DF, Ranieri M, Rubenfeld G, Thompson BT, Wrigge H, Slutsky AS, Pesenti A, LUNG SAFE Investigators, ESICM Trials Group. Epidemiology, Patterns of

Care, and Mortality for Patients With Acute Respiratory Distress Syndrome in Intensive Care Units in 50 Countries. JAMA 2016; 315: 788-800

Bernhardt AM, Schrage B, Schroeder I, Trummer G, Westermann D, Reichenspurner H. Extracorporeal Membrane Oxygenation. Dtsch Arztebl Int 2022; 119: 235-244

Braune S, Sieweke A, Jarczak D, Kluge S. Extrakorporale Verfahren zur Lungenunterstützung. Med Klin Intensivmed Notfmed 2017; 112: 426-436

Brodie D, Bacchetta M. Extracorporeal membrane oxygenation for ARDS in adults. N Engl J Med 2011; 365: 1905-1914

Cho SH, Hwang JH, Kim J. Nurse staffing and patient mortality in intensive care units. Nurs Res 2008; 57: 322-330

Combes A, Hajage D, Capellier G, Demoule A, Lavoué S, Guervilly C, Da Silva D, Zafrani L, Tirot P, Veber B, Maury E, Levy B, Cohen Y, Richard C, Kalfon P, Bouadma L, Mehdaoui H, Beduneau G, Lebreton G, Brochard L, Ferguson ND, Fan E, Slutsky AS, Brodie D, Mercat A, EOLIA Trial Group, REVA, ECMONet. Extracorporeal Membrane Oxygenation for Severe Acute Respiratory Distress Syndrome. N Engl J Med 2018; 378: 1965-1975

Deutsche Gesellschaft für Anästhesie und Intensivmedizin (DGAI)(Federführende Organisation), 04.12.2017: S3-Leitlinie Invasive Beatmung und Einsatz extrakorporaler Verfahren bei akuter respiratorischer Insuffizienz 1. Auflage, Langversion: 192-201. https://register.awmf.org/assets/guidelines/001-021I_S3_Invasive_Beatmung_2017-12.pdf (Zugriffsdatum: 05.04.2023)

Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie (DGTHG), 20.08.2020: S3-Leitlinie 011/021: Einsatz der extrakorporalen Zirkulation (ECLS / ECMO) bei Herz- und Kreislaufversagen: 132-134. https://register.awmf.org/assets/guidelines/011-021I_S3_Einsatz-der-extrakorporalen-Zirkulation-ECLS-ECMO-bei-Herz-Kreislaufversagen_2021-02.pdf (Zugriffsdatum: 05.04.2023)

Deutscher Bundestag - 19. Wahlperiode, 07.05.2021: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Wieland Schinnenburg, Michael Theurer, Grigorios Aggelidis, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der FDP – Drucksache 19/28897 – Verfügbarkeit von Intensivbetten in der Corona-Pandemie. <https://dserver.bundestag.de/btd/19/294/1929480.pdf>. (Zugriffsdatum: 28.10.2023)

DIVI, 2020a: DIVI-Intensivregister. <https://www.intensivregister.de/> (Zugriffsdatum: 05.11.2022)

DIVI, 2020b, 17. März 2020: PM: Corona-Pandemie: Website zur deutschlandweiten Abfrage freier Beatmungsplätze startet heute. <https://www.divi.de/pressemeldungen/pm-corona-pandemie-website-zur-deutschlandweiten-abfrage-freier-beatmungsplaetze-startet-heute> (Zugriffsdatum: 30.07.2024)

DIVI, 2020c, 16. April 2020: PM: COVID-19-Behandlung: Tagesaktuelle Klinik-Bettenmeldung an das DIVI-Intensivregister ab sofort Pflicht. <https://www.divi.de/presse/pressemeldungen/pm-covid-19-behandlung-tagesaktuelle-klinik-bettenmeldung-an-das-divi-intensivregister-ab-sofort-pflicht> (Zugriffsdatum: 05.04.2023)

DIVI, 2020d: DIVI-Intensivregister Tagesreport vom 29.03.2020. <https://www.intensivregister.de> (Zugriffsdatum: 05.11.2022)

DIVI, 2020e: DIVI-Intensivregister Tagesreport vom 01.05.2020. <https://www.intensivregister.de> (Zugriffsdatum: 05.11.2022)

DIVI, 2020f: DIVI-Intensivregister Tagesreport vom 01.06.2020. <https://www.intensivregister.de> (Zugriffsdatum: 05.11.2022)

DIVI, 2020g: DIVI-Intensivregister Tagesreport vom 01.09.2020. <https://www.intensivregister.de> (Zugriffsdatum: 05.11.2022)

DIVI, 2020h: DIVI-Intensivregister Tagesreport vom 01.11.2020. <https://www.intensivregister.de> (Zugriffsdatum: 05.11.2022)

DIVI, 2021a: DIVI-Intensivregister Tagesreport vom 01.01.2021. <https://www.intensivregister.de> (Zugriffsdatum: 05.11.2022)

DIVI, 2021b: DIVI-Intensivregister Tagesreport vom 01.03.2021. <https://www.intensivregister.de> (Zugriffsdatum: 05.11.2022)

DIVI, 2021c: DIVI-Intensivregister Tagesreport vom 01.06.2021. <https://www.intensivregister.de> (Zugriffsdatum: 05.11.2022)

DIVI, 2021d: DIVI-Intensivregister Tagesreport vom 01.09.2021. <https://www.intensivregister.de> (Zugriffsdatum: 05.11.2022)

DIVI, 2022a: DIVI-Intensivregister Tagesreport vom 01.01.2022. <https://www.intensivregister.de> (Zugriffsdatum: 05.11.2022)

DIVI, 2022b: DIVI-Intensivregister Tagesreport vom 01.03.2022. <https://www.intensivregister.de> (Zugriffsdatum: 05.11.2022)

DIVI, 2022c: DIVI-Intensivregister Tagesreport vom 12.04.2022. <https://www.intensivregister.de> (Zugriffsdatum: 05.11.2022)

DIVI, 2022d: DIVI-Intensivregister Tagesreport vom 30.06.2022. <https://www.intensivregister.de> (Zugriffsdatum: 05.11.2022)

DIVI, 2022e: DIVI-Intensivregister Tagesreport vom 01.09.2022. <https://www.intensivregister.de> (Zugriffsdatum: 05.11.2022)

DIVI, 2023a: DIVI-Intensivregister Tagesreport vom 24.01.2023. https://edoc.rki.de/bitstream/handle/176904/10629/2023-01-24_12-15_DIVI_Intensivregister_Report.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Zugriffsdatum: 31.07.2024)

DIVI, 2023b: DIVI-Intensivregister Tagesreport vom 12.07.2023. https://edoc.rki.de/bitstream/handle/176904/11217/2023-07-12_12-15_DIVI_Intensivregister_Report.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Zugriffsdatum: 31.07.2024)

Ehrentraut SF, Schroll B, Lenkeit S, Ehrentraut H, Bode C, Kreyer S, Kögl F, Lehmann F, Muders T, Scholz M, Strater C, Steinhagen F, Theuerkauf NU, Weißbrich C, Putensen C,

Schewe JC. Interprofessional two-man team approach for interhospital transport of ARDS-patients under extracorporeal membrane oxygenation: a 10 years retrospective observational cohort study. *BMC Anesthesiol* 2019; 19: 19

Extracorporeal Life Support Organization, 2014: ELSO Guidelines for ECMO Centers. <https://www.else.org/portals/0/igd/archive/filemanager/faf3f6a3c7cusersshyerdocumentselsoguidelinesecmocentersv1.8.pdf>. (Zugriffsdatum: 04.04.2023)

Extracorporeal Life Support Organization, 2017: General Guidelines for all ECLS Cases August 2017 Version 1.4.: 15-22. https://www.else.org/portals/0/else%20guidelines%20general%20all%20ecls%20version%201_4.pdf. (Zugriffsdatum: 04.04.2023)

Extracorporeal Life Support Organization, 19.10.2022: ECLS Registry Report. https://else.org/portals/0/files/reports/2022_october/international%20report%20october_page1.pdf (Zugriffsdatum: 04.04.2023)

Fan E, Gattinoni L, Combes A, Schmidt M, Peek G, Brodie D, Muller T, Morelli A, Ranieri VM, Pesenti A, Brochard L, Hodgson C, Van Kiersbilck C, Roch A, Quintel M, Papazian L. Venovenous extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory failure: A clinical review from an international group of experts. *Intensive Care Med* 2016; 42: 712-724

Fernando SM, Scott M, Talarico R, Fan E, McIsaac DI, Sood MM, Myran DT, Herridge MS, Needham DM, Hodgson CL, Rochweg B, Munshi L, Wilcox ME, Bienvenu OJ, MacLaren G, Fowler RA, Scales DC, Ferguson ND, Combes A, Slutsky AS, Brodie D, Tanuseputro P, Kyeremanteng K. Association of Extracorporeal Membrane Oxygenation With New Mental Health Diagnoses in Adult Survivors of Critical Illness. *JAMA* 2022; 328: 1827-1836

Fichtner F, Moerer O, Weber-Carstens S, Nothacker M, Kaisers U, Laudi S, Guideline group. Clinical Guideline for Treating Acute Respiratory Insufficiency with Invasive Ventilation and Extracorporeal Membrane Oxygenation: Evidence-Based Recommendations for Choosing Modes and Setting Parameters of Mechanical Ventilation. *Respiration* 2019; 98: 357-372

Gajkowski EF, Herrera G, Hatton L, Velia Antonini M, Vercaemst L, Cooley E. ELSO Guidelines for Adult and Pediatric Extracorporeal Membrane Oxygenation Circuits. ASAIO J 2022; 68: 133-152

Google, 2022: Geographische Verteilung der teilnehmenden Kliniken auf Bundesebene (Map data ©2022 GeoBasis-DE/BKG)(©2009), Google, Inst. Geogr. Nacional). <https://www.google.de/maps> (Zugriffsdatum: 17.10.2022)

Hauer T, Dettenkofer M. Epidemiologie und Prävention von nosokomialen Infektionen. in: Hoffmann G, Lentze M, Spranger J, Zepp F, Hrsg. Pädiatrie. Berlin – Heidelberg: Springer, 2014: 820-841

Herrmann J, Lotz C, Karagiannidis C, Weber-Carstens S, Kluge S, Putensen C, Wehrfritz A, Schmidt K, Ellerkmann RK, Oswald D, Lotz G, Zotzmann V, Moerer O, Kühn C, Kochanek M, Muellenbach R, Gaertner M, Fichtner F, Brettner F, Findeisen M, Heim M, Lahmer T, Rosenow F, Haake N, Lepper PM, Rosenberger P, Braune S, Kohls M, Heuschmann P, Meybohm P, German ECMO COVID Study Group. Key characteristics impacting survival of COVID-19 extracorporeal membrane oxygenation. Crit Care 2022; 26: 190

Hill JD, O'Brien TG, Murray JJ, Dontigny L, Bramson ML, Osborn JJ, Gerbode F. Prolonged extracorporeal oxygenation for acute post-traumatic respiratory failure (shock-lung syndrome). Use of the Bramson membrane lung. N Engl J Med 1972; 286: 629-634

Hodgson CL, Hayes K, Everard T, Nichol A, Davies AR, Bailey MJ, Tuxen DV, Cooper DJ, Pellegrino V. Long-term quality of life in patients with acute respiratory distress syndrome requiring extracorporeal membrane oxygenation for refractory hypoxaemia. Crit Care 2012; 16: R202

Huschak G, Busch T, Kaisers UX. How to set PEEP?. Anästh Intensivmed 2013; 54: 438-456

Ijsselstijn H, Schiller RM, Holder C, Shappley RKH, Wray J, Hoskote A. Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) Guidelines for Follow-up After Neonatal and Pediatric Extracorporeal Membrane Oxygenation. ASAIO J 2021; 67: 955-963

Karagiannidis C, Brodie D, Strassmann S, Stoelben E, Philipp A, Bein T, Müller T, Windisch W. Extracorporeal membrane oxygenation: evolving epidemiology and mortality. *Intensive Care Med* 2016; 42: 889-896

Karagiannidis C, Kluge S, Riessen R, Krakau M, Bein T, Janssens U. Auswirkungen des Pflegepersonalmangels auf die intensivmedizinische Versorgungskapazität in Deutschland. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 2019; 114: 327-333

Kaseer H, Soto-Arenall M, Sanghavi D, Moss J, Ratzlaff R, Pham S, Guru P. Heparin vs bivalirudin anticoagulation for extracorporeal membrane oxygenation. *J Card Surg* 2020; 35: 779-786

Krueger K, Schmutz A, Zieger B, Kalbhenn J. Venovenous Extracorporeal Membrane Oxygenation With Prophylactic Subcutaneous Anticoagulation Only: An Observational Study in More Than 60 Patients. *Artif Organs* 2017; 41: 186-192

Kurihara C, Walter JM, Karim A, Thakkar S, Saine M, Odell DD, Kim S, Tomic R, Wunderink RG, Budinger GRS, Bharat A. Feasibility of Venovenous Extracorporeal Membrane Oxygenation Without Systemic Anticoagulation. *Ann Thorac Surg* 2020; 110: 1209-1215

Küstermann J, Brederlau J, Kranke P, Roewer N, Müllenbach RM. Lungenersatzverfahren - Einsatz und Management extrakorporaler Lungenersatzverfahren. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2012; 47: 646-653

Labib A, August E, Agerstrand C, Frenckner B, Laufenberg D, Lavandosky G, Fajardo C, Gluck JA, Brodie D. Extracorporeal Life Support Organization Guideline for Transport and Retrieval of Adult and Pediatric Patients with ECMO Support. *ASAIO J* 2022; 68: 447-455

Lebreton G, Schmidt M, Ponniaiah M, Folliguet T, Para M, Guihaire J, Lansac E, Sage E, Cholley B, Mégarbane B, Cronier P, Zarka J, Da Silva D, Besset S, Morichau-Beauchant T, Lacombat I, Mongardon N, Richard C, Duranteau J, Cerf C, Saiydoun G, Sonnevile R, Chiche JD, Nataf P, Longrois D, Combes A, Leprince P, Paris ECMO-COVID-19 investigators. Extracorporeal membrane oxygenation network organisation and clinical

outcomes during the COVID-19 pandemic in Greater Paris, France: a multicentre cohort study. *Lancet Respir Med* 2021; 9: 851-862

Lorusso R, Shekar K, MacLaren G, Schmidt M, Pellegrino V, Meyns B, Haft J, Vercaemst L, Pappalardo F, Bermudez C, Belohlavek J, Hou X, Boeken U, Castillo R, Donker DW, Abrams D, Ranucci M, Hryniewicz K, Chavez I, Chen YS, Salazar L, Whitman G. ELSO Interim Guidelines for Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation in Adult Cardiac Patients. *ASAIO J* 2021; 67: 827-844

Lotz C, Müllenbach RM. Extrakorporale Membranoxygenierung. *Anästh Intensivmed* 2018; 59: 316-325

Martel N, Lee J, Wells PS. Risk for heparin-induced thrombocytopenia with unfractionated and low-molecular-weight heparin thromboprophylaxis: a meta-analysis. *Blood* 2005; 106: 2710-2715

Matthay MA, Arabi Y, Arroliga AC, Bernard G, Bersten AD, Brochard LJ, Calfee CS, Combes A, Daniel BM, Ferguson ND, Gong MN, Gotts JE, Herridge MS, Laffey JG, Liu KD, Machado FR, Martin TR, McAuley DF, Mercat A, Moss M, Mularski RA, Pesenti A, Qiu H, Ramakrishnan N, Ranieri VM, Riviello ED, Rubin E, Slutsky AS, Thompson BT, Twagirimugabe T, Ware LB, Wick KD. A New Global Definition of Acute Respiratory Distress Syndrome. *Am J Respir Crit Care Med* 2024; 209: 37-47

McMichael ABV, Ryerson LM, Ratano D, Fan E, Faraoni D, Annich GM. 2021 ELSO Adult and Pediatric Anticoagulation Guidelines. *ASAIO J* 2022; 68: 303-310

Menk M, Briem P, Weiss B, Gassner M, Schwaiberger D, Goldmann A, Pille C, Weber-Carstens S. Efficacy and safety of argatroban in patients with acute respiratory distress syndrome and extracorporeal lung support. *Ann Intensive Care* 2017; 7: 82

Müller T, Bein T, Philipp A, Graf B, Schmid C, Riegger G. Extracorporeal pulmonary support in severe pulmonary failure in adults: a treatment rediscovered. *Dtsch Arztebl Int* 2013; 110: 159-166

Noah MA, Peek GJ, Finney SJ, Griffiths MJ, Harrison DA, Grieve R, Sadique MZ, Sekhon JS, McAuley DF, Firmin RK, Harvey C, Cordingley JJ, Price S, Vuylsteke A, Jenkins DP, Noble DW, Bloomfield R, Walsh TS, Perkins GD, Menon D, Taylor BL, Rowan KM. Referral to an extracorporeal membrane oxygenation center and mortality among patients with severe 2009 influenza A(H1N1). *JAMA* 2011; 306: 1659-1668

Olson SR, Murphree CR, Zonies D, Meyer AD, Mccarty OJT, Deloughery TG, Shatzel JJ. Thrombosis and Bleeding in Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO) Without Anticoagulation: A Systematic Review. *ASAIO J* 2021; 67: 290-296

Paden ML, Conrad SA, Rycus PT, Thiagarajan RR, ELSO Registry. Extracorporeal Life Support Organization Registry Report 2012. *ASAIO J* 2013; 59: 202-210

Peek GJ, Mugford M, Tiruvoipati R, Wilson A, Allen E, Thalanany MM, Hibbert CL, Truesdale A, Clemens F, Cooper N, Firmin RK, Elbourne D, CESAR trial collaboration. Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet* 2009; 374: 1351-1363

Pérez de la Sota E, Eixerés-Esteve A. ECMO-Challenges, strategies, and preparation from Spain. *J Card Surg* 2021; 36: 1608-1614

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org>

Rubenfeld GD, Caldwell E, Peabody E, Weaver J, Martin DP, Neff M, Stern EJ, Hudson LD. Incidence and outcomes of acute lung injury. *N Engl J Med* 2005; 353: 1685-1693

Seeliger B, Döbler M, Friedrich R, Stahl K, Kühn C, Bauersachs J, Steinhagen F, Ehrentraut SF, Schewe JC, Putensen C, Welte T, Hoeper MM, Tiede A, David S, Bode C. Comparison of anticoagulation strategies for veno-venous ECMO support in acute respiratory failure. *Crit Care* 2021; 24: 701

Shah A, Pasrija C, Kronfli A, Essien EO, Zhou Y, Brigante F, Bittle G, Menaker J, Herr D, Mazzeffi MA, Deatricks KB, Kon ZN. A Comparison of Anticoagulation Strategies in Venovenous Extracorporeal Membrane Oxygenation. *ASAIO J* 2022; 68: 738-743

Staudinger T. Extrakorporale Lungenersatzverfahren – was gibt es Neues, was kommt? [Extracorporeal lung support-news and future developments]. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 2018; 113: 401-408

Taylor LJ, Jolley SE, Ramani C, Mayer KP, Etchill EW, Mart MF, Fakhri S, Peterson S, Colborn K, Sevin CM, Kadl A, Enfield K, Whitman GJR, Zwischenberger JB, Rove JY, ORACLE group. Early posthospitalization recovery after extracorporeal membrane oxygenation in survivors of COVID-19. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2023; 166: 842-851

Tonna JE, Abrams D, Brodie D, Greenwood JC, Rubio Mateo-Sidron JA, Usman A, Fan E. Management of Adult Patients Supported with Venovenous Extracorporeal Membrane Oxygenation (VV ECMO): Guideline from the Extracorporeal Life Support Organization (ELSO). *ASAIO J* 2021; 67: 601-610

Waydhas C, Riessen R, Markewitz A, Hoffmann F, Frey L, Böttiger BW, Brenner S, Brenner T, Deffner T, Deininger M, Janssens U, Kluge S, Marx G, Schwab S, Unterberg A, Walcher F, van den Hooven T, 2022: Empfehlung zur Struktur und Ausstattung von Intensivstationen 2022 (Erwachsene), Version vom 2. November 2022: 10-48. <https://www.divi.de/joomlatools-files/docman-files/publikationen/intensivmedizin/230419-divi-strukturempfehlung-intensivstationen-langversion.pdf> (Zugriffsdatum: 04.04.2023)

Zapol WM, Snider MT, Hill JD, Fallat RJ, Bartlett RH, Edmunds LH, Morris AH, Peirce EC 2nd, Thomas AN, Proctor HJ, Drinker PA, Pratt PC, Bagniewski A, Miller RG Jr. Extracorporeal membrane oxygenation in severe acute respiratory failure. A randomized prospective study. *JAMA* 1979; 242: 2193-2196

10. Erklärung zum Eigenanteil

Die vorliegende Dissertationsarbeit wurde in der Klinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin in der Sektion Intensivmedizin unter der Betreuung von Prof. Dr. med. Christian Putensen und Prof. Dr. med. Jens-Christian Schewe angefertigt.

Die grundlegende Idee zu dieser Fragestellung hatten Prof. Dr. med. Christian Putensen und Prof. Dr. med. Jens-Christian Schewe. Die Ausarbeitung und Weiterentwicklung dieser Fragestellung erfolgte durch mich in enger Kooperation mit Prof. Dr. med. Christian Putensen und Prof. Dr. med. Jens-Christian Schewe.

Die Vorbereitungen zur Umsetzung dieses wissenschaftlichen Projektes als auch die Datenerhebung erfolgten wie im Kapitel Material und Methoden beschrieben in stetigen Austausch mit Prof. Dr. med. Christian Putensen und Prof. Dr. med. Jens-Christian Schewe eigenständig durch mich.

Die hieraus generierten Daten zur statistischen Auswertung wurden durch mich generiert, zusammengestellt, gefiltert, bereinigt und für die Datenauswertung adäquat auf- und vorbereitet. Die statistische Auswertung erfolgte sowohl eigenständig durch mich als auch nach Anleitung gemeinsam mit Herr PD Dr. med. Stefan Ehrentraut (Geschäftsführender Oberarzt, Klinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin, Sektion Intensivmedizin).

Die anschließende Interpretation und wissenschaftliche Aufarbeitung der Ergebnisse im Kontext der Fragestellung und der wissenschaftlichen Literatur erfolgte eigenständig durch mich in Kooperation mit Prof. Dr. med. Christian Putensen und Prof. Dr. med. Jens-Christian Schewe.

Die Verfassung der vorliegenden Dissertationsarbeit erfolgte ohne Verwendung etwaiger weiterer Hilfsmittel eigenständig durch mich.

Ich versichere, die Dissertationsschrift selbstständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

11. Veröffentlichungen

28.04.2023

Vortrag – Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DAC 2023, 27. – 29.04.2023, Düsseldorf

Ilie A, Ehrentraut SF, Münster S, Kreyer S, Putensen C, Ehrentraut SE, Schewe JC.

Versorgungsrealität der VV ECMO beim ARDS in Deutschland - Ergebnisse einer onlinebasierten Umfrage

Anästhesiologie und Intensivmedizin; Supplement 4/2023; 64:WK202.4

12. Danksagung

An erster Stelle bedanke ich mich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. med. Christian Putensen, für die Übertragung dieses Promotionsthemas, die Unterstützung bei der Verfassung dieser Arbeit und das entgegengebrachte Vertrauen.

Besonderer Dank gilt meinem Betreuer Prof. Dr. med. Jens-Christian Schewe, welche mich auch in schwierigen Zeiten wie der Corona-Pandemie trotz enormer Arbeitsbelastung freundschaftlich in der Anfertigung meiner Dissertation betreute und unterstützte und mir in meinen ersten Schritten meiner ärztlichen Laufbahn mit gutem Rat und Hilfe stets zur Seite stand.

Ebenfalls möchte ich mich bei den ärztlichen und pflegerischen Kollegen der chirurgischen Intensivstation der Universitätsklinik Bonn bedanken, welche mir menschliche und medizinische Kenntnisse und Fertigkeiten vermitteln konnten, von denen ich heute noch profitiere. Zudem eröffnete sich mir durch die dortige Tätigkeit der Zugang zu diesem Projekt.

Mehr als nur Dank gilt meiner Familie, welche mich unabhängig und bedingungslos von den Herausforderungen meines Lebens immer unterstützen und lieben und die Wurzel meiner Kraft und Energie sind.