

Aus der Klinik und Poliklinik für Herz - und Thoraxchirurgie  
der Universität zu Köln  
Direktor: Universitätsprofessor Dr. med. Lenard Conradi

**Vergleich von innerklinischen und außerklinischen  
Herz-Kreislaufstillständen im Rahmen der  
extrakorporalen kardiopulmonalen Reanimation  
(eCPR)**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde  
der Medizinischen Fakultät  
der Universität zu Köln

vorgelegt von  
Lynn Christin Müller  
aus Engelskirchen

promoviert am 16. März 2026

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln  
2026

Dekan: Universitätsprofessor Dr. med. G. R. Fink

1. Gutachter: Privatdozent Dr. med. C. Gaisendrees
2. Gutachter: Privatdozent Dr. med. F. Dusse

## Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich Unterstützungsleistungen von folgenden Personen erhalten.

Herrn Privatdozent Doktor Christopher Gaisendrees  
Herrn Privatdozent Doktor Georg Schlachtenberger

Weitere Personen waren an der Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer Promotionsberaterin/eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertationsschrift stehen.

Die Dissertationsschrift wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Der dieser Arbeit zugrunde liegenden Datensatz wurde durch mich und Privatdozent Doktor Christopher Gaisendrees in der Klinik für Herz- und Thoraxchirurgie ermittelt und von Privatdozent Doktor Christopher Gaisendrees zur Verfügung gestellt.

Die dieser Arbeit zugrunde liegenden Messergebnisse wurden ohne meine Mitarbeit im Labor des Instituts für Klinische Chemie der Universitätsklinik Köln und auf der herzchirurgischen Intensivstation H1.2 der Universitätsklinik Köln erhoben.

Die Diagnosestellung, Therapie und Verlaufskontrolle der oder die untersuchten Patient\*innen wurde durch das zuständige medizinische Personal der Herz- und Thoraxchirurgie der Universitätsklinik Köln durchgeführt.

Die Erstellung der Fragestellung, Auswahl der geeigneten Parameter, Diskussion und Auswertung der Befunde erfolgt durch mich mit der Unterstützung von Herrn Privatdozent Doktor Christopher Gaisendrees.

Die statistische Auswertung wurde von Herrn Privatdozent Doktor Georg Schlachtenberger unterstützt und begleitet.

## Erklärung zur guten wissenschaftlichen Praxis:

Ich erkläre hiermit, dass ich die Ordnung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis und zum Umgang mit wissenschaftlichem Fehlverhalten (Amtliche Mitteilung der Universität zu Köln AM

132/2020) der Universität zu Köln gelesen habe und verpflichte mich hiermit, die dort genannten Vorgaben bei allen wissenschaftlichen Tätigkeiten zu beachten und umzusetzen.

Köln, den 06.01.2026

Unterschrift

# Inhaltsverzeichnis

<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>7</b>
<b>1 ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>9</b>
<b>2 EINLEITUNG</b>	<b>11</b>
2.1 Fragestellung und Studienziel	11
2.2 Herz-Kreislaufstillstände	13
2.2.1 Außerklinische Herz-Kreislaufstillstände – OHCA	15
2.2.2 Innerklinische Herz-Kreislaufstillstände – IHCA	16
2.3 Extrakorporale Membranoxygenierung (ECMO)	18
2.3.1 Definition ECMO	18
2.3.2 Funktion und Anwendungskriterien der VA-ECMO	22
2.3.3 Definition ECLS	23
2.3.4 Hämodynamik unter VA-ECMO	23
2.3.5 Management unter VA-ECMO	24
2.3.6 Komplikationen der VA-ECMO	24
2.3.7 Entwöhnung der VA-ECMO	25
2.3.8 Transport mit VA-ECMO	25
2.4 Mortalität und Outcome bei VA-ECMO auf Grundlage der bisheriger Studienlage	26
<b>3 MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>27</b>
3.1 Allgemeines	27
3.2 Einschlusskriterien	27
3.2.1 Ausschlusskriterien	28
3.3 Datenerfassung	28
3.3.1 Erhobene prognostische Parameter	28
3.3.2 Scores	29
3.3.3 Statistische Datenanalyse	30
<b>4 ERGEBNISSE</b>	<b>31</b>
4.1 Demografische Daten der gesamten Kohorte	31

<b>4.2</b>	<b>Reanimationsparameter der gesamten Kohorte</b>	<b>31</b>
4.2.1	Low-flow-Zeit und No-flow-Zeit und Ursache des Herz-Kreislaufstillstandes	31
4.2.2	Blut-Gas-Analyse	31
4.2.3	Initialer Herzrhythmus	32
<b>4.3</b>	<b>Scores</b>	<b>33</b>
4.3.1	Charlson Comorbidity Index	33
4.3.2	RESCUE-Score	33
<b>4.4</b>	<b>Vergleich zwischen den im Krankenhaus verstorbenen Patient*innen und den überlebenden Patient*innen der gesamten Kohorte</b>	<b>33</b>
<b>4.5</b>	<b>Vergleich zwischen den im Krankenhaus verstorbenen Patient*innen und den überlebenden Patient*innen in der OHCA-Gruppe</b>	<b>36</b>
<b>4.6</b>	<b>Vergleich zwischen den im Krankenhaus verstorbenen Patient*innen und den überlebenden Patient*innen in der IHCA-Gruppe</b>	<b>38</b>
<b>4.7</b>	<b>Ergebnisse der multinominalen Regressionsanalyse</b>	<b>40</b>
<b>4.8</b>	<b>Vergleich zwischen den im Krankenhaus verstorbenen Patient*innen und den überlebenden Patient*innen in Relation zur Low-flow-Zeit</b>	<b>40</b>
4.8.1	Vergleich zwischen den im Krankenhaus verstorbenen Patient*innen und den überlebenden Patient*innen in Relation zur Low-flow-Zeit in der OHCA-Gruppe	40
4.8.2	Vergleich zwischen den im Krankenhaus verstorbenen Patient*innen und den überlebenden Patient*innen in Relation zur Low-flow-Zeit in der IHCA-Gruppe	41
<b>4.9</b>	<b>Vergleich zwischen den im Krankenhaus verstorbenen Patient*innen und den überlebenden Patient*innen im Verlauf des Untersuchungszeitraums</b>	<b>42</b>
<b>4.10</b>	<b>Outcome und Komplikationen der gesamten Kohorte</b>	<b>43</b>
<b>5</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>47</b>
<b>5.1</b>	<b>Ergebnisse im Verlauf des Untersuchungszeitraums</b>	<b>56</b>
<b>5.2</b>	<b>Limitationen</b>	<b>56</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>57</b>
<b>7</b>	<b>ANHANG</b>	<b>68</b>
<b>7.1</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>68</b>

<b>7.2</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>68</b>
<b>8</b>	<b>VORABVERÖFFENTLICHUNGEN VON ERGEBNISSEN</b>	<b>69</b>

## Abkürzungsverzeichnis

A.	Arterie
ABCDE	airway, breathing, circulation, disability, exposure; Atemweg, Beatmung, Kreislauf, (neurologisches) Defizit, Exploration
ACT	aktivierte Gerinnungszeit
AED	Automatisierter externer Defibrillator
ALS	Advanced Life Support
BLS	Basic Life Support
BMI	Body-Mass-Index
CCI	Charlson Comorbidity Index
CK	Creatinkinase
CK-MB	Creatinkinase-Muscle-Brain type
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
CPC	Cerebral Performance Category
CPR	Cardiopulmonary resuscitation; kardiopulmonale Reanimation
CVVH	Continuous Venovenous Hemofiltration; Kontinuierliche veno-venöse Hämo­filtration
ECG	Electrocardiogram; Elektrokardiogramm
ECLS	Extracorporeal life support; extrakorporale Lebensunterstützung
ECMO	extrakorporale kardiopulmonale Membranoxygenierung
eCPR	extrakorporale kardiopulmonale Reanimation
EKG	Elektrokardiogramm
ELSO	Extracorporeal Life Support Organization
EMS	emergency medical system; Notfallsystem
FiO <sub>2</sub>	inspiratorische Sauerstoffkonzentration
Hb-Wert	Hämoglobin-Wert
HI	Herzindex

HZV	Herzzeitvolumen
IHCA	in-hospital-cardiac arrest; innerklinischer Herz-Kreislaufstillstand
IO	intraosseous; intraössaer
IV	intravenous; intravenös
KOF	Körperoberfläche
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
OHCA	out-of-hospital-cardiac arrest; außerklinischer Herz-Kreislaufstillstand
PaCO <sub>2</sub>	arterial partial pressure of carbon dioxide; arterieller Kohlenstoffdioxidpartialdruck
pCO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxidpartialdruck
PEA	Pulseless electrical activity; pulslose elektrische Aktivität
pO <sub>2</sub>	Sauerstoffpartialdruck
pVT	pulslose ventrikuläre Tachykardie
ROSC	return of spontaneous circulation; Rückkehr einer spontanen Zirkulation
SPB	systolic blood pressure; systolischer Blutdruck
SpO <sub>2</sub>	oxygen saturation measured with pulse oximetry; transkutane Sauerstoffsättigung
V.	Vene
VA-ECMO	veno-arteriellen extrakorporale kardiopulmonale Membranoxygenierung
VV-ECMO	veno-venöse extrakorporale kardiopulmonale Membranoxygenierung
VF	ventricular fibrillation; Kammerflimmern
VT	ventricular tachycardia; Ventrikuläre Tachykardie

# 1 Zusammenfassung

Der Herz-Kreislaufstillstand ist eine der drei häufigsten Todesursachen in Europa. (1, 2) Die extrakorporale kardiopulmonale Reanimation (eCPR) ist eine der Therapiemöglichkeiten für Patient\*innen mit refraktärem Herz-Kreislaufstillstand. Bei der eCPR wird der Herz-Kreislauf durch eine veno-arterielle extrakorporale Membranoxygenierung (VA-ECMO) aufrechterhalten. Hierdurch werden die Organe mit Sauerstoff versorgt und somit Zeit gewonnen, um die Ursache des Herz-Kreislaufstillstandes zu beheben. Das Blut der Patient\*innen wird maschinell mit Sauerstoff angereichert und gelangt über eine arterielle Kanüle zurück in den Blutkreislauf der Patient\*innen. (3) Die eCPR ist eine vergleichsweise neue Technologie, zu der es bisher wenige Studien hinsichtlich der Überlebensparametern gibt. Aktuell liegen nur drei randomisierte kontrollierte Studien vor, die sich alle auf Patient\*innen mit außerklinischem Herz-Kreislaufstillstand (OHCA, out-of-hospital-cardiac arrest,) beziehen. (4-6). Für Patient\*innen mit innerklinischem Herz-Kreislaufstillstand (IHCA, in-hospital-cardiac arrest) ist die Datenlage ebenfalls gering. Da bei OHCA- und IHCA-Patient\*innen unterschiedliche Ergebnisse bezüglich des Outcomes erhoben wurden, wird in dieser Arbeit ein Vergleich zwischen den beiden Patient\*innengruppen gezogen.

In dieser Arbeit wird aufgezeigt, dass die Überlebensrate sowohl bei OHCA-Patient\*innen, als auch bei IHCA-Patient\*innen bei circa 25 Prozent lag. Diese Überlebensrate war, vergleichsweise zu den in der Literatur beschriebenen Daten, hoch. Es wurden 157 Patient\*innen in diese retrospektive Betrachtung einbezogen, wovon 91 OHCA-Patient\*innen und 66 IHCA-Patient\*innen waren. Alle Patient\*innen hatten einen Herz-Kreislaufstillstand und wurden bis zum Anschluss an die extrakorporale kardiopulmonale Membranoxygenierung (ECMO) fortlaufend reanimiert. Alle Patient\*innen wurden auf der Intensivstation der Herz- und Thoraxchirurgie des Universitätsklinikum Köln behandelt.

Es wird dargelegt, dass die OHCA-Patient\*innen jünger waren als die IHCA-Patient\*innen und weniger Vorerkrankungen hatten. 80,3 Prozent der Patient\*innen waren männlich. Der Myokardinfarkt war die häufigste Ursache des Herz-Kreislaufstillstandes und knapp 60 Prozent der Patient\*innen hatten einen initial schockbaren Herz-Rhythmus. Die häufigste dokumentierte Komplikation war eine aktive Blutung. Um diese zu vermeiden werden Lösungsansätze in der Diskussion vorgeschlagen.

Es wurden Prädiktoren untersucht und multinominale Analysen durchgeführt, die das Outcome und die Überlebensrate untersuchen. Hierzu zählten ein Myokardinfarkt als Ursache, ein initial defibrillierbarer Herz-Rhythmus, ein niedriger Laktatwert (multinominale p-Wert gesamte Kohorte: 0,002; OHCA: 0,04; IHCA: 0,002) und eine kurze Low-flow-Zeit (multinominale p-Werte: gesamte Kohorte: 0,005; OHCA: 0,05; IHCA: 0,02). Als essenzieller Faktor wurde die Low-flow-Zeit

bestimmt. Diese spiegelte sich in der initialen Blut-Gas-Analyse, vor allem im Laktatwert wider. Eine kurze Low-flow-Zeit ging mit einer deutlich besseren Überlebensrate und einem bessern neurologischem Outcome einher. Es konnte gezeigt werden, dass OHCA-Patient\*innen eine längere Low-flow-Zeit besser tolerieren konnten als IHCA-Patient\*innen.

Um das Überleben aller Patient\*innen, sowohl der OHCA-Patient\*innen als auch der IHCA-Patient\*innen nach einem Herz-Kreislaufstillstand im Rahmen einer eCPR-Therapie langfristig zu verbessern sind weitere, auf dieser Studie aufbauende Studien erforderlich.

## 2 Einleitung

### 2.1 Fragestellung und Studienziel

Im Jahr 2022 wurden 16.381 Menschen in Deutschland außerhalb einer Klinik reanimationspflichtig. (7) Die Anzahl der Menschen, die in Deutschland innerhalb einer Klinik reanimiert werden mussten, lag 2022 bei 5.508. (8) Die Ursachen eines OHCA sind bei bis zu 70 Prozent der Patient\*innen primär kardial bedingt. (9) Die Ursachen für IHCA sind vielfältig und zumeist durch diverse Vorerkrankungen der Patient\*innen bedingt. (10-12)

Der Herz-Kreislaufstillstand ist eine der drei Haupttodesursachen in Europa. (1, 2) Trotz intensiver Bemühungen, die Versorgung und Therapie zu verbessern, gehen OHCA mit einer hohen Mortalität einher. Die aktuelle europäische Überlebensrate bei OHCA liegt bei unter zehn Prozent. (1) Bei innerklinischen Herz-Kreislaufstillständen liegt die Überlebensrate in Europa bei 15 bis 34 Prozent. (1) In den vergangenen Jahrzehnten wurden einige Bemühungen unternommen, um ein besseres Verständnis für die Ursachen des Herz-Kreislaufstillstandes zu erlangen und die Therapie zu verbessern. Jedoch gab es mit Ausnahme der Einführung des Defibrillators keine wegweisenden Verbesserungen in der Reanimationsforschung und Therapie, sodass die oben genannten Überlebensraten sich in den letzten Jahren nicht wesentlich verändert haben. (13, 14)

Eine weitere, sich in den letzten Jahren etablierende Möglichkeit, um das Überleben bei therapierefraktärer Reanimation zu verbessern, ist die Verwendung einer veno-arteriellen extrakorporalen kardiopulmonalen Membranoxygenierung (VA-ECMO) im Rahmen der eCPR. Die eCPR ist definiert als kardiopulmonale Reanimation, die mit Hilfe einer VA-ECMO erfolgt und bei Herz-Kreislaufstillständen zum Einsatz kommt. (15) Die vorliegende Dissertation befasst sich mit Herz-Kreislaufstillständen, die im Rahmen einer eCPR behandelt wurden.

Im Vergleich zur konventionellen kardiopulmonalen Reanimation (CPR) konnte für die eCPR ein Überlebensvorteil mit verbessertem neurologischem Outcome gezeigt werden. (5, 6) Auf Grund der Tatsache, dass die Herzdruckmassage selbst im optimalen Fall nur circa 20 bis 25 Prozent des Herzzeitvolumens und somit der Endorganperfusion sicherstellen kann, besteht, trotz adäquat durchgeführter Reanimationsmaßnahmen, die Gefahr einer kritischen Hypoxie lebenswichtige Organe. (16) Bei der eCPR soll die Organperfusion mittels VA-ECMO sichergestellt werden. Dies erfolgt unter Anwendung einer extrakorporalen Oxygenierung des Blutes, angelehnt an die Herz-Lungen-Maschine. (9)

Die eCPR kann sowohl bei IHCA als auch bei OHCA verwendet werden. Zum aktuellen Zeitpunkt gibt es nur eine geringe Anzahl an Studien, welche das Outcome zwischen den beiden Patient\*innengruppen hinsichtlich der Verwendung einer VA-ECMO vergleichen.

Im Rahmen dieser Dissertationsschrift wird eine retrospektive Beobachtungsstudie diskutiert, in der Überlebensunterschiede zwischen zwei Patient\*innengruppen – IHCA- und OHCA-Patient\*innen – untersucht werden, die im Rahmen ihres Herz-Kreislaufstillstandes einer eCPR-Behandlung unterzogen wurden.

Ziel der Untersuchung war es, Unterschiede in den Überlebensraten sowie in klinischen Ausgangsparametern zu beschreiben und zu analysieren. Dadurch sollten Faktoren identifiziert werden, die mit dem Überleben im Rahmen von eCPR assoziiert sind, Es handelt sich dabei ausdrücklich um eine retrospektive Auswertung bereits vorliegender Behandlungsdaten.

Aus dieser Zielsetzung ergeben sich folgende Forschungsfragen, welche im Verlauf dieser Dissertationsschrift beantwortet werden sollen. Gibt es Unterschiede in den Überlebensraten von IHCA- und OHCA-Patient\*innen, die mit Hilfe einer VA-ECMO behandelt wurden? Welche klinischen Ausgangsparameter stehen mit dem Überleben in Zusammenhang und wie unterscheiden sich diese Parameter zwischen beiden Gruppen? Ein besonderer Fokus liegt hierbei auf den Low-flow-Zeiten und deren möglichem Einfluss auf die Überlebenschancen.

Zur Beantwortung dieser Fragen wurden zunächst die relevanten theoretischen Grundlagen literaturbasiert dargestellt. Anschließend folgt die Beschreibung von Material und Methodik der retrospektiven Studie sowie die Darstellung, Analyse und Diskussion der Ergebnisse.

## 2.2 Herz-Kreislaufstillstände

Der Zustand eines\*r Patient\*in mit Herz-Kreislaufstillstand wird als bewusstlos, pulslos, nicht regelmäßig atmend und reanimationspflichtig definiert. (17) Bei 70 bis 80 Prozent der außerklinischen Herz-Kreislaufstillständen ist die Ursache primär kardial bedingt. (9) Hiervon ist die Koronare-Herzkrankheit (KHK) für 75 bis 80 Prozent der Herz-Kreislaufstillstände ursächlich. Die restlichen kardial bedingten Herz-Kreislaufstillstände sind auf Kardiomyopathien und genetisch bedingte Elektronenkanal-Pathologien zurückzuführen. (18) Die nicht-kardial bedingten Herz-Kreislaufstillstände setzen sich aus neurologischen, pulmonalen, ischämischen und endokrinen Erkrankungen zusammen. (19)

70 Prozent der Herz-Kreislaufstillstände gehen mit Kammerflimmern (VF, ventricular fibrillation), oder einer ventrikulären Tachykardie (VT) einher und sind vor allem ein Ausdruck einer kardialen Ischämie. (19, 20) Da Kammerflattern und VF derselben Pathophysiologie zugrunde liegen und sich die Therapie nicht unterscheidet, wird im Folgenden nur von VF gesprochen. (21) VF und die VT sind defibrillierbare Herzrhythmen, während alle anderen Herzrhythmen, wie Asystolie und pulslose elektrische Aktivität (PEA) nicht defibrillierbar sind. (22)

Bei einem Herz-Kreislaufstillstand sollte sofort mit dem Basic Life Support (BLS) begonnen werden, um eine möglichst kurze No-flow-Zeit und Low-Flow-Zeit zu gewährleisten. (23) Bei der No-flow-Zeit handelt es sich um die Zeit zwischen dem Herz-Kreislaufstillstand und dem Beginn einer Reanimation. (24) Dementsprechend findet während der No-flow-Zeit keinerlei Organperfusion statt. (25) Die Low-Flow-Zeit wird als Zeit zwischen dem Beginn einer CPR bis zum Wiedererlangen des Kreislaufes (ROSC, Return of Spontaneous Circulation) beziehungsweise bis zum Beenden der Reanimationsmaßnahmen definiert. (26) Der BLS kann von jeder Person durchgeführt werden, es wird von einer sogenannten Laienreanimation gesprochen. Dieser Support umfasst vier Kernpunkte. Zuerst muss der Herz-Kreislaufstillstand festgestellt werden, wozu die Person angesprochen und angefasst wird. Als nächstes wird die Atmung durch das Fühlen, Hören und Sehen überprüft. Dieser Vorgang dauert circa zehn Sekunden. Daraufhin wird der Rettungsdienst alarmiert und wenn weitere Personen vor Ort sind, holen diese einen automatisierten externen Defibrillator (AED). Gleichzeitig wird mit der Reanimation begonnen. Dazu werden 30 Thoraxkompressionen durchgeführt, bei welcher der Brustkorb circa fünf bis sechs Zentimeter tief eingedrückt wird bei einer Frequenz von 100-120 Kompressionen pro Minute. Wichtig ist, dass nach jeder Thoraxkompression eine Thoraxentlastung stattfindet, damit sich die Ventrikel erneut mit Blut füllen können. Darauf folgen zwei Beatmungen und dann weitere 30:2 Kompressions-Beatmungszyklen. Ist ein AED am Notfallort, wird dieser sofort eingeschaltet und die Elektroden werden, wie auf dem Gerät gekennzeichnet, auf den Brustkorb des oder der Patient\*in geklebt. Daraufhin ist den Sprachanweisungen des AED Folge zu leisten. Es sollte sichergestellt werden, dass keine

Personen den oder die Patient\*in während der Schockabgabe berührt. Der BLS wird niemals bei einer Person ohne regelmäßige Atmung beendet, bevor der Rettungsdienst eintrifft und dieser weitere Maßnahmen einleitet. (23)

Weitere Maßnahmen werden unter dem Begriff Advanced Life Support (ALS) zusammengefasst. Die Maßnahmen des BLS und ALS sind teilweise überlappend. Der ALS beginnt, wenn ein AED eingesetzt wird oder wenn die Elektrokardiogramm- (EKG) Diagnostik vorgenommen wird. Der ALS umfasst, wie der BLS, die CPR mittels Thoraxkompression und Beatmung. Des Weiteren wird eine manuelle und gegebenenfalls eine maschinelle Beatmung begonnen und ein intravenöser Zugang gelegt, um den Herz-Kreislaufstillstand medikamentös mit Adrenalin und Amiodaron behandeln zu können. Falls dies nicht möglich ist, sollte ein intraossärer Zugang gelegt werden. (27) Der detaillierte Ablauf des ALS wird in Abbildung 1 grafisch dargestellt. (27) Bei einem schockbaren Rhythmus unterscheidet sich der Prozess des ALS von dem eines nicht-schockbaren Rhythmus. Ist der Rhythmus des oder der Patient\*in eine pulslose ventrikuläre Tachykardie (pVT) oder eine VF, dann wird möglichst ohne Verzögerung ein Schock abgegeben. Alle zwei Minuten wird der Rhythmus evaluiert und gegebenenfalls ein erneuter Schock abgegeben. Bei einer Asystolie und einer PEA wird kein Schock abgegeben. Kommt es während der Reanimation zu einem ROSC dann wird nach dem ABCDE-Schema (airway, breathing, circulation, disability, exposure) weiter vorgegangen. Zudem wird kontinuierlich ein zwölf-Kanal-EKG abgeleitet. Es wird möglichst schnell die potentielle Ursache des Herz-Kreislaufstillstandes behandelt und eine gezielte Temperaturregulation durchgeführt. (22)

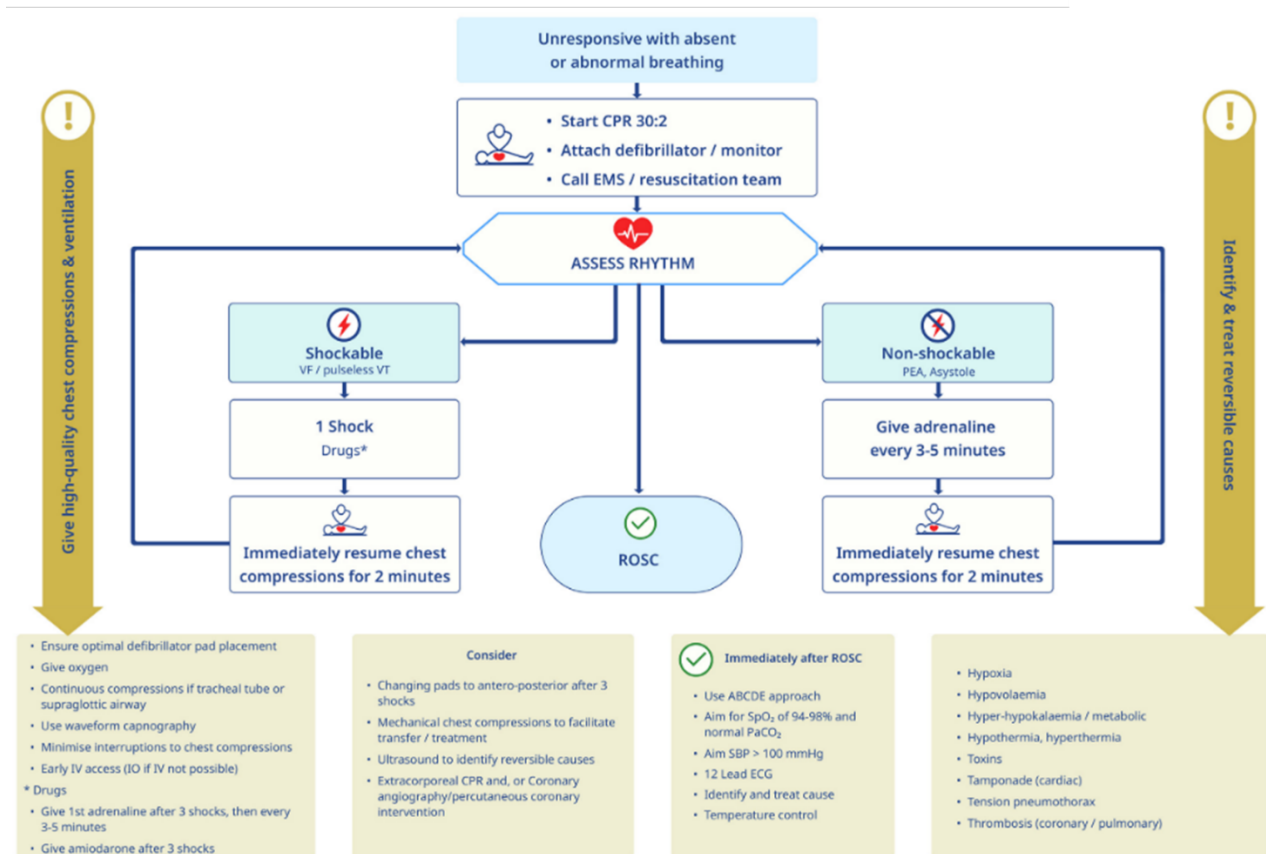


Abbildung 1: Advanced Life Support algorithm (27)  
 ABCDE= airway, breathing, circulation, disability, exposure. CPR= Cardiopulmonary resuscitation. ECG= Electrocardiogram. EMS= emergency medical system. IO= intraosseous. IV= intravenous. PEA= Pulseless electrical activity. PaCO<sub>2</sub>= arterial partial pressure of carbon dioxide. ROSC= return of spontaneous circulation. SpO<sub>2</sub>= oxygen saturation measured with pulse oximetry. VF= ventricular fibrillation. VT= ventricular tachycardia. SPB= systolic blood pressure.

Ein Herz-Kreislaufstillstand geht mit einer hohen Mortalität einher. Laut einer repräsentativen Studie aus Niedersachsen erleiden 81 Menschen pro 100.000 Einwohner pro Jahr einen plötzlichen Herztod. (28)

Herz-Kreislaufstillstände können anhand des Ortes ihres Auftretens in OHCA und IHCA eingeteilt werden. (29)

### 2.2.1 Außerklinische Herz-Kreislaufstillstände – OHCA

Weltweit treten OHCA bei Erwachsenen mit einer Inzidenz von 55 pro 100.000 Personen pro Jahr auf. (30) 25 Prozent der Patient\*innen haben keine Symptome vor dem OHCA. (20)

Bei durchschnittlich 58 Prozent der Patient\*innen mit einem OHCA in Europa wird eine Laienreanimation begonnen. (31) Ein beobachteter Herz-Kreislaufstillstand ist mit einer besseren Überlebensrate verbunden im Vergleich zu nicht-beobachteten Herz-Kreislaufstillständen. (32) Bei 50 bis 60 Prozent der OHCA-Patient\*innen in Europa wird die Reanimation von einem Rettungsdienst begonnen oder fortgeführt. (31)

Dem deutschen Reanimationsregister zufolge sind zwei Drittel der Patient\*innen mit OHCA männlich. 2021 betrug das Durchschnittsalter bei einem OHCA 70,2 Jahre. Hierbei ist ein Drittel der Patient\*innen zwischen 18 und 65 Jahre alt. Weitere 33 Prozent der Patient\*innen haben einen OHCA im Alter von 66 bis 79. Ein Drittel der Patient\*innen mit OHCA ist über 80 Jahre alt. (33)

Etwa 65 Prozent der OHCA finden im häuslichen Umfeld statt. Weitere 20 Prozent der OHCA ereignen sich in der Öffentlichkeit und circa 15 Prozent finden an einem anderen Einsatzort statt. (33, 34)

Der erste abgeleitete Herzrhythmus ist bei circa 20 Prozent der Patient\*innen eine VF oder eine pVT und somit ein schockbarer Rhythmus. (33) Bei durchschnittlich 28 Prozent der Patient\*innen wird ein AED eingesetzt und bei circa 16 Prozent ein Schock abgegeben. (31) Die durchschnittliche Zeit, bis der erste Schock abgegeben wird, beträgt elf Minuten. (35) Ein defibrillierbarer Herzrhythmus geht mit einer besseren Prognose einher. (36)

Bei weniger als 80 Prozent der OHCA-Patient\*innen in Deutschland wird ein ROSC beobachtet. Ein Drittel der Patient\*innen, welche die ersten 24 Stunden im Krankenhaus überleben, verlassen das Krankenhaus in einem guten neurologischen Zustand, mit einem Cerebral Performance Category-Score (CPC) von eins oder zwei. (33)

Die Mortalität eines OHCA ist regional unterschiedlich und von vielen Faktoren abhängig. (37) (31) In Europa liegt die Überlebensrate nach OHCA bei circa acht Prozent. (38) In Deutschland liegt die Überlebensrate nach OHCA bei 13 Prozent. (31) Weltweit ist der OHCA eine der häufigsten Todesursachen. (37-39)

## **2.2.2 Innerklinische Herz-Kreislaufstillstände – IHCA**

Alle Herz-Kreislaufstillstände, die in einem Krankenhaus stattfinden, lassen sich als IHCA definieren. (40)

Die Inzidenz der IHCA liegt in Europa zwischen 1,6 und 1,8 pro 1000 Krankenhauseinweisungen pro Jahr. (31) 37 Prozent aller Herz-Kreislaufstillstände finden in einer klinischen Umgebung statt. (41) Die Hälfte der IHCA sind primär kardial bedingt, weitere 26,1 Prozent lassen sich auf hypoxische Ursachen zurückführen. Weniger als ein Prozent der IHCA sind traumatischer Genese. Zwölf Prozent der IHCA haben sonstige nicht kardiale Ursachen. (42)

Dem deutschen Reanimationsregister zufolge wurden 65,7 Prozent der IHCA beobachtet. Davon wurden 76,4 Prozent der Patient\*innen vor dem Eintreffen eines Notfallteams von Pflegepersonal reanimiert. Besucher\*innen und Laien reanimierten 5,1 Prozent der IHCA-Patient\*innen vor Eintreffen des Notfallteams. 34,3 Prozent der IHCA waren nicht-beobachtete Herz-Kreislaufstillstände. Hierbei wurde die Hälfte der Patient\*innen von Pflegepersonal

reanimiert. Laien und Besucher\*innen reanimierten 5,9 Prozent der Patient\*innen. Somit wurden insgesamt 81,4 Prozent der Patient\*innen mit IHCA vor Eintreffen eines Notfallteams reanimiert. 8,6 Prozent der IHCA wurden ausschließlich von einem Notfallteam reanimiert. (42)

Die Geschlechterverteilung ist beim IHCA ähnlich wie beim OHCA, 64,3 Prozent sind männlich und 35,7 Prozent der Patient\*innen sind weiblich. (17, 42) Im Durchschnitt sind die IHCA-Patient\*innen 72,8 Jahre alt. Unter 18 Jahre sind 1,1 Prozent der Patient\*innen. Während 36,7 Prozent der Patient\*innen bei einem IHCA über 80 Jahre alt sind. (42) Einige Patient\*innen haben vor ihrem IHCA bereits Vorerkrankungen und Komorbiditäten, wie zum Beispiel Diabetes mellitus, Nieren- und/oder Leberinsuffizienz oder Herzinsuffizienz. (29, 43)

Mit 55,9 Prozent finden mehr als die Hälfte der IHCA auf einer Normalstation statt. Weitere 21,3 Prozent der Patient\*innen befinden sich bei dem IHCA in der Notaufnahme, im Schockraum oder in einer Funktionsabteilung. Knapp ein Fünftel der Patient\*innen liegt zum Zeitpunkt des IHCA auf einer Intensivstation oder auf einer Überwachungsstation. (42)

Bei 12,6 Prozent der Patient\*innen ist der erste abgeleitete Herz-Rhythmus ein VF oder eine pVT und somit ein schockbarer Rhythmus. Die Hälfte der Patient\*innen hat eine Asystolie und 34,9 Prozent eine PEA. (42)

Zwei Drittel der Patient\*innen erreichen einen ROSC während der Reanimationsmaßnahmen. 37,9 Prozent der Patient\*innen überleben die ersten 24 Stunden. (42) Das 30 Tage-Überleben/Entlassen aus dem Krankenhaus, erreichen in Europa circa 20 Prozent. (22, 31) In Deutschland lag die 30 Tage Überlebensrate 2021 bei 17,7 Prozent. 10,6 Prozent der Patient\*innen hatten einen CPC-Score von eins oder zwei bei ihrer Entlassung. (42)

## **2.3 Extrakorporale Membranoxygenierung (ECMO)**

### **2.3.1 Definition ECMO**

Zu der ECMO zählen die veno-venöse extrakorporale Membranoxygenierung (VV-ECMO) und die veno-arterielle extrakorporale Membranoxygenierung (VA-ECMO). (44, 45) Somit kann eine ECMO sowohl bei respiratorischen als auch bei kardialen Versagen, sowie bei einer Kombination eingesetzt werden. (45)

Bei der VV-ECMO werden beide Kanülen in jeweils eine Vene gelegt. (45, 46) Das Blut wird außerhalb des Körpers oxygeniert und decarboxyliert. (45) Dieses Verfahren wird bei pulmonalem Versagen eingesetzt und setzt eine gesunde Pumpfunktion des Herzens voraus. (45, 47) Im Rahmen der COVID-19 Pandemie wurde die VV-ECMO vermehrt bei Patient\*innen mit pulmonalem Versagen eingesetzt. (48)

Die VA-ECMO wird bei kardialen Versagen eingesetzt. Sie dient als Verfahren der Oxygenierung und der Kreislaufunterstützung. (45) Diese moderne Technologie ermöglicht eine Kreislaufunterstützung für mehrere Tage, um die Patient\*innen zu stabilisieren. (49)

Bei der VA-ECMO werden eine Arterie (A.) und eine Vene (V.) perkutan oder zentral punktiert und es werden großlumige Kanülen platziert. Dabei wird desoxygeniertes Blut aus der Vena cava inferior entnommen, durch einen Membranoxygenator gepumpt und mit Sauerstoff angereichert, sodass oxygeniertes Blut über ein arterielles Gefäß zurück in den systemischen Kreislauf gelangt. Dadurch erzeugt die VA-ECMO einen künstlichen retrograden Blutfluss in der Aorta. Das System der VA-ECMO ist in Abbildung 2 dargestellt. (15) Für diese Dissertation ist vor allem die VA-ECMO relevant. Im Folgenden beziehen sich die Aussagen, sofern nicht explizit anders erwähnt, auf die VA-ECMO.

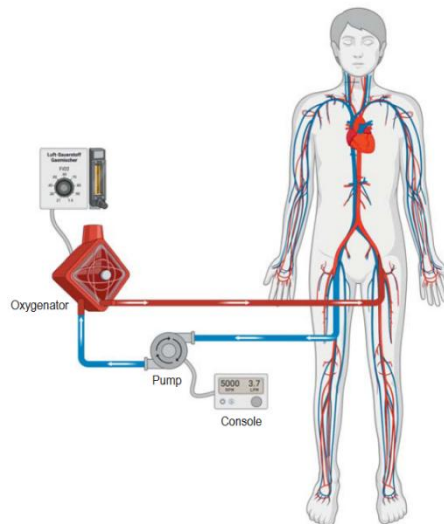


Abbildung 2: Therapeutisches Prinzip der peripheren venoarteriellen extrakorporalen Membranoxygenierung (15)

Die VA-ECMO besteht hauptsächlich aus den Gefäßkanülen, der Blutpumpe, dem Temperaturregulator und dem Oxygenator. (49) Die wesentliche Funktion der VA-ECMO ist der Gasaustausch, bei dem Sauerstoff hinzugefügt und Kohlenstoffdioxid eliminiert wird. (50) Im Folgenden wird auf die einzelnen Bestandteile und deren Funktion sowie die Kanülierung, die Indikationen und die Kontraindikationen eingegangen.

Es werden zwei unterschiedliche Pumpsysteme bei der VA-ECMO verwendet. Die Zentrifugalpumpe rotiert in einer eingestellten Geschwindigkeit. Der Blutfluss ist veränderbar und abhängig vom Blutvolumen des oder der Patient\*in, der Größe der venösen Kanüle, der Größe der magnetischen Scheibe und der eingestellten Geschwindigkeit. Ein Vorteil der Zentrifugalpumpe ist der geringe Druck auf das Blut, dadurch entsteht wenig Kavitation und Hämolyse. Im Gegensatz dazu gibt es die Rollerpumpe, die den Schlauch komprimiert und somit den Transport des Blutes ermöglicht. Es entsteht ein Unterdruck, der dazu führt, dass das venöse Blut in den Oxygenator gelangt. Auf der anderen Seite steigt der Druck und das arterielle Blut gelangt zurück in den Blutkreislauf des oder der Patient\*in. Der Blutfluss ist von der Größe der Kanülen, dem Blutvolumen, dem Okklusionsdruck der Rollen und der Pumpgeschwindigkeit abhängig. Der Vorteil der Rollerpumpen ist der konstante Fluss, der unabhängig von der Vorlast ist. Zudem wird keine vermehrte Hämolyse beobachtet. (50)

Patient\*innen, die an der ECMO angeschlossen sind, verzeichnen auf Grund ihrer vergrößerten extrakorporalen Oberfläche einen erhöhten Wärmeverlust. Um dem entgegenzuwirken, wird ein Temperaturregulator beziehungsweise ein Wärmeaustauscher mit dem Prinzip des Gegenstrombetriebs eingesetzt. (50)

Der Gasaustausch erfolgt im Oxygenator und wird durch mehrere Faktoren beeinflusst, darunter die Viskosität des Blutes, der Hämoglobingehalt, die inspiratorische Sauerstoffkonzentration

( $\text{FiO}_2$ ), die Sweep-Gas-rate sowie das verwendete Membranmaterial. (50) Der Gastransfer basiert – analog zum alveolären Grundprinzip – auf Diffusionsprozessen entlang partieller Druckgradienten durch eine semipermeable Membran. Die Effizienz dieses Austauschs wird insbesondere durch die Membranoberfläche, die Diffusionsstrecke, die Blutkontaktzeit und die Charakteristika der polymethylpenten- (PMP)-Fasermembran bestimmt. Die polymethylpenten- (PMP)-Fasermembran ermöglicht eine hohe Gaspermeabilität bei gleichzeitig guter Plasmaresistenz. (50, 51)

Das Herzzeitvolumen (HZV) lässt sich in der klinischen Praxis aus dem Herzindex (HI) und der Körperoberfläche (KOF) ableiten. Der Zusammenhang ergibt sich aus der folgenden Gleichung:

$$\text{HZV} = \text{HI} \times \text{KOF}$$

Der HI beschreibt das HZV normiert auf die KOF und liegt typischerweise zwischen 2,2 und 3,0 l/min/m<sup>2</sup>. (52) Die KOF kann zu Beispiel über die DuBois-Formel abgeschätzt werden: (53)

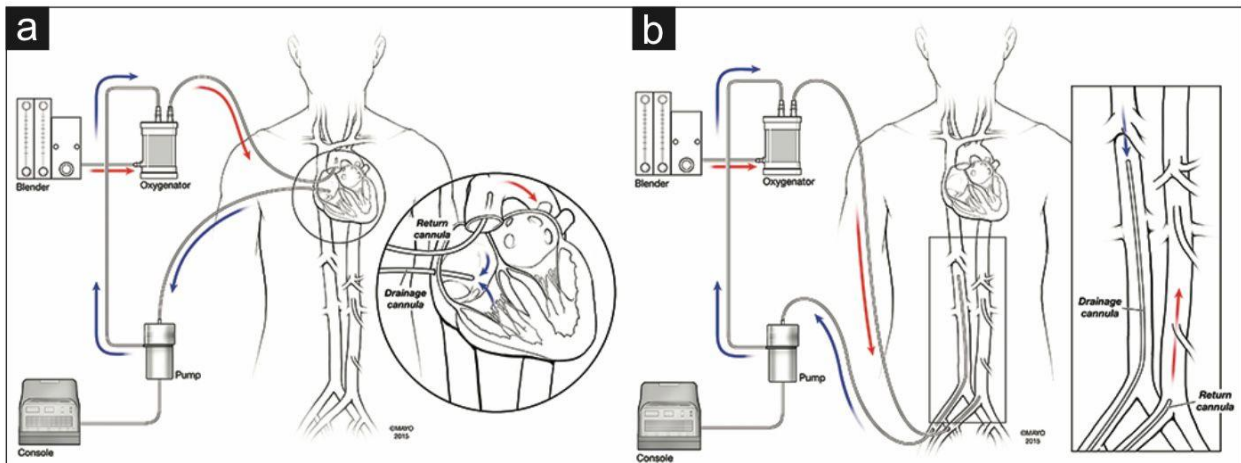
$$\text{KOF} = 0,007184 \times \text{Größe}^{0,725} \times \text{Gewicht}^{0,425}$$

Der gesamte systemische Blutfluss eines VA-ECMO-Patient\*innen setzt sich aus der nativen kardialen Auswurfleistung und dem ECMO-Fluss zusammen: (50)

$$\text{Systemischer Blutfluss} = \text{HZV}_{\text{nativ}} + \text{ECMO-Fluss}$$

Der Fluss der VA-ECMO beträgt in der Regel etwa 3,5 -5 l/min und wird patientenabhängig so gewählt, dass eine ausreichende systemische Perfusion gewährleistet ist. Auf Grund der prothrombotischen Aktivierung der Gerinnungskaskade durch die extrakorporale Zirkulation ist eine kontinuierliche systemische Antikoagulation mit Heparin unabhängig von der jeweiligen Flussrate obligatorisch. (50)

Für eine optimale Flussdynamik werden Kanülen mit größtmöglichem innerem Durchmesser gewählt, da hierdurch der Strömungswiderstand reduziert und höhere Flussraten ermöglicht werden. Die Kanülierung der VA-ECMO kann thorakal oder peripher erfolgen, beide Zugangswege können chirurgisch oder – insbesondere bei der peripheren Anlage – perkutan realisiert werden. Aus den unterschiedlichen anatomischen Zugängen ergeben sich variable Kanülierungsstrategien, die an die jeweilige klinische Situation angepasst werden. Die unterschiedlichen Kanülierungen sind in Abbildung 3 dargestellt. (52)



a: zentrale VA-ECMO: venöse Kanüle im rechten Atrium und arterielle Kanüle in der Aorta ascendens.  
 b: periphere VA-ECMO: venöse Kanüle in Vena femoralis und arterielle Kanüle in der Ateria femoralis mit der Spitze in der A. iliaca communis.

Abbildung 3: Kanülierungswege bei VA-ECMO (49)  
 VA-ECMO= Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation.

Die thorakale, auch zentrale Kanülierung genannt, wird schwerpunktmäßig bei bereits thorakotomierten Patient\*innen eingesetzt. Bei der thorakalen Kanülierung wird die venöse Kanüle im rechten Atrium platziert. Die arterielle Kanüle wird in der Aorta ascendens positioniert. Um einen Thoraxverschluss zu ermöglichen, wird eine Tunnelung durchgeführt. (54) Die Kanülen müssen exakt platziert und fixiert werden, um eine Dislokation und eine damit einhergehende Blutung zu vermeiden. (45) Die thorakale Kanülierung minimiert einen retrograden Fluss und eine Hypoxie im Oberkörper. (54) Nachteilig ist, dass für diesen Kanülierungsweg der Thorax eröffnet werden muss, was das Blutungs- und Infektionsrisiko erhöht. (45, 54) Im Falle einer geringen nativen Herzfunktion kann ein Rückstau im pulmonalen Kreislauf entstehen, was wiederum das Risiko für Thromben erhöhen kann. (55) Da die Patient\*innen erst später mobilisiert werden können, erholen sie sich langsamer von dem thorakalen Eingriff als nach einer peripheren Kanülierung. (45, 54)

Die periphere Kanülierung kann mittels Seldinger-Technik durchgeführt werden (siehe Abbildung 3). (54) Bei Erwachsenen wird die A. femoralis communis als primäres Zielgefäß verwendet, auf Grund ihrer Größe und Erreichbarkeit. (52) Für die venöse Kanülierung eignet sich die V. femoralis. Die Spitze der vergleichsweise langen venösen Kanüle kann bis zum rechten Atrium reichen. (54) Ein Vorteil der peripheren Kanülierung ist die standardisierte technisch einfachere Methode. Es wird kein Operationsteam benötigt. Die Punktion kann am Patientenbett und während einer laufenden kardiopulmonalen Reanimation durchgeführt werden. (54) Eine häufige Komplikation der peripheren Kanülierung ist eine Ischämie der Extremitäten, sowie eine Hypoxie des Oberkörpers. (52, 54) Es kann zur Thrombusbildung an der Aortenwurzel und zur Dehnung

des linken Ventrikels kommen. Bei Patient\*innen mit peripheren Gefäßerkrankungen kann eine periphere Kanülierung erschwert sein oder nicht durchgeführt werden. (54)

### **2.3.2 Funktion und Anwendungskriterien der VA-ECMO**

Die VA-ECMO ermöglicht eine effektive Organperfusion, erlaubt die Erholung des Herzens und der Lunge. (6, 50, 56-59) Kann die Ursache des Herz-Kreislaufstillstandes nicht unmittelbar behandelt werden, so wird das Überleben des oder der Patient\*in durch die Überbrückung mittels VA-ECMO gewährleistet. (47) Es gibt drei Verfahren, die angewendet werden. (60) Bei irreversiblen Organschäden wird die VA-ECMO eingesetzt, bis eine Herz- oder Lungentransplantation stattfinden kann. (47, 50) Dieses Verfahren wird als „Bridge-to-transplant“ bezeichnet. (50, 60) Besteht die Möglichkeit einer Regeneration, da die Ursache eruiert und behoben werden kann, werden die Patient\*innen sukzessiv von der VA-ECMO entwöhnt. (44, 56) Hierbei wird von einem „Bridge-to-recovery“-Verfahren gesprochen. (60) Die „Bridge-to-destination“ wird bei Patient\*innen angewendet, die auf eine langfristige Herz-Kreislaufunterstützung, wie beispielsweise einen Left Ventricular Assist Device (LVAD), angewiesen sind. (47, 50, 58, 60)

Die häufigste Indikation zur VA-ECMO stellt der gescheiterte Abgang von der Herz-Lungen-Maschine nach einer kardiochirurgischen Operation dar. (50) Des Weiteren ist die Implantation einer VA-ECMO indiziert, wenn ein Herz-Kreislaufversagen vorliegt, das nicht unmittelbar durch konservative Therapieoptionen behoben werden konnte. (52) Das Herz-Kreislaufversagen kann unterschiedlicher Genese sein. Dazu zählen Transplantatversagen nach Herztransplantation, kardiogener Schock, akutes Koronarsyndrom sowie eine Myokarditis und eine dekompensierte Kardiomyopathie. (50) Bevor eine VA-ECMO angeschlossen wird, muss vorab geklärt sein, wie das Outcome und das Überleben des oder der Patient\*in ohne extrakorporale Kreislaufunterstützung einzuschätzen ist. (47) Die besten Aussichten für die VA-ECMO liegen bei isoliertem Herz-Kreislaufversagen, welches noch keine Multiorganschäden verursacht hat vor. (52) Es handelt sich somit um eine Risikoabwägung, die von verschiedenen Faktoren abhängig ist. (47, 52)

Die häufigste Kontraindikation ist irreversibles oder offensichtliches, nicht mit dem Leben zu vereinbarendes Kreislaufversagen mit Multiorganversagen. (52) Absolute Kontraindikationen sind traumatische Gehirnverletzungen oder Gehirnschäden auf Grund mangelnder Perfusion. (50, 52) Zu den indirekten Kontraindikationen zählen maligne Vorerkrankungen oder Gerinnungsstörungen mit einer schlechten Prognose. (50, 52) Es ist immer erforderlich, die Heilungschancen und die voraussichtliche Lebensqualität bei der Entscheidungsfindung zu berücksichtigen. (52)

### **2.3.3 Definition ECLS**

Der extrakorporale Life Support (ECLS) ist ein Sammelbegriff für die Möglichkeiten der extrakorporalen Kreislaufunterstützung, um ein Herz- und/oder Lungenversagen zu stabilisieren. (45) Durch die extrakorporale Kreislaufunterstützung mit integriertem Gasaustausch wird eine temporäre Entlastung von Herz und Lunge erreicht, die eine hämodynamische Stabilisierung ermöglicht und damit die Grundlage für die Planung des weiteren therapeutischen Vorgehens schafft. (45, 46) Der ECLS umfasst den venösen Abfluss des Blutes aus dem Körper in einen Membranoxygenator, in dem der Gasaustausch stattfindet, sowie den arteriellen Rücktransport. Dies entspricht somit dem Prinzip der VA-ECMO. (45, 46, 52)

### **2.3.4 Hämodynamik unter VA-ECMO**

Die VA-ECMO Kanülierung hat weitreichende Auswirkungen auf die Hämodynamik der Patient\*innen. (47) Bei diesen Patient\*innen setzt sich das Herzzeitvolumen aus dem laminaren ECMO-Fluss und der Restfunktion des Herzens zusammen. Besteht eine Restfunktion des Herzens so kann eine pulsatile arterielle Druckkurve abgelesen werden. Wenn der ECMO-Fluss das komplette Herzzeitvolumen übernimmt, ist die arterielle Druckkurve flach, analog zu einem „totalen Bypass“, wie an der Herz-Lungen-Maschine. (61) Die venöse Drainage führt dazu, dass die Vorlast des rechten Ventrikels sinkt und der pulmonale Fluss verringert wird. Auf Grund des artifiziellen retrograden Blutflusses kann es bei manchen Patient\*innen zu einer Erhöhung der Nachlast kommen. (46, 47) Die Kombination einer erhöhten Nachlast mit der reduzierten Ejektionsfraktion kann dazu führen, dass der linke Ventrikel nicht genug Druck aufbringen kann, um die Aortenklappe zu öffnen. Dies kann im Verlauf zu einer Erhöhung des Blutvolumens im linken Ventrikel führen, was die Gefahr für Thromben erhöht. Bei längerer Behandlung mit einer VA-ECMO ist es deshalb erforderlich die Ejektionsfraktion zu fördern. Dies kann mittels inotroper Therapie erfolgen. (47) Des Weiteren gibt es die Möglichkeit, den linken Ventrikel in bestimmten Situationen durch eine Implantation einer perkutanen Mikroaxialpumpe, einer Septostomie oder durch eine intraaortale Ballonpumpe zu entlasten. (52) Die perkutane Mikroaxialpumpe fungiert über die Dekompression des linken Ventrikels und wird über ein aufwendiges Verfahren eingesetzt. (54) Ihre Funktion ist es, das Blut aus dem linken Ventrikel zu drainieren und über die Pumpe in die Aortenwurzel zu transportieren. (45, 62) Dies ermöglicht, dass sich das Myokard erholen kann und die Lungen entstauen können. (62) Bei der Septostomie wird, beispielsweise über eine interventionelle Kathetertechnik ein künstlicher Atriumseptumdefekt geschaffen, wodurch ein Links-Rechts Shunt entsteht. Hierdurch wird der linke Ventrikel und Vorhof entlastet. (63) Die intraaortale Ballonpumpe (IABP) ist ein heliumgefüllter Ballon, der kathetergestützt in die Aorta descendens eingebracht wird. Der Ballon dehnt sich während der Diastole auf und entleert sich während der Systole, ausgehend von der nativen Herzfunktion. (62) Dies führt im

Wesentlichen dazu, dass die Nachlast des linken Ventrikels abnimmt und die Koronarperfusion während der Diastole verstärkt wird. (54, 62)

Die Entlastung des rechten Ventrikels wird durch die Drainage der venösen Kanüle sichergestellt. (52)

### **2.3.5 Management unter VA-ECMO**

Wenn die Entscheidung für eine VA-ECMO-Implantation getroffen wird, werden die Patient\*innen für die VA-ECMO-Implantation vorbereitet.

Hierbei wird unfraktioniertes Heparin intravenös infundiert, um thromboembolische Ereignisse zu verhindern. Das therapeutische Ziel liegt bei einer aktivierten Gerinnungszeit (ACT) von 140 bis 160 Sekunden und einer partiellen Thromboplastinzeit (PTT) zwischen 60 und 80 Sekunden.

Die postinterventionelle Versorgung erfolgte in der vorliegenden Studie auf der Herzchirurgischen-Intensivstation im Herzzentrum der Universitätsklinik Köln. (64)

### **2.3.6 Komplikationen der VA-ECMO**

Die Komplikationen lassen sich in die drei Kategorien vaskulär, systemisch und mechanisch einteilen. (60)

Die vaskulären Komplikationen treten vor allem bei der Kanülierung auf. (60) Hierzu zählen Blutungen, Hämolyse oder Thrombosen. (56) Wie oben beschrieben, kann es zu Extremitätenischämien kommen. (52, 54, 62) Bei der Kanülierung über die A. femoralis kann es zu Nierenversagen kommen. (50)

Die systemischen Komplikationen sind Effekte des Körpers auf den extrakorporalen Kreislauf und führen häufig zu Blutungen. (60) Diese Blutungen entstehen meist infolge der Kombination aus therapeutischer Antikoagulation, Thrombozytopenie und Hyperfibrinolyse und stellen mit bis zu 70 Prozent die häufigste Komplikation dar. (60, 65) Des Weiteren zählen Infektionen, die Überdehnung des linken Ventrikels, endotheliale Dysfunktionen auf Grund einer Hyperoxie sowie neurologische Schäden im Rahmen der Kohlenstoffdioxid  $-(CO_2)$ -Versorgung zu den systematischen Komplikationen. (56) Die häufigsten Erreger einer Infektion sind koagulase-negative Staphylokokken, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, und *Candida*. Es ist erforderlich, die Infektion frühzeitig zu erkennen und zu behandeln, um eine Sepsis zu verhindern. (46) Weitere Komplikationen sind eine Lungenembolie, ein Apoplex, Krampfanfälle, intrakranielle Blutungen und eine Herzbeutelamponade. (62, 66) Einige Patient\*innen leiden während der VA-ECMO am von-Willebrand-Syndrom, das unterschiedlich stark ausgeprägt sein kann. Deshalb kann es erforderlich sein, den rekombinierten Faktor VIII zu substituieren. (60)

Die mechanischen Komplikationen beschränken sich auf technische Probleme wie Kanülen-assoziierte Probleme, Fehlfunktion des Membranoxygenators, Pumpenfehlfunktionen und Rupturen des Schlauchsystems. (60) (66)

Ethische Aspekte, auf die in dieser Dissertation nicht weiter eingegangen werden sollen, sind ebenfalls einzubeziehen. (56)

Erfahrene Teams aus Ärztinnen und Ärzten , Pflegekräften und Kardiotechniker\*innen können Komplikationen frühzeitig erkennen und entsprechend reagieren. (66)

### **2.3.7 Entwöhnung der VA-ECMO**

Als Weaning wird das Entwöhnen von der ECMO bezeichnet und somit die vollständige Übernahme der Organperfusion durch Herz und Lunge des oder der Patient\*in. Hierfür muss sichergestellt sein, dass sich die kardiale und pulmonale Funktion weitestgehend erholt hat. (50)

Das Weaning findet zumeist circa 72 Stunden nach VA-ECMO-Implantation statt, da das Herz Zeit braucht, um sich zu regenerieren. Es gibt viele Weaningprotokolle, welche alle die Organperfusion und Merkmale der Ischämie, wie die zentralvenöse Sauerstoffsättigung > 60 Prozent, Laktat < 2,0 mmol/l und Diurese > 0,5 ml/kgKG/h, beachten.(67) Zur Überprüfung der Herzleistung werden Echokardiographien durchgeführt. (44, 50) Die Erhöhung der Blutdruckamplitude ist ebenso ein Indiz dafür, dass sich der oder die Patient\*in kardial stabilisiert hat, während erhöhte Laktatwerte mit einer höheren Mortalität und Misserfolgsrate des Weanings einher gehen. (47, 68) Das Weaning findet schrittweise und über einen längeren Zeitraum statt. (44) Der Pumpfluss wird reduziert, die Beatmung, die Dosierung der inotropen Medikamente und Vasopressoren werden angepasst und die arteriellen und venösen Blutgase werden überwacht. (44, 50) Das Weaning erlaubt zu überprüfen, ob der oder die Patient\*in kardiopulmonal stabil genug ist, bevor die endgültige Dekanülierung erfolgt. (50)

### **2.3.8 Transport mit VA-ECMO**

Der Transport von Patient\*innen mit VA-ECMO ist sehr komplex und erfordert technische Unterstützung sowie ein geschultes Team. (52) Der Transport kann erforderlich sein, um Patient\*innen aus einem externen Krankenhaus in ein ECMO-Zentrum zu transportieren oder ECMO-Patient\*innen innerhalb des Krankenhauses zu verschiedenen Diagnostikmöglichkeiten, wie einen Computertomographen, zu transportieren. (69)

## **2.4 Mortalität und Outcome bei VA-ECMO auf Grundlage der bisheriger Studienlage**

Das Überleben der Patient\*innen mit VA-ECMO ist abhängig von den Vorerkrankungen der Patient\*innen vor der VA-ECMO-Implantation und von der Erfahrung des jeweiligen Zentrums. (46)

Es liegen drei randomisierte kontrollierte Studien vor, die das Outcome von OHCA-Patient\*innen nach CPR und eCPR vergleichen. Diese Studien konnten einen signifikanten Überlebensvorteil für eCPR- gegenüber CPR- Patient\*innen zeigen. (5, 6, 70) In der Studie von Yannopoulos et al. überleben 43 Prozent der Patient\*innen, die mit einer eCPR behandelt wurden, im Vergleich zu sieben Prozent, die mit einer CPR behandelt wurden. Der Unterschied war hochsignifikant ( $p < 0,0001$ ). (5) In der Studie von Belohlavek et al. überleben 31,5 Prozent der eCPR Patient\*innen und 22 Prozent der CPR Patient\*innen mit einem guten neurologischen Outcome ( $p = 0,09$ ). (6) In der Studie von Suverein et al. überleben 20 Prozent der eCPR Patient\*innen und 16 Prozent der CPR Patient\*innen mit einem guten neurologischem Outcome ( $p = 0,52$ ). (70)

Zum Vergleich von IHCA-Patient\*innen nach eCPR und CPR liegen keine randomisierten kontrollierten Studien vor. Chen et al. beschreiben in ihrer prospektiven monozentrischen beobachteten Kohortenstudie, dass 30,4 Prozent nach eCPR überleben und 15,2 Prozent nach CPR, sodass ein signifikanter Unterschied mit  $p < 0,0001$  vorliegt. (59)

Die Mortalität der Patient\*innen mit VA-ECMO mit neurologischen Komplikationen ist signifikant höher als bei Patient\*innen ohne neurologische Komplikationen. (71) In einer randomisierten Studie von Belohlavek et al. haben 22 Prozent der Patient\*innen nach OHCA und VA-ECMO ein gutes neurologisches Outcome. Nach 30 Tagen hat sich der neurologische Status bei 30,6 Prozent dieser Patient\*innengruppe erholt. (6)

Es gibt nur eine geringe Anzahl von Studien, welche das Outcome von IHCA und OHCA-Patient\*innen, bei denen eine eCPR angewendet wurde, vergleichen. Dies wurde deshalb in dieser Arbeit untersucht.

## **3 Material und Methoden**

### **3.1 Allgemeines**

Im Folgenden werden retrospektiv Daten von Patient\*innen analysiert, die im Universitätsklinikum Köln unter der damaligen Leitung von Herrn Univ.-Prof. Dr. Wahlers im Zeitraum von 2016 bis März 2022 eine eCPR erhalten hatten.

Der primäre Endpunkt war das Überleben bei Krankenhausentlassung. Die sekundären Endpunkte waren die Dauer des Krankenhausaufenthaltes, die Liegedauer auf der Intensivstation, die Dauer der ECMO-Therapie und deren Entwöhnung. (64)

### **3.2 Einschlusskriterien**

Bei der Patientenselektion wurden Patient\*innen, retrospektive mit Herz-Kreislaufstillstand und eCPR behandelt wurden, herausgesucht. Dafür wurden aus einer uniklinik-internen Liste alle ECMO-Patient\*innen herausgefiltert, die im Rahmen einer kardiopulmonalen Reanimation eine VA-ECMO erhalten haben und älter als 18 Jahre waren. Bei allen eingeschlossenen Patient\*innen erfolgte eine durchgehende kardiopulmonale Reanimation, ohne dass vor Beginn der VA-ECMO ein ROSC erzielt wurde. Diesbezüglich wurden von Anfang 2016 bis März 2022 157 Patient\*innen identifiziert und in die Datenerhebung eingeschlossen. Als spezialisiertes Herzzentrum für die ECMO-Therapie behandelt die Universitätsklinik Köln nicht nur Patient\*innen aus Köln, sondern nimmt auch Patient\*innen aus dem Umland auf. (72) Alle Patient\*innen, die in dieser Dissertation betrachtet werden, wurden an der Universitätsklinik Köln mit der VA-ECMO-Therapie behandelt.

Die Entscheidung zur ECMO-Implantation wird nach umfassender klinischer und laborchemischer Untersuchung, nach echokardiographischer Beurteilung sowie nach einer Blut-Gas-Analyse im Hinblick auf die Oxygenierung und den metabolischen Werten getroffen. Es gibt einige klinische Einschlusskriterien, die dazu führen, dass eine ECMO-Implantation durchgeführt wird. Dazu zählen:

- keine terminale Erkrankung
- Alter  $\leq$  75 Jahre
- beobachteter Herz-Kreislaufstillstand
- No-flow-Zeit  $\leq$  fünf Minuten
- Low-flow-Zeit  $\leq$  90 Minuten
- schockbarer Herzrhythmus
- nicht-schockbarer Herzrhythmus bei einer Herzbeutelamponade oder Lungenembolie

Für IHCA-Patient\*innen gibt es keine spezifischen klinischen Einschluss- und Ausschlusskriterien. Hierbei handelt es sich um individuelle Einzelfallentscheidungen.

### **3.2.1 Ausschlusskriterien**

Von der Studie ausgeschlossen wurden Personen, die jünger als 18 Jahre waren. Ebenso wurden Patient\*innen ausgeschlossen, die eine VA-ECMO aus anderen Gründen als einem Herz-Kreislaufstillstand bekommen hatten. Bei OHCA-Patient\*innen gibt es einige klinische Kriterien, die eine ECMO-Implantation ausschließen. Dazu gehören:

- arterieller pH-Wert < 6,6
- Hämoglobinwert < 8 g/dL
- nicht schockbarer Herzrhythmus, der länger als 20 Minuten anhält und bei dem eine Herzbeutelamponade oder eine Lungenembolie ausgeschlossen wurden

### **3.3 Datenerfassung**

Bei der Datenerfassung wurden alle relevanten Parameter zu den einzelnen Patient\*innen durch die Auswertung von Arztbriefen, Intensivkurven, OP-Berichten und Dokumenten aus dem Archiv der Universitätsklinik Köln zusammengeführt. Das Notarztprotokoll wurde bei den OHCA-Patient\*innen berücksichtigt. Die Stammdaten und Laborwerte wurden aus dem klinikinternen Orbis-System entnommen.

Es wurde ein Ethikantrag gestellt, dem am 10.06.2020 unter der Antragsnummer 20-1262 stattgegeben wurde.

#### **3.3.1 Erhobene prognostische Parameter**

Vorab wurden einige Parameter definiert, die erhoben werden sollten. Dazu zählen biometrische Daten, wie Alter, Geschlecht, Größe, Gewicht und BMI (Body-Mass-Index).

Zudem wurden Parameter erhoben, die sich auf den Herz-Kreislaufstillstand beziehen. Hierzu zählen die Ursache, der Herzrhythmus, die No-flow-Zeit, die Low-flow-Zeit und ob es sich um einen beobachteten Herz-Kreislaufstillstand handelt.

Vor der ECMO-Implantation wurden die folgenden Laborparameter abgenommen: pH-Wert, Sauerstoffpartialdruck ( $pO_2$ ), Laktat, Kohlenstoffdioxidpartialdruck ( $pCO_2$ ), Hämoglobin und Hämatokrit. Diese Werte wurden nach zwölf und 24 Stunden erneut erfasst. Weitere berücksichtigte Laborparameter nach Aufnahme sind Nierenwerte (Harnstoff und Kreatinin), Leber- und Gallenwerte (Bilirubin, Aspartat-Aminotransferase (AST) und Alanin-Aminotransferase (ALT)), kardiologische Parameter (Creatinkinase (CK) und Creatinkinase-

Muscle-Brain type (CK-MB)), ein Blutbild (Leukozyten, Thrombozyten) und das C-reaktive Protein (CRP).

Bei der ECMO-Implantation wurden die Kanülengröße, das Vorliegen eines Shunts zum Bein, der initiale Flow, die rounds per minute (RPM), die Technik und ob währenddessen eine perkutane transluminale Corona-Angiographie (CPTCA) durchgeführt wurde, erfasst.

Der Herzrhythmus wurde 24 Stunden nach Implantation erneut betrachtet. Es wurde dokumentiert, ob ein zusätzliches linksventrikuläres Unterstützungssystem implantiert wurde. Die Medikation mit Levosimendan wurde berücksichtigt. Komplikationen wie Beinischämien, Thrombosen, Nierenversagen mit Dialysepflichtigkeit, neurologische und gastrointestinale Komplikationen, Sepsis und Rippenverletzungen wurden ebenfalls erhoben.

### **3.3.2 Scores**

Retrospektiv wurden drei Scores betrachtet. Der Charlson Comorbidity Index (CCI) und der CPC-Score wurden für alle Patient\*innen erhoben. Der RESCUE-IHCA Score wurde nur bei IHCA-Patient\*innen angewendet.

Der CPC-Score ist ein häufiger Parameter, der genutzt wird, um das neurologische Outcome nach einem Herz-Kreislaufstillstand und nach einer Reanimation zu beurteilen. (73) Der CPC-Score wird auf einer Skala von eins bis fünf abgebildet, wobei eins eine gute zerebrale Funktion oder eine leichte zerebrale Behinderung bezeichnet. Bei einem Wert von zwei haben die Patient\*innen eine mäßige zerebrale Behinderung und bei drei liegt eine schwere zerebrale Behinderung vor. Bei einem Score von vier leiden die Patient\*innen an einem komatösen oder vegetativen Zustand und bei fünf sind die Patient\*innen Hirntod oder Tod. Dementsprechend ist ein möglichst niedriger Wert erstrebenswert. (74)

Der CCI sagt das Zehnjahresüberleben von Patient\*innen mit multiplen Komorbiditäten vorher. (75) Er umfasst Parameter wie das Alter, sowie insbesondere, gesundheitliche Ereignisse und Erkrankungen. Dazu zählen Myokardinfarkt, kongestive Herzinsuffizienz, periphere vaskuläre Erkrankungen, Schlaganfall oder eine transischämische Attacke, Demenz, chronisch obstruktive Lungenerkrankung, Ulkuskrankheit, Hemiplegie, chronisches Nierenversagen, Leukämie, Lymphom und Acquired Immunodeficiency Syndrome (AIDS). Leberversagen wird in mild und moderate to severe (mäßig bis schwer) eingeteilt. Bei Diabetes mellitus wird nach unkompliziert und mit End-Organ-Schaden kategorisiert und bei soliden Tumoren wird zwischen lokal begrenzt und metastasiert differenziert. Die einzelnen Parameter werden unterschiedlich stark gewichtet. Der CCI wird aus der Summe der Punkte der Parameter berechnet. Eine höhere Punktzahl geht nicht nur mit einem höheren Mortalitätsrisiko einher, sondern auch mit einem erhöhten Risiko an weiteren Komorbiditäten zu erkranken. (75) Es können null bis 37 Punkte erreicht werden. Ab sieben Punkten beträgt die Zehnjahresüberlebensrate null Prozent. Der CCI wurde für diese

Dissertation retrospektiv mit Hilfe der Patient\*innenakten und der Anwendung „Md+Calc“ bestimmt. (76)

Der RESCUE-Score wird verwendet, um die innerklinische Mortalität nach IHCA und eCPR einzuschätzen. (77) Es werden sieben Parameter pro Patient\*in erhoben. Diese beinhalten das Alter, ob eine vorbestehende Niereninsuffizienz vorliegt, zu welcher Uhrzeit der Herz-Kreislaufstillstand stattgefunden hat, welche Fachrichtung der oder die Patient\*in vor dem IHCA zugeteilt war, der initiale Rhythmus, ob ein tastbarer Puls vorlag und die Dauer des Herz-Kreislaufstillstandes. Pro Parameter können sowohl Punkte addiert als auch subtrahiert werden. Es kann eine negative Punktzahl erreicht werden. Die maximale Punktzahl variiert und lässt sich nicht vorhersagen, da sie vom individuellen Alter und der jeweiligen Dauer des Herz-Kreislaufstillstands abhängt. Der RESCUE-Score wurde retrospektiv für alle IHCA-Patient\*innen erhoben.

### **3.3.3 Statistische Datenanalyse**

Die statistische Datenanalyse erfolgte mit Hilfe des „Statistical Package for Social Sciences“, Version 27.0 (SPSS IBM; Chicago, Illinois). Die Daten wurden vorab sortiert. Es wurden sämtliche Daten retrospektiv erhoben und analysiert. Die Daten wurden als stetige oder kategorische Variablen dargestellt. Die kategorischen Daten wurden als Zahlenwerte oder in Prozentzahlen deklariert. Die stetigen Daten wurden als Mittelwert mit Standardabweichung oder bei nicht normalverteilten Werten als Median (Interquartilsabstand) dargestellt. Um zu überprüfen, ob eine Normalverteilung vorliegt, wurde der one-sample Kolmogorov-Smirnov Test verwendet. Nach dieser Testung wurde entweder der Student's-t-Test für normalverteilte Daten oder der Mann-Whitney-U-Test für nicht-normalverteilte Daten angewendet, um Unterschiede zwischen den Gruppen zu analysieren. Der Pearson-Chi-Square Test und der exakte Fisher-Test wurden zum Vergleich kategorischer Daten in Abhängigkeit von der erwarteten Mindestanzahl in jeder Kreuztabelle, verwendet. Ein p-Wert von  $\leq 0,05$  wurde als statistisch signifikant gewertet.

Des Weiteren wurden Relationen zwischen den außerklinischen und den innerklinischen Herz-Kreislaufstillständen mit den Überlebensraten erarbeitet und in einer Kaplan-Meier-Kurve dargestellt.

Die Analysen der Subgruppen wurde mit Hilfe von SPSS durchgeführt. Es wurde eine Analyse durchgeführt, um Übereinstimmungen für Prädiktoren des Krankenhausüberlebens zu finden, die innerhalb der ersten 24 Stunden verfügbar waren. Diese Übereinstimmungen wurden mithilfe einer multivariaten logistischen Regressionsanalyse des Krankenhausüberlebens in der gesamten Kohorte ermittelt. Zusätzlich wurden auch bekannte Prädiktoren des Überlebens berücksichtigt. Ergebnisse wurden ab einem p-Wert von  $\leq 0,05$  als statistisch signifikant betrachtet. (64)

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Demografische Daten der gesamten Kohorte

Das Durchschnittsalter aller n=157 Patient\*innen lag bei 55,7 Jahren. Das Durchschnittsalter von OHCA-Patient\*innen lag bei  $53,2 \pm 12,4$  Jahren. Die IHCA-Patient\*innen waren mit  $59,2 \pm 12,6$  Jahren nicht signifikant älter als die OHCA-Patient\*innen ( $p= 0,711$ ).

Insgesamt waren 80,3 Prozent der Patient\*innen männlich ( $p < 0,001$ ). Bei den OHCA-Patient\*innen waren 91,1 Prozent männlich, im Gegensatz zu 66,7 Prozent der IHCA-Patient\*innen ( $p= 0,001$ ).

### 4.2 Reanimationsparameter der gesamten Kohorte

#### 4.2.1 Low-flow-Zeit und No-flow-Zeit und Ursache des Herz-Kreislaufstillstandes

Die durchschnittliche Low-flow-Zeit ( $56,0 \pm 28,0$  Minuten) unterschied sich zwischen den beiden Gruppen statistisch signifikant ( $p < 0,001$ ). Die OHCA-Patient\*innen hatten eine Low-flow-Zeit mit  $63,6 \pm 25,1$  Minuten, im Vergleich zu  $41,1 \pm 27,4$  Minuten bei den IHCA-Patient\*innen. Die No-flow-Zeit lag bei der gesamten Kohorte bei  $3,25 \pm 4,9$  Minuten. Bei Patient\*innen mit Myokardinfarkt-bedingtem Herz-Kreislaufstillstand zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ( $p= 0,03$ ). 66,7 Prozent der IHCA-Patient\*innen hatten einen Myokardinfarkt und 51,7 Prozent der OHCA-Patient\*innen. Bei den anderen Ursachen konnte kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. (64)

#### 4.2.2 Blut-Gas-Analyse

Es konnten signifikante Unterschiede zwischen den OHCA- und IHCA-Patient\*innen in Bezug auf den pH-Wert, den Hämoglobinwert und den CK-Wert gezeigt werden. Die Werte wurden vor der ECMO-Implantation erhoben. Der pH-Wert war in der OHCA-Gruppe niedriger ( $6,8 \pm 0,8$ ) als bei der IHCA-Gruppe ( $7,1 \pm 0,2$ ) ( $p= 0,008$ ). Der Hämoglobinwert vor Implantation war bei den IHCA-Patient\*innen signifikant niedriger ( $10,9 \pm 2,8$  g/dl) als bei den OHCA-Patient\*innen ( $12,19 \pm 3,6$  g/dl) ( $p= 0,04$ ). Die CK war bei den OHCA-Patient\*innen deutlich höher als bei den IHCA-Patient\*innen ( $4380 \pm 6600$  U/l zu  $2169 \pm 3540$  U/l) ( $p= 0,02$ ). Nicht-signifikante Unterschiede ergaben sich bei den folgenden Werten der Blut-Gas-Analyse: Laktat,  $pO_2$ ,  $pCO_2$  und CK-MB in Prozent. Der  $pO_2$ -Wert lag bei der gesamten Kohorte bei  $93,1 \pm 60,7$  Millimeter Quecksilbersäule (mmHg) und der  $pCO_2$ -Wert bei  $60,2 \pm 27,7$  mmHg. Das Laktat lag bei allen Patient\*innen durchschnittlich bei  $12,9 \pm 8,77$  mmol/l. Der CK-MB-Wert in Prozent lag bei  $44,5 \pm 156$ . (64) Die oben genannten Daten sind in der Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Initiale Laborparameter vor ECMO-Implantation, während der Reanimation der gesamten Kohorte (eigene Darstellung)  
 VA-ECMO= Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. IHCA= in-hospital cardiac arrest. OCHA= out-of-hospital cardiac arrest. BMI= body mass index. pO2= Sauerstoffpartialdruck. pCO2= Kohlenstoffdioxidpartialdruck. Hb= Hämoglobin. CK= Creatinkinase. CK-MB= Creatinkinase-Muscle-Brain type

Parameter	Gesamte Kohorte n=157	IHCA-Patient*innen n=66	OHCA-Patient*innen n=91	p-Wert
Alter (Jahre)	55,7 ± 12,8	59,2 ± 12,6	53,2 ± 12,4	0,711
Männliches Geschlecht (%)	80,3	66,7	91,1	<b>&lt;0,001</b>
BMI	27,9 ± 6,4	28,0 ± 2,6	27,4 ± 4,9	0,09
Low-flow-Zeit (Minuten)	56,1 ± 28,0	41,1 ± 27,4	63,6 ± 25,1	<b>&lt;0,001</b>
Laktatwert vor Implantation (mmol/L)	12,9 ± 8,8	11,1 ± 6,4	14,4 ± 10,6	0,71
pH-Wert vor Implantation	6,9 ± 0,4	7,1 ± 0,2	6,8 ± 0,8	<b>0,008</b>
pO2-Wert vor Implantation (mmHg)	93,1 ± 60,7	108,4 ± 117,4	70,0 ± 36,2	0,08
pCO2-Wert vor Implantation (mmHg)	60,2 ± 27,7	56,5 ± 26,6	64,9 ± 25,0	0,30
Hb-Wert vor Implantation (g/dL)	11,2 ± 3,2	10,9 ± 2,8	12,2 ± 3,6	<b>0,04</b>
Initialer CK-Wert (U/L)	3376 ± 5936	2169 ± 3540	4380 ± 6600	<b>0,02</b>
Initialer CK-MB-Wert (%)	44,5 ± 156	31,8 ± 76,8	49,1 ± 162,1	0,50

#### 4.2.3 Initialer Herzrhythmus

59,5 Prozent der Patient\*innen hatten einen initial schockbaren Herzrhythmus. 43,8 Prozent der IHCA-Patient\*innen hatten einen schockbaren Rhythmus im Vergleich zu 65,6 Prozent der OHCA-Patient\*innen (p= 0,04). Somit ist anzumerken, dass signifikant mehr OHCA-Patient\*innen einen schockbaren Rhythmus hatten. Dies spiegelte sich ebenfalls in der Anzahl der Patient\*innen mit einer PEA wider und somit einem nicht-schockbaren Rhythmus. 40,6 Prozent

der IHCA-Patient\*innen hatten eine PEA und in der Gruppe der OHCA-Patient\*innen lag der Wert bei 17,7 Prozent. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen bei einem p-Wert von  $<0,001$ . Bei den anderen Herzrhythmen ließ sich keine statistische Signifikanz feststellen. (64)

### **4.3 Scores**

#### **4.3.1 Charlson Comorbidity Index**

Der Mittelwert des CCI lag bei der gesamten Kohorte bei 4,09 mit einer Standardabweichung von 2,55. Es war keine statistische Signifikanz, mittels des Pearson-Chi-Quadratstest, zwischen OHCA- und IHCA-Patient\*innen festzustellen. Ebenso ließ sich kein signifikanter Unterschied zwischen den im Krankenhaus verstorbenen Patient\*innen und den überlebenden Patient\*innen in Bezug auf den CCI nachweisen.

#### **4.3.2 RESCUE-Score**

Der Mittelwert des RESCUE-Scores lag bei 8,50 und die Standardabweichung bei 10,39. Da der RESCUE-Score nur für IHCA-Patient\*innen erhoben werden kann, konnte keine Kreuztabelle für den RESCUE-Score und der Variablen IHCA versus OHCA erstellt werden. Es ließ sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Patient\*innen, die im Krankenhaus verstorben sind und den überlebenden Patient\*innen mit dem RESCUE-Score darstellen.

### **4.4 Vergleich zwischen den im Krankenhaus verstorbenen Patient\*innen und den überlebenden Patient\*innen der gesamten Kohorte**

Im Hinblick auf die demografischen Basischarakteristika zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen verstorbenen und überlebenden Patient\*innen in der Altersgruppe über 70 Jahre zum Zeitpunkt des Herz-Kreislaufstillstandes. Bei allen überlebenden Patient\*innen lag der Anteil der über 70-jährigen bei 5,5 Prozent und bei den verstorbenen Patient\*innen bei 14,4 Prozent ( $p=0,009$ ). Hinsichtlich der Geschlechterverteilung in den Gruppen gab es keinen signifikanten Unterschied. Ebenso war kein signifikanter Unterschied zwischen den OHCA und IHCA-Patient\*innen bezüglich ihrer Mortalität und des Alters nachzuweisen.

Bei den Reanimationsparametern zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied der No-flow-Zeit zwischen Überlebenden und Verstorbenen ( $p=0,03$ ). Bei den überlebenden Patient\*innen lag die No-flow-Zeit bei  $1,5 \pm 2,3$  Minuten und bei den verstorbenen Patient\*innen bei  $3,8 \pm 5,4$  Minuten. Bei den Überlebenden lag die Low-flow-Zeit bei  $43,6 \pm 22,4$  Minuten und bei den Verstorbenen bei  $60,6 \pm 28,1$  Minuten ( $p < 0,001$ ). Es ließ sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beobachteten und nicht-beobachteten Herz-Kreislaufstillständen nachweisen. Bei Patient\*innen mit einem Myokardinfarkt als Ursache des Herz-Kreislaufstillstandes zeigte sich ein signifikanter Unterschied ( $p=0,02$ ). Der Myokardinfarkt war bei 61,2 Prozent der verstorbenen

und bei 48,7 Prozent der überlebenden Patient\*innen die Ursache. Für die übrigen Ursachen ließ sich in dieser Subgruppe kein signifikanter Unterschied feststellen.

Der Laktatanstieg war bei den Überlebenden mit  $8,6 \pm 5,8$  mmol/l signifikant geringer als bei den Verstorbenen ( $13,9 \pm 9,6$  mmol/l) ( $p= 0,003$ ). Beim  $pO_2$  lag der Wert bei den überlebenden Patient\*innen signifikant höher ( $99,5 \pm 31,4$  mmHg) als bei den verstorbenen Patient\*innen ( $65,5 \pm 36,2$  mmHg) ( $p= 0,05$ ). In den anderen Werten der Blut-Analyse vor ECMO-Implantation, wie dem pH-Wert,  $pCO_2$  und Hämoglobin, ließen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den überlebenden und verstorbenen Patient\*innen belegen.

Bei den überlebenden Patient\*innen hatten als ersten dokumentieren Rhythmus 8,3 Prozent eine Asystolie und bei den verstorbenen Patient\*innen 24,1 Prozent ( $p= 0,01$ ). Bei der Schockbarkeit des Rhythmus und bei einer PEA ließen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen feststellen. (64) Diese Daten sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Vergleich zwischen Verstorbenen und Überlebenden in der Gesamtkohorte nach VA-ECMO (eigene Darstellung)

OHCA= out-of-hospital cardiac arrest. IHCA= in-hospital cardiac arrest. VA-ECMO= Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. CPR= Cardiopulmonary resuscitation. pO<sub>2</sub>= Sauerstoffpartialdruck. pCO<sub>2</sub>= Kohlenstoffdioxidpartialdruck. Hb= Hämoglobin

Parameter	Gesamte Kohorte n=157	Überlebende n=39	Verstorbene n=118	p-Wert	Multinominale Regression
Alter (Jahre)	55,7 ± 12,8	53,8 ± 11,6	56,3 ± 13,1	0,28	
Alter > 70 Jahre (%)	39	5,5	14,4	<b>0,009</b>	0,14
Männliche Patient*innen (%)	80,3	82,1	79,7	0,82	
IHCA-Patient*innen (%)	42,0	46,2	40,7	0,33	
OHCA-Patient*innen (%)	58,0	53,8	59,3	0,33	
Beobachteter Herz-Kreislaufstillstand (%)	82,8	94,6	88,8	0,24	
No-flow-Zeit (Minuten)	3,25 ± 4,9	1,5 ± 2,3	3,8 ± 5,4	<b>0,03</b>	0,14
Low-flow-Zeit (Minuten)	56,08 ± 28,0	43,6 ± 22,4	60,6 ± 28,1	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,005</b>
Initial -schockbarer Rhythmus (%)	59,5	66,7	57,5	0,49	
Asystolie (%)	24,3	8,3	24,1	<b>0,01</b>	0,12
Pulslose elektrische Aktivität (%)	16,2	25,0	18,4	0,39	
Laktat-Wert (mmol/L)	12,9 ± 8,77	8,6 ± 5,8	13,9 ± 9,6	<b>0,003</b>	<b>0,002</b>
pH-Wert	6,92 ± 0,36	7,0 ± 0,2	6,9 ± 0,8	0,15	
pO <sub>2</sub> -Wert (mmHg)	93,1 ± 60,7	99,5 ± 31,4	65,5 ± 36,2	<b>0,05</b>	0,12

pCO <sub>2</sub> -Wert (mmHg)	60,2 ± 27,2	61,6 ± 29,6	54,6 ± 13,0	0,06	
Hb-Wert vor Implantation (g/dL)	11,2 ± 3,2	10,9 ± 2,8	12,19 ± 3,6	0,14	

#### 4.5 Vergleich zwischen den im Krankenhaus verstorbenen Patient\*innen und den überlebenden Patient\*innen in der OHCA-Gruppe

Die Daten für den Vergleich zwischen den im Krankenhaus verstorbenen Patient\*innen und den überlebenden Patient\*innen aus der OHCA-Gruppe, sind in Tabelle 3 dargestellt und werden im Folgenden beschrieben.

Bei den biographischen Daten ließen sich in der OHCA-Gruppe zwischen den verstorbenen und überlebenden Patient\*innen, keine signifikanten Unterschiede nachweisen.

Zwischen den Gruppen zeigten sich hinsichtlich der Reanimationsparameter signifikante Unterschiede. Die No-flow-Zeit in Minuten war bei den Überlebenden ( $1,5 \pm 2,3$  Minuten) signifikant kürzer als bei den Verstorbenen ( $3,8 \pm 5,4$  Minuten) ( $p= 0,04$ ). Die Low-flow-Zeit war ebenfalls bei den Überlebenden mit  $54,6 \pm 16,8$  Minuten kürzer als bei den Verstorbenen mit  $68,0 \pm 26,5$  Minuten ( $p= 0,03$ ). Bei der Variable des beobachteten Herz-Kreislaufstillstands ließ sich kein signifikanter Unterschied in dieser Subgruppe nachweisen. 19,0 Prozent der überlebenden OHCA-Patient\*innen hatten eine Arrhythmie und 5,9 Prozent der verstorbenen Patient\*innen ( $p= 0,02$ ). Bei 4,8 Prozent der Überlebenden und bei 10,3 Prozent der Verstorbenen lag eine iatrogene Ursache zu Grunde ( $p= 0,04$ ). Bei den anderen Herzrhythmen lag kein signifikanter Unterschied vor.

Die überlebenden OHCA-Patient\*innen hatten einen Laktatwert von  $11,6 \pm 5,1$  mmol/l vor der Kanülierung. Die verstorbenen OHCA-Patient\*innen hatten einen Wert von  $15,5 \pm 10,6$  mmol/l ( $p= 0,003$ ). Der pO<sub>2</sub>-Wert war bei den Überlebenden signifikant höher ( $71,2 \pm 31,4$ ) als bei den Verstorbenen ( $67,8 \pm 39,2$ ) ( $p= 0,05$ ). Bei dem pH-Wert, pCO<sub>2</sub>-Wert und beim Hämoglobinwert ließen sich keine signifikanten Unterschiede feststellen.

Bei den Herzrhythmen ließen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den überlebenden und verstorbenen Patient\*innen darstellen. (64)

Tabelle 3: Vergleich zwischen den verstorbenen Patient\*innen und den überlebenden Patient\*innen in der OHCA-Gruppe (eigene Darstellung)  
 OHCA= out-of-hospital cardiac arrest. VA-ECMO= Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation.  
 CPR= Cardiopulmonary resuscitation. pO<sub>2</sub>= Sauerstoffpartialdruck. pCO<sub>2</sub>= Kohlenstoffdioxidpartialdruck.  
 Hb= Hämoglobin

Parameter	Gesamte Kohorte n=91	Überlebende n=21	Verstorbene n=70	p-Wert	Multinominale Regression
Alter (Jahre)	53,2 ± 12,4	53,8 ± 11,6	56,3 ± 13,1	0,26	
Alter > 70 Jahre (%)	7,7	0	10,0	/	/
Männlich (%)	91,1	82,1	79,7	0,65	
Beobachteter Herz-Kreislaufstillstand (%)	86,9	94,7	84,6	0,23	
No-flow-Zeit (Minuten)	4,3 ± 5,2	1,5 ± 2,3	3,8 ± 5,4	<b>0,04</b>	0,15
Low-flow-Zeit (Minuten)	63,6 ± 25,1	54,6 ± 16,8	68,0 ± 26,5	<b>0,03</b>	<b>0,05</b>
Initial-schockbarer Rhythmus (%)	35,4	36,7	31,6	0,45	
Asystolie (%)	16,5	9,5	20,0	0,61	
Kammerflimmern (%)	64,6	68,4	63,3	0,91	
Pulslose elektrische Aktivität (%)	14	21,1	16,7	0,56	
Laktat-Wert vor Implantation (mmol/L)	14,4 ± 10,6	11,6 ± 5,1	15,5 ± 10,6	<b>0,003</b>	<b>0,04</b>
pH-Wert vor Implantation	6,8 ± 0,8	6,9 ± 0,1	6,7 ± 0,9	0,26	
pO <sub>2</sub> -Wert vor Implantation (mmHg)	70,0 ± 36,2	71,2 ± 31,4	67,8 ± 39,2	<b>0,05</b>	0,13

pCO <sub>2</sub> -Wert vor Implantation (mmHg)	64,9 ± 25,0	61,3 ± 12,6	65,6 ± 27,0	0,14	
Hb-Wert vor Implantation (g/dL)	12,19 ± 3,6	13,7 ± 2,8	11,8 ± 3,6	0,11	

#### 4.6 Vergleich zwischen den im Krankenhaus verstorbenen Patient\*innen und den überlebenden Patient\*innen in der IHCA-Gruppe

Im Folgenden werden die Daten der verstorbenen IHCA-Patient\*innen mit den überlebenden IHCA-Patient\*innen verglichen. Dies ist in Tabelle 4 dargestellt.

Bei den biographischen Daten zeigte sich ein signifikanter Unterschied bei dem Alter über 70 Jahren hinsichtlich des Überlebens ( $p=0,03$ ). 11,1 Prozent der Überlebenden und 20,8 Prozent der Verstorbenen waren zum Zeitpunkt des Herz-Kreislaufstillstand über 70 Jahre alt. Bei dem Geschlecht zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den überlebenden und verstorbenen Patient\*innen.

Die Low-flow-Zeit bei den Überlebenden ( $23,5 \pm 15,2$  Minuten) war signifikant kürzer als bei den Verstorbenen ( $45,0 \pm 28,6$  Minuten) ( $p= 0,03$ ). Die No-flow-Zeit und ob der Herz-Kreislaufstillstand beobachtet wurde, waren in den beiden Gruppen nicht signifikant unterschiedlich. 5,6 Prozent der Überlebenden und 12,5 Prozent der Verstorbenen hatten eine Arrhythmie ( $p < 0,001$ ). Bei den anderen Ursachen für den Herz-Kreislaufstillstand lagen keine signifikanten Unterschiede vor.

Der Laktatwert war bei den Überlebenden signifikant geringer ( $5,3 \pm 4,8$  mmol/l) als bei den Verstorbenen ( $12,5 \pm 6,0$  mmol/l) ( $p= 0,002$ ). Der pO<sub>2</sub>-Wert war bei den überlebenden IHCA-Patient\*innen mit  $116,8 \pm 26,4$  mmHg höher als bei den verstorbenen IHCA-Patient\*innen mit  $64,8 \pm 28,2$  mmHg. Bei den anderen Laborwerten, die vor der ECMO-Implantation abgenommen wurden, ließen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den überlebenden und verstorbenen Patient\*innen nachweisen.

39,6 Prozent der Überlebenden und 16,7 Prozent der Verstorbenen hatten einen schockbaren Herzrhythmus ( $p= 0,05$ ). Bei den überlebenden IHCA-Patient\*innen hatten 20,0 Prozent eine pVT. Bei den verstorbenen IHCA-Patient\*innen lag der Wert bei 7,4 Prozent ( $p= 0,05$ ). Für die übrigen Rhythmen zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Vergleichsgruppen. (64)

*Tabelle 4: Vergleich zwischen den verstorbenen Patient\*innen und den überlebenden Patient\*innen in der IHCA-Gruppe (eigene Darstellung)*  
 IHCA= in-hospital cardiac arrest. VA-ECMO= Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. CPR=

Cardiopulmonary resuscitation. pO<sub>2</sub>= Sauerstoffpartialdruck. pCO<sub>2</sub>= Kohlenstoffdioxidpartialdruck. Hb= Hämoglobin.

Parameter	Gesamte Kohorte n=66	Überlebende n=18	Verstorbene n=48	p-Wert	Multinominale Regression
Alter (Jahre)	59,2 ± 12,6	55,6 ± 13,1	60,6 ± 12,1	0,09	
Alter > 70 Jahre (%)	18,2	11,1	20,8	<b>0,03</b>	0,36
Männlich (%)	66,7	72,2	64,6	0,31	
Beobachteter Herz-Kreislaufstillstand (%)	95	94,4	95,2	0,95	
No-flow-Zeit (Minuten)	0,0	0,0	0,0	/	/
Low-flow-Zeit (Minuten)	63,6 ± 25,1	23,5 ± 15,2	45,0 ± 28,6	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>
Initial - schockbarer Rhythmus (%)	33,3	39,6	16,7	<b>0,05</b>	
Asystolie (%)	15,6	0	18,5	/	/
Kammerflimmern (%)	31,3	40,0	29,6	0,07	
Pulslose elektrische Aktivität (%9	40,6	40,0	40,7	0,92	
Sinusrhythmus (%)	3,1	0	3,7	/	/
Ventrikuläre Tachykardie (%)	9,4	20,0	7,4	<b>0,05</b>	
Laktat-Wert vor Implantation (mmol/L)	14,4 ± 10,6	5,3 ± 4,8	12,5 ± 6,0	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>
pH-Wert vor Implantation	7,1 ± 0,2	7,2 ± 0,2	7,1 ± 0,2	0,15	

pO <sub>2</sub> -Wert vor Implantation (mmHg)	108,4 ± 117,4	116,8 ± 26,4	64,8 ± 28,2	<b>0,05</b>	0,13
pCO <sub>2</sub> -Wert vor Implantation (mmHg)	56,6 ± 26,2	61,3 ± 12,6	65,6 ± 27,0	0,53	
Hb-Wert vor Implantation (g/dL)	10,9 ± 2,8	11,7 ± 2,8	10,6 ± 2,6	0,46	

#### 4.7 Ergebnisse der multinominalen Regressionsanalyse

Die multinominalen Regressionsanalyse zeigte signifikante Unterschiede zwischen überlebenden und verstorbenen Patient\*innen. Dies galt für die Low-flow-Zeit (multinominale p-Werte: gesamte Kohorte: 0,005, OHCA: 0,05, IHCA: 0,02) und die Laktatwerte vor der ECMO-Kanülierung (multinominale p-Werte: gesamte Kohorte: 0,02, OHCA: 0,04, IHCA: 0,002). Diese Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt, die einen Vergleich zwischen Verstorbenen und Überlebenden der gesamten Kohorte zeigt. Die Vergleichsdaten zwischen verstorbenen und überlebenden Patient\*innen der OHCA-Gruppe sind Tabelle 3 zu entnehmen, während die Ergebnisse für die IHCA-Gruppe in Tabelle 4 aufgezeigt werden.

#### 4.8 Vergleich zwischen den im Krankenhaus verstorbenen Patient\*innen und den überlebenden Patient\*innen in Relation zur Low-flow-Zeit

##### 4.8.1 Vergleich zwischen den im Krankenhaus verstorbenen Patient\*innen und den überlebenden Patient\*innen in Relation zur Low-flow-Zeit in der OHCA-Gruppe

Die Low-flow-Zeit wurde in drei Zeitintervalle eingeteilt (<30 min, <60 min, <120 min). Jede\*r Patient\*in wurde anhand der dokumentierten Low-flow-Zeit einer Kategorie zugeordnet. In der Gruppe mit einer Low-flow-Zeit von weniger als 30 Minuten waren insgesamt elf OHCA-Patient\*innen. 27,27 Prozent der Patient\*innen, die dieser Gruppe zugeordnet wurden, haben überlebt. 72,73 Prozent der Patient\*innen mit einer Low-flow-Zeit von weniger als 30 Minuten sind verstorben. In der Gruppe mit einer Low-flow-Zeit zwischen 30 und 60 Minuten befanden sich die meisten OHCA-Patient\*innen mit insgesamt 48 Patient\*innen. 14 Patient\*innen haben mit dieser Low-flow-Zeit überlebt und machten 29,17 Prozent der OHCA-Patient\*innen mit dieser Low-flow-Zeit aus. Der Anteil der verstorbenen Patient\*innen in dieser Kategorie lag bei 70,83 Prozent. Bei dem Zeitintervall zwischen 60 und 120 Minuten haben vier Patient\*innen überlebt. Dies entspricht einer Prozentzahl von 12,5 Prozent in diesem Zeitintervall. 28 Patient\*innen sind verstorben. Dies entsprach 87,5 Prozent aller OHCA-Patient\*innen mit einer Low-flow-Zeit zwischen 60 und 120 Minuten. Zusammenfassend konnte beobachtet werden, dass die meisten OHCA-Patient\*innen

mit einer Low-flow-Zeit von weniger als 30 Minuten oder einer Low-flow-Zeit von 30 bis 60 Minuten überlebt haben. Diese Daten sind in Abbildung 4 dargestellt.

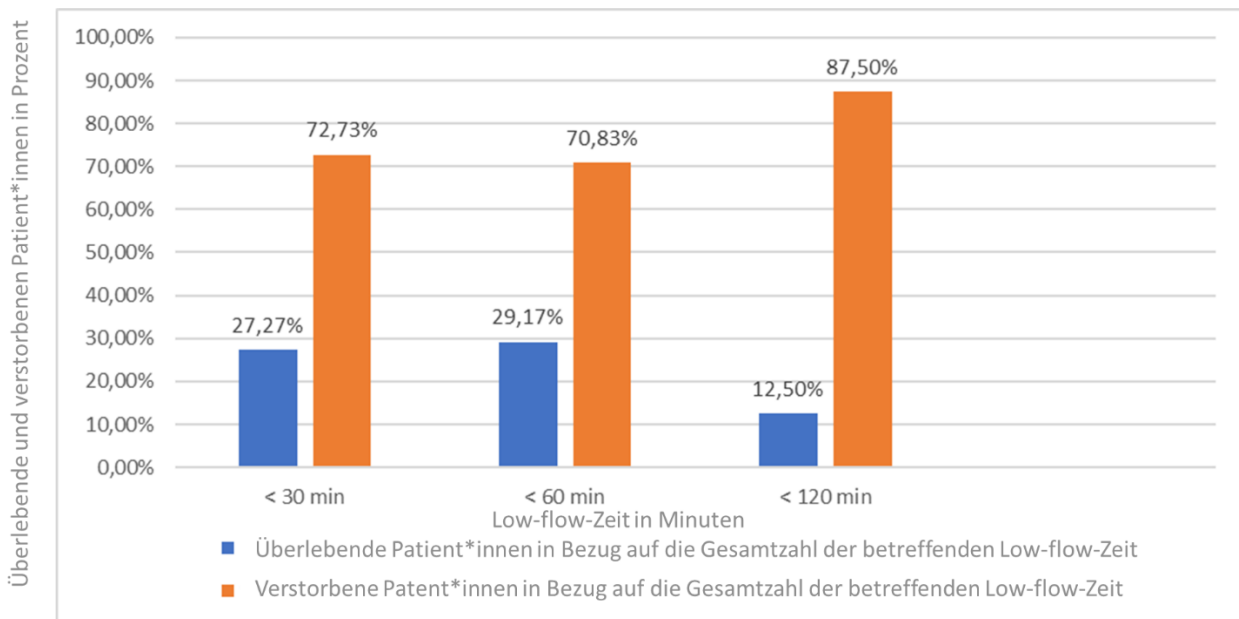


Abbildung 4: Überleben in Abhängigkeit von der Low-flow-Zeit in der OHCA-Kohorte. (eigene Darstellung)  
 Alle analysierten Patient\*innen wurden anhand ihrer Low-flow-Zeit in drei verschiedene Zeitintervalle unterteilt: <30 Minuten Low-flow-Zeit, >30 - <60 Minuten Low-flow-Zeit und >60 - <120 Minuten Low-flow-Zeit. Die Überlebensraten sind in allen drei Zeitintervallen dargestellt.  
 OHCA= out-of-hospital cardiac arrest.

#### 4.8.2 Vergleich zwischen den im Krankenhaus verstorbenen Patient\*innen und den überlebenden Patient\*innen in Relation zur Low-flow-Zeit in der IHCA-Gruppe

Für die IHCA-Patient\*innen wurde die gleiche Kategorisierung der Low-flow-Zeit vorgenommen, wie für die OHCA-Patient\*innen. Die größte Gruppe machte das Zeitintervall unter 30 Minuten mit insgesamt 33 Patient\*innen aus. Davon überlebten 45,45 Prozent der Patient\*innen und 54,55 Prozent der Patient\*innen verstarben. Drei Patient\*innen haben mit einer Low-flow-Zeit zwischen 30 und 60 Minuten überlebt. Dies entsprach zwölf Prozent der Patient\*innen in diesem Zeitintervall. Kein\*e IHCA-Patient\*in hat bei einer Low-flow-Zeit zwischen 60 und 120 Minuten überlebt. Es war festzustellen, dass die IHCA-Patient\*innen vor allem bei einer Low-flow-Zeit von weniger als 30 Minuten überlebt haben. Somit ist festzuhalten, dass eine verlängerte Low-flow-Zeit in beiden Gruppen mit einer reduzierten Überlebensrate assoziiert war. Dies ist in Abbildung 5 dargestellt.

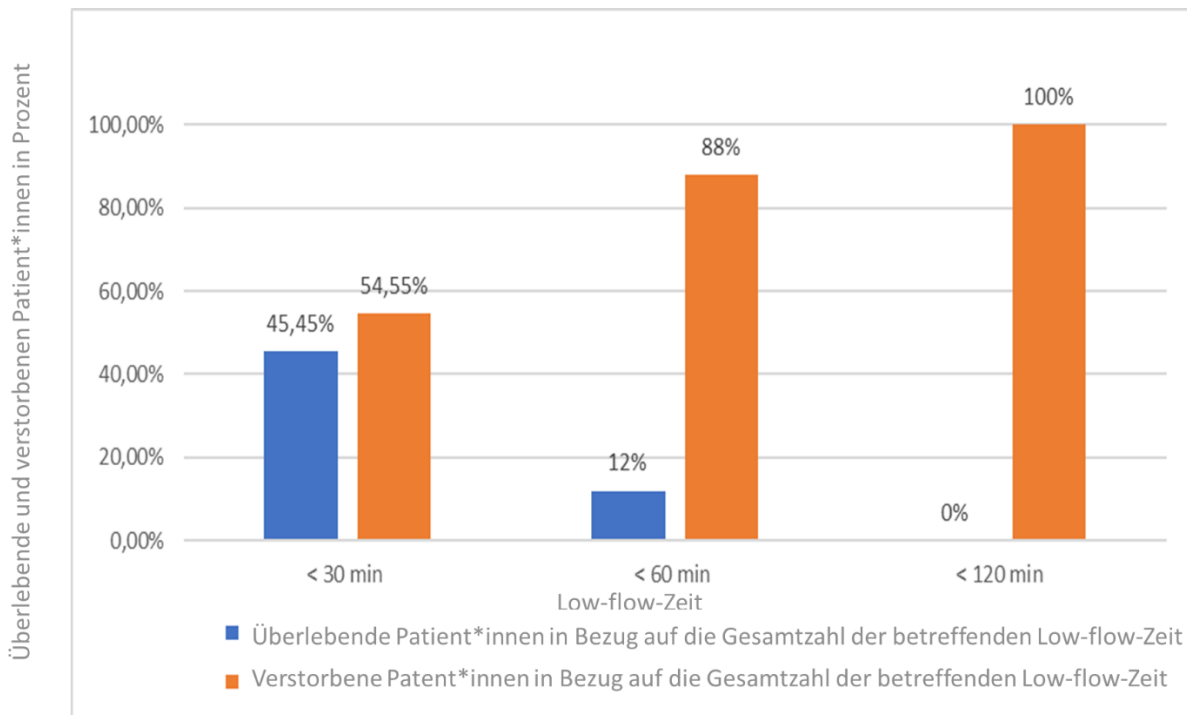


Abbildung 5: Überleben in Abhängigkeit von der Low-flow-Zeit in der IHCA-Kohorte. (eigene Darstellung)  
 Alle analysierten Patient\*innen wurden anhand ihrer Low-flow-Zeit in drei verschiedene Zeitintervalle unterteilt: <30 Minuten Low-flow-Zeit, >30 - <60 Minuten Low-flow-Zeit und >60 - <120 Minuten Low-flow-Zeit. Die Überlebensraten sind in allen drei Zeitintervallen dargestellt.  
 IHCA= in-hospital cardiac arrest.

#### 4.9 Vergleich zwischen den im Krankenhaus verstorbenen Patient\*innen und den überlebenden Patient\*innen im Verlauf des Untersuchungszeitraums

Die Verteilung der Patient\*innen innerhalb der untersuchten Jahre ist in Tabelle 5 dargestellt. Es muss beachtet werden, dass sich die Daten von 2022 nur auf die ersten drei Monate beziehen. Die Gesamtzahl der Patient\*innen nahm im Betrachtungszeitraum von Jahr zu Jahr zu. 2021 wurden die meisten Patient\*innen (n=38) behandelt.

Tabelle 5: Vergleich zwischen den verstorbenen Patient\*innen und den überlebenden Patient\*innen im Verlauf der Jahre (eigene Darstellung)

Jahre	Patient*innen der gesamten Kohorte (absolut) n=157	Überlebende Patient*innen (absolut) n=39	Verstorbene Patient*innen (absolut) n=118
2016 und 2017	16	2	14
2018	24	8	16
2019	31	6	25
2020	36	10	26
2021	38	12	26

2022	11	1	10
------	----	---	----

In Abbildung 6 sind die Prozentwerte der verstorbenen und überlebenden Patient\*innen in Bezug auf das jeweilige Jahr dargestellt. Im Jahr 2018 haben die meisten Patient\*innen mit 33,34 Prozent überlebt. Im Jahr 2022 sind prozentual die meisten Patient\*innen verstorben (90,01%), wobei sich dieser Wert nur auf die ersten drei Monate des Jahres bezieht und somit nicht den gleichen Zeitraum, wie die anderen Jahre umfasst. Wird das Jahr 2022 nicht einbezogen, war in den zusammengefassten Jahren 2016 und 2017 mit 87,50 Prozent die Mortalität am höchsten.

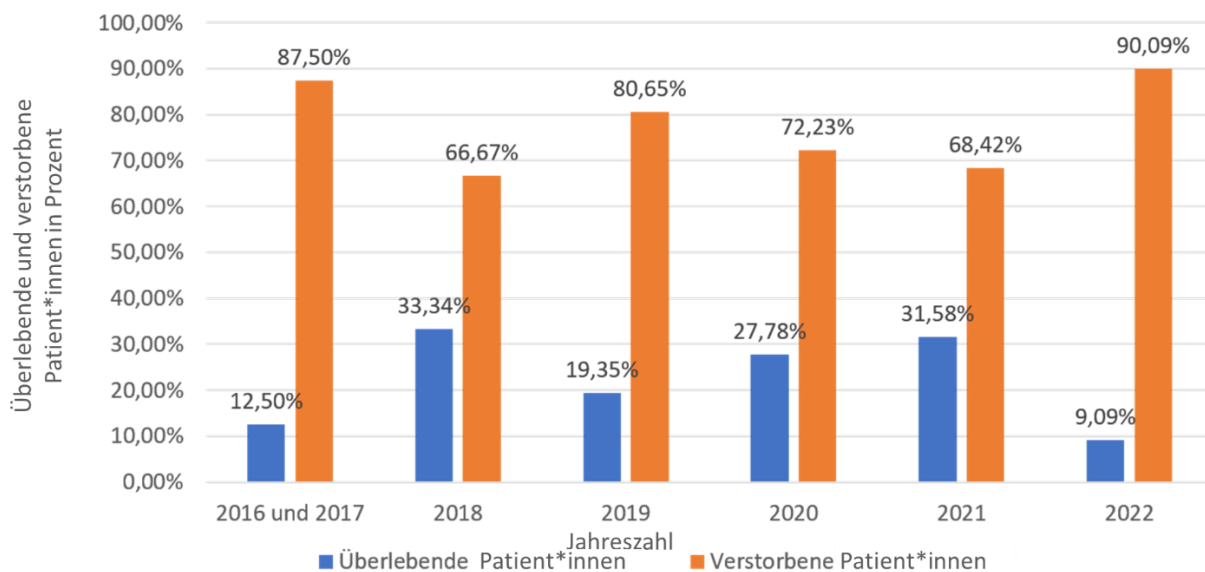


Abbildung 6: Vergleich der im Krankenhaus verstorbenen Patient\*innen und der überlebenden Patient\*innen nach Herz-Kreislaufstillstand und VA-ECMO im Verlauf der Jahre (eigene Darstellung)  
VA-ECMO= Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation.

#### 4.10 Outcome und Komplikationen der gesamten Kohorte

Zwischen den beiden Gruppen zeigte sich kein signifikanter Unterschied im primären Endpunkt des Überlebens bei Krankenhausentlassung. Die Mortalität innerhalb des Krankenhauses lag bei der gesamten Kohorte bei 75,2 Prozent. 72,7 Prozent der IHCA-Patient\*innen und 76,9 Prozent der OHCA-Patient\*innen sind im Krankenhaus verstorben ( $p= 0,31$ ). Dies ist in der Kaplan-Meier-Überlebenskurve dargestellt (Abbildung 7). (64)



Abbildung 7: Kaplan-Meier-Kurve für die IHCA und OHCA-Kohorte (eigene Darstellung in Anlehnung an © 2024 Gaisendrees C. et al. — Licensed under CC BY-NC 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> (Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for in- and out-of-hospital cardiac arrest: The race against time, Resusc Plus 2024, DOI: 10.1016/j.resplu.2024.100613) (64)). IHCA= in-hospital cardiac arrest. OHCA= out-of-hospital cardiac arrest.

Die folgenden Daten des Outcomes und der Komplikationen sind in Tabelle 6 dargestellt. Durchschnittlich lagen die Patient\*innen  $8,2 \pm 13,8$  Tage auf der Intensivstation. Nach  $11,4 \pm 19,5$  Tagen hatten die Patient\*innen das Krankenhaus verlassen. Bei 38,9 Prozent aller Patient\*innen konnte die ECMO wieder explantiert werden. Die ECMO-Explantationsrate der IHCA-Patient\*innen lag bei 53,0 Prozent während diese bei den OHCA-Patient\*innen bei 28,1 Prozent lag ( $p= 0,05$ ). Die ECMO war bei der gesamten Kohorte durchschnittlich  $3,61 \pm 2,49$  Tage angeschlossen.

Die häufigste aufgetretene Komplikation war das aktive Bluten mit 63,6 Prozent. Gastrointestinale Komplikationen traten bei 40,1 Prozent der Patient\*innen auf. 40,7 Prozent der IHCA-Patient\*innen und 24,04 Prozent der OHCA-Patient\*innen benötigten eine kontinuierliche venovenöse Hämofiltration (CVVH, Continuous Venovenous Hemofiltration) ( $p= 0,04$ ). Bei 26,0

Prozent der Patient\*innen war eine Extremitätenischämie aufgetreten und es wurden durchschnittlich  $12,2 \pm 13,9$  Erythrozytenkonzentrate pro Patient\*in verabreicht.

Tabelle 6: Outcome und Komplikationen der gesamten Kohorte nach Herz-Kreislaufstillstand und VA-ECMO (eigene Darstellung).

IHCA= in-hospital cardiac arrest. OCHA= out-of-hospital cardiac arrest. ECMO= Extracorporeal membrane oxygenation. CVVH= Continuous Veno-Venous Hemofiltration

Parameter	Gesamte Kohorte n=157	IHCA n=66	OHCA n=91	p-Wert
Bein Ischämie (%)	26,0	25,1	26,8	0,84
Aktive Blutung (%)	63,6	87,0	89,2	0,45
Erythrozytenkonzentrate (Beutel)	12,2 ± 13,9	14,9 ± 18,6	10,4 ± 10,6	0,10
Gastrointestinale Komplikationen (%)	40,1	40,1	40,0	0,99
ECMO-Explantation (%)	38,9	53,0	28,1	<b>0,05</b>
ECMO-Dauer (Tage)	3,6 ± 2,5	4,0 ± 2,1	3,8 ± 2,8	0,89
CVVH (%)	32,2	40,7	24,0	<b>0,04</b>
Sterblichkeitsrate im Krankenhaus (%)	75,2	72,7	76,9	0,31
Verlassen der Intermediate Care Station (%)	26,6	28,8	25,0	0,34
Dauer auf der Intermediate Care Station (Tage)	8,2 ± 13,8	10,1 ± 6,9	6,8 ± 14,2	0,16
Dauer des Krankenhausaufenthalts (Tage)	11,4 ± 19,5	15,6 ± 7,7	6,7 ± 16,2	0,36

## 5 Diskussion

Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Arbeit diskutiert. In der durchgeführten retrospektiven Analyse bei n=157 Patient\*innen mit Herz-Kreislaufstillstand, die zwischen 2016-2022 mit eCPR an der Uniklinik Köln behandelt wurden, konnten 24,8 Prozent der Patient\*innen lebend aus dem Krankenhaus entlassen werden. Als Antwort auf die Forschungsfragen „Gibt es Unterschiede in den Überlebensraten von IHCA- und OHCA-Patient\*innen die mit Hilfe einer VA-ECMO behandelt wurden? Welche klinischen Ausgangsparameter stehen mit dem Überleben in Zusammenhang und wie unterscheiden sich diese Parameter zwischen beiden Gruppen?“ kann folgendes Ergebnis festgehalten werden: Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den OHCA- (23,1%) und den IHCA-Patient\*innen (27,3%), obwohl Patient\*innen nach OHCA signifikant niedrigere pH-Werte und signifikant längere Low-flow-zeiten vor ECMO-Anlage aufweisen.

Die IHCA-Patient\*innen waren mit  $59,2 \pm 12,6$  Jahren älter als die OHCA-Patient\*innen ( $53,2 \pm 12,4$  ( $p = 0,711$ )). (64) In der Studie von Kagawa et al. wird gezeigt, dass die IHCA-Patient\*innen signifikant älter als die OHCA-Patient\*innen sind (68 (58–73) Jahre, 56 (49–64) Jahre,  $p < 0,01$ ). (12) In dem gesamten Patient\*innenkollektiv konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den im Krankenhaus verstorbenen Patient\*innen und den überlebenden Patient\*innen hinsichtlich des Alters gezeigt werden. Patient\*innen über 70 Jahren verstarben signifikant häufiger ( $p = 0,009$ ). (64) Die Ergebnisse von vergleichbaren Studien weisen ebenfalls eine bessere Überlebensrate bei jüngeren Patient\*innen nach. Dies kann zum Teil mit einer geringeren Anzahl an Komorbiditäten und Komplikationen erklärt werden. (78, 79) Lee et al. zeigen in ihrer Studie, dass das Alter kein unabhängiger Faktor in Bezug auf das Überleben bei ECMO-Patient\*innen darstellt. (79) Keine Patient\*in in der OHCA-Gruppe hatte bei einem Alter über 70 Jahren überlebt. Zehn Prozent der verstorbenen OHCA-Patient\*innen war älter als 70 Jahre. Andersen et al. sowie Goto et al. stellen dar, dass ein höheres Lebensalter bei OHCA-Patient\*innen mit einer schlechteren Überlebensrate und einem schlechteren neurologischem Outcome einher geht. (80, 81) Auch im IHCA-Kollektiv zeigte sich ein signifikanter Überlebensvorteil für Patient\*innen unter 70 Jahren ( $p = 0,03$ ). (64) Andersen et al. belegen ebenfalls, dass IHCA-Patient\*innen über 70 Jahren eine schlechtere Überlebensrate aufweisen. (2) Auch bei IHCA-Patient\*innen kann davon ausgegangen werden, dass ein höheres Alter mit mehr Komorbiditäten verknüpft ist. (77) Im Bezug auf das Alter lässt sich abschließend festhalten, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen IHCA-Patient\*innen und OHCA-Patient\*innen gab.

Der überwiegende Teil der Patient\*innen (80,3 %) der vorliegenden Dissertation war männlich, was sich mit den Kohorten der Studien zu OHCA von Nehme et al. und Blom et al. deckt. (64, 82, 83) Beim Vergleich der prozentualen Geschlechtsanteile zwischen der IHCA- und der OHCA-Gruppe konnte in dieser Dissertation ein signifikanter Unterschied aufgezeigt werden ( $p < 0,001$ ).

(64) Kagawa et al. zeigen ebenfalls einen signifikanten Unterschied zwischen IHCA-Patient\*innen und OHCA-Patient\*innen, die mit VA-ECMO behandelt wurden, hinsichtlich des Geschlechts auf. (12) Allerdings konnte hinsichtlich der Überlebensrate in beiden Gruppen sowie der Gesamtkohorte kein signifikanter geschlechtsbezogener Unterschied in dieser Dissertation festgestellt werden. (64) Dies deckt sich mit den Ergebnissen der Review-Arbeiten von Andersen et al. und Sandroni et al. zur Überlebensrate von IHCA-Patient\*innen, in welcher ebenfalls kein geschlechtsspezifischer Überlebensvorteil aufgezeigt werden konnte. (2, 40)

Während in der vorliegenden Studie nahezu 25 Prozent der gesamten Kohorte nach einem Herz-Kreislaufstillstand und VA-ECMO-Therapie überlebt haben, liegt die Überlebensrate in der retrospektiven Studie zu Patient\*innen mit VA-ECMO-Therapie auf Grund eines kardiogenen Schocks von Musiał et al. bei 41 Prozent. (84) In einer Multicenterstudie von Dennis et al. aus Australien liegt diese Überlebensrate bei 35 Prozent. Dennis et al. stellen keinen signifikanten Unterschied zwischen Überlebensrate nach einem IHCA und OHCA fest, was auch in dieser Ausarbeitung herausgestellt wurde. Auffällig ist, dass in der australischen Studie die Überlebensrate nach IHCA mit 33 Prozent geringfügig unter jener der OHCA-Patient\*innen liegt (37 %). (85) Dieses Ergebnis weicht von den in der europäischen Literatur sowie in der vorliegenden Arbeit berichteten Daten ab, in denen IHCA-Patient\*innen tendenziell höhere Überlebensraten aufweisen. (11, 64, 86) Dies weist auf eine heterogene Studienlage und mögliche kontextabhängige Einflussfaktoren hin.

In der vorliegenden Dissertation wurde dargelegt, dass insgesamt 38,9 Prozent der Patient\*innen von der ECMO entwöhnt und explantiert werden konnten. Hierbei war ein signifikanter Unterschied zwischen den IHCA-Patient\*innen und OHCA-Patient\*innen festzustellen ( $p=0,05$ ). (64) Deutlich mehr IHCA-Patient\*innen konnten von der ECMO explantiert werden. Haneya et al. kommen in ihrer Studie zu OHCA- und IHCA-Patient\*innen mit VA-ECMO ebenfalls zu dem Ergebnis, dass deutlich mehr IHCA-Patient\*innen von der ECMO explantiert werden konnten. Die schlechtere Weaning-Rate bei den OHCA-Patient\*innen erklären Haneya et al. zum Teil mit der längeren Low-flow-Zeit und somit mit einem schlechteren Outcome. (87)

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit fügen sich methodisch in die aktuellen Publikationen ein, unter anderem dadurch, dass in dieser Studie ausschließlich Patient\*innen in die Studie eingeschlossen wurden, die während des gesamten präklinischen beziehungsweise innerklinischen Verlaufs fortlaufend kardiopulmonal reanimiert wurden und keinen ROSC erreicht hatten. Dies entspricht der gängigen Definition der Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) von eCPR, bei der ein extrakorporales Verfahren ausschließlich bei fortbestehendem Herz- oder Atemstillstand unter laufender kardiopulmonaler Reanimation initiiert wird und ein anhaltender ROSC ohne Thoraxkompressionen über mindestens 20 Minuten vor der ECMO-

Kanülierung ausgeschlossen wird. Dabei ist zu beachten, dass das Outcome von Patient\*innen mit ROSC vor Anschluss an die VA-ECMO ist besser als von Patient\*innen, die bis zum Anschluss an die VA-ECMO fortlaufend kardiopulmonal reanimiert wurden. (64, 88)

Die veröffentlichte, weltweite Rate überlebend das Krankenhaus nach einem OHCA zu verlassen liegt bei 8,8 Prozent. (30) Es konnte dargelegt werden, dass eine in dieser Arbeit gezeigte Überlebensrate von 23,1 Prozent nach OHCA und ECMO-Therapie im oberen Bereich der publizierten Daten liegt, was auf die Erfahrung und Expertise des ECMO-Teams der Universitätsklinik Köln zurückgeführt werden könnte, deren Herz- und Thoraxchirurgie seit 2017 Mitglied der ELSO ist. (72) Die Daten der Liegedauer und Überlebensraten der IHCA-Patient\*innen sind vergleichbar mit einer der größten retrospektiven Studien von IHCA-Patient\*innen und ECMO-Therapie. (89) Weitere Studie von Chen et al. zeigen einen deutlichen Überlebensvorteil bei Patient\*innen die mit einer ECMO behandelt werden, gegenüber Patient\*innen die nach herkömmlicher Methode kardiopulmonal reanimiert werden ( $p= 0,0001$ ). (59) Daraus lässt sich feststellen, dass IHCA-Patient\*innen mit einem Herz-Kreislaufstillstand von einer VA-ECMO-Therapie profitieren können. Die Studie von Shin et al. weisen zudem ein besseres neurologisches Outcome nach zwei Jahren nach eCPR, im Vergleich zur CPR nach. (90) Das Outcome und die Überlebenschance hängt von den Komorbiditäten und dem Grund des Herz-Kreislaufstillstands ab. (89) Um die Überlebenschance besser abschätzen zu können, haben Tonna et al. den RESCUE-Score für Patient\*innen nach einem innerklinischem Herz-Kreislaufstillstand entwickelt. (77) Die Dauer des Krankenhausaufenthalts in der vorliegenden Studie war kürzer als in der vergleichbaren Literatur beschrieben. (59)

Es wurde der Charlson Comorbidity Score und der IHCA-RESCUE-Score erhoben. Es konnte bei beiden Scores keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf das Überleben nachgewiesen werden. Dies kann zum Teil dadurch erklärt werden, dass die retrospektive Datenerhebung in Bezug auf die beiden Scores erschwert war. Die Daten bezüglich der Vorerkrankungen und Komorbiditäten mussten aus bestehenden Arztbriefen übernommen werden. Eine genaue Abgrenzung seit wann die jeweilige Vorerkrankung bei den einzelnen Patient\*innen besteht war erschwert und zum Teil nicht ersichtlich. Somit lässt sich hierzu festhalten, dass diese Scores in Zukunft bei prospektiven Studien eingesetzt werden sollten. Für eine bessere Aussage bezüglich der Scores müssen diese in weiteren Studien reevaluiert werden. Es ist festzuhalten, dass die meisten IHCA-Patient\*innen, dieser Studie postoperativ nach einer Herzoperation eine VA-ECMO bekommen hatten. In einem Versuch von Tonna et al., einen Risikoscore für eCPR bei IHCA zu entwickeln, zeigt sich, dass eine Herzoperation im Hinblick auf das Gesamtüberleben vorteilhaft ist. (77) Der RESCUE-Score bietet ein nützliches Instrument zur frühzeitigen Identifizierung von Hochrisikopatient\*innen. Es sollte dennoch immer individuell entschieden werden, ob für den oder die Patient\*in eine VA-ECMO in Frage kommt. (91)

Die in dieser Dissertation untersuchten Komplikationen waren Ischämien der Extremitäten, aktive Blutung, mit der Anzahl der transfundierten Erythrozytenkonzentraten, gastrointestinale Komplikationen und Nierenversagen mit Dialysepflicht. Es konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Patient\*innengruppen IHCA und OHCA hinsichtlich Nierenversagen mit Dialysepflichtigkeit nachgewiesen werden. Bei 26 Prozent der gesamten Patient\*innen war eine Ischämie der Extremitäten aufgetreten. (64) In der Literatur wird eine heterogene Anteil von zehn bis 70 Prozent der Patient\*innen mit einem Extremitätenischämie als Komplikation der ECMO-Therapie beschrieben. (92) Krasivskyi et al. legen dar, dass Patient\*innen die eine Extremitätenischämie als Komplikation haben, ebenfalls signifikant häufiger an Blutung leiden, als Patient\*innen die keine Extremitätenischämie haben. (93) Bei dem für diese Dissertation untersuchten Patient\*innenkollektiv wurden die meisten Patient\*innen nicht im Operationssaal kanüliert, sondern auf der Intensivstation oder im Herzkatheterlabor. Zudem erfolgte die Kanülierung unter fortlaufender Reanimation, wodurch eine Kanülierung technisch komplexer ist und somit die höhere Rate an Ischämien zum Teil zu erklären ist. Marbach et al. empfehlen das prophylaktische Einsetzen eines distalen Perfusionskatheters, um das Risiko einer Extremitätenischämie zu verkleinern. (94) Der überwiegende Teil der untersuchten Patient\*innen dieser Dissertationsstudie (79,7%) wurden mit einer distalen Beinperfusionskanüle versorgt. (64) Im gesamten Patient\*innenkollektiv hatten insgesamt 63,6 Prozent der Patient\*innen eine aktive Blutung. Es wurden durchschnittlich  $12,2 \pm 13,9$  Erythrozytenkonzentrate pro Patient\*innen transfundiert. (64) Dabei ist hervorzuheben, dass die durchschnittlich zwölf transfundierten Erythrozytenkonzentrate pro Patient\*innen eine verhältnismäßig hohe Transfusionsmenge darstellen und zugleich auf den Ressourcenverbrauch sowie die damit verbundene Belastung des Gesundheitssystems hinweisen. Sy et al. zeigten, dass bei Patient\*innen mit einer ACT kleiner als 180 Sekunden, seltener eine starke Blutung auftrat (13%), als bei Patient\*innen die eine ACT von mehr als 180 Sekunden hatten (28%). (95) 32,2 Prozent der Patient\*innen wurden einer CVVH-Therapie, auf Grund eines akuten Nierenversagen zugeführt. Akutes Nierenversagen mit Dialysepflichtigkeit ist eine häufige Komplikation im Rahmen eines Herz-Kreislaufstillstandes. Verglichen mit der retrospektiven Kohortenstudie von Aubin et al. liegt die Zahl der CVVH-Therapie bei der Dissertationsstudie mit 32,2 Prozent niedriger als bei Aubin et al. mit 46 Prozent. Das akute Nierenversagen mit Indikation zur CVVH-Therapie kann als Ausdruck einer schweren systemischen Hypoperfusion und Multiorganfunktionsstörung infolge des prolongierten Herz-Kreislaufstillstandes oder als Komplikation des VA-ECMO Therapie interpretiert werden. (64, 69)

Pathophysiologisch ist die Niere auf Grund ihres hohen Sauerstoffbedarfs und ihrer ausgeprägten Abhängigkeit von einer stabilen Perfusion besonders vulnerabel gegenüber einer Ischämie, wie sie während No-Flow- und Low-Flow-Phasen bei kardiopulmonalem Stillstand, Reanimation oder

unter nicht-pulsatiler Perfusion während der VA-ECMO auftreten. Die anschließende Reperfusion geht mit oxidativem Stress, endothelialer Dysfunktion und einer ausgeprägten systemischen Inflammationsreaktion einher, die zu mikrovaskulären Störungen und tubulären Zellschäden führen kann. (96, 97) Aus der vorliegenden Literatur geht hervor, dass eine Therapie mit einem Nierenersatzverfahren bei Patient\*innen nach VA-ECMO-Therapie mit einem signifikant schlechteren Überleben einhergeht. (69, 98)

In der Dissertationsstudie war ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den OHCA-Patient\*innen (24,0%) und den IHCA-Patient\*innen (40,7%) in Bezug auf akutes Nierenversagen mit Indikation zur CVVH-Therapie festzustellen ( $p= 0,04$ ). (64). Dies kann unter anderem damit begründet werden, dass IHCA-Patient\*innen in der Regel eine höhere Krankheitsschwere, mehr Komorbiditäten sowie prolongierte Phasen hämodynamischer Instabilität vor VA-ECMO-Therapie aufweisen. Zudem sind IHCA-Patient\*innen häufiger vom Postkardiotomie-Schock, fortgeschrittener Herzinsuffizienz und Multiorganfunktionsstörungen betroffen, welche das Risiko für ein akutes Nierenversagen erhöhen, während OHCA-Patient\*innen oftmals geringere präexistente Organfunktionsstörungen zeigen. (99-102) Um eine schnellstmögliche myokardiale Erholung zu erreichen, sollten Endorganschäden und weitere Komplikationen vermieden werden. Bevor eine VA-ECMO implantiert wird, sollte evaluiert werden welche Komorbiditäten, die die Überlebenschancen beeinträchtigen, vorhanden sind, um das Mortalitätsrisiko individuell abzuschätzen.

Die No-flow-Zeit und die Low-flow-Zeit spielen eine entscheidende Rolle als Prädiktoren für das Überleben. (103) Eine kürzere gesamte Zeit der kardiopulmonalen Reanimation geht mit einer besseren Überlebensrate einher. (59, 69, 86) In der Studie dieser Dissertation wurde aufgezeigt, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen den OHCA-Patient\*innen und den IHCA-Patient\*innen in Bezug auf die Low-flow-Zeit gab. IHCA-Patient\*innen hatten eine kürzere Low-flow-Zeit als die OHCA-Patient\*innen ( $p < 0,001$ ). (64) Des Weiteren wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den im Krankenhaus verstorbenen Patient\*innen und den überlebenden Patient\*innen in Bezug auf die Low-flow-Zeit nachgewiesen. Dieser signifikante Unterschied zeigte sich sowohl in der gesamten Kohorte als auch bei der IHCA- und OHCA-Kohorte (gesamte Kohorte:  $p < 0,001$ , multinominaler  $p$ -Wert 0,005). Auch für die No-flow-Zeit ließen sich signifikante Unterschiede nachweisen. (64) Die Resultate bereits veröffentlichten Studien stehen in Einklang mit den in dieser Arbeit aufgezeigten Ergebnissen. (10, 86) In weiteren publizierten Studien wird gezeigt, dass die Low-flow-Zeit einen erheblichen Einfluss auf das neurologische Outcome hat. (104, 105) Yu et al. berichten, dass bei einer Low-Flow-Zeit von weniger als 30 Minuten günstige neurologische Outcomes (CPC 1–2) in 36,7 Prozent der 18–65-jährigen Patient\*innen erreicht wurden, während dieser Anteil bei Low-Flow-Zeiten größer als 60 Minuten auf 13,0 Prozent sank und bei Patient\*innen älter als 75 Jahre sogar 0 Prozent betrug. (104) In

der Düsseldorfer ECLS-Netzwerkstudie von Aubin et al. zeigte sich, dass bei einer CPR-Dauer  $\leq 45$  Minuten das Überleben und neurologische Outcome weitgehend altersunabhängig waren, während bei prolongierter CPR  $> 45$  Minuten ein junges Alter ( $\leq 43$  Jahre) mit einem deutlichen Überlebensvorteil assoziiert war, wohingegen Patient\*innen älter als 43 Jahre in dieser Konstellation die höchste Mortalität aufwiesen. (69)

Wie in Abbildung 3 dargestellt ist, überlebten die meisten OHCA-Patient\*innen bei eine Low-flow-Zeit von weniger als 60 Minuten. Vergleichbare Beobachtungen konnten bei der No-flow-Zeit und der gesamten Zeit bis zur VA-ECMO-Implantation gemacht werden. Bei beiden Parametern wurde ebenfalls ein signifikanter Unterschied zwischen den überlebenden Patient\*innen und den verstorbenen Patient\*innen nachgewiesen. Die Metaanalyse von Debaty et al. zeigt, dass eine kürzere Low-flow-Zeit einen positiven Einfluss auf das Überleben hat. (106) In der prospektiven Multicenter-Studie von Matsuyama et al. wird ebenso ein besseres neurologisches Outcome (CPC 1-2) bei Patient\*innen mit einer niedrigeren Low-flow-Zeit beschrieben. Hierbei wird zusätzlich ein Zusammenhang zwischen der Low-flow-Zeit und dem initialen Herzrhythmus beobachtet. Patient\*innen mit einem schockbaren Rhythmus und einer geringen Low-flow-Zeit haben ein besseres Überleben, als Patient\*innen mit einem anderen initialen Herzrhythmus. (107)

Bartos et al untersuchen in ihrer retrospektiven Kohortenstudie, den Einfluss der Dauer der kardiopulmonalen Reanimation auf das neurologische Outcome sowie auf metabolische Veränderungen bei OHCA-Patient\*innen mit refraktärem ventrikulärem Kammerflimmern und vergleichen dabei eCPR mit konventioneller CPR. (108) In der Analyse von Bartos et al. zeigte sich in der Subgruppe mit 20–29 Minuten professioneller CPR eine 100-prozentige Rate neurologisch günstigen Überlebens (CPC 1-2) unter eCPR, wohingegen in der Standard-CPR-Gruppe bei vergleichbarer CPR-Dauer deutlich niedrigere Überlebensraten beobachtet wurden. (108) Die Überlebenschancen bei OHCA-Patient\*innen mit einer längeren Zeit als 45 Minuten bis zur ECMO-Implantation sind ungünstig. Dies ist unabhängig davon, ob eine konventionelle CPR oder eine eCPR als Therapie eingesetzt wird. (108, 109) Dennoch zeigt sich, trotz einer Low-flow-Zeit von über 60 Minuten, ein vergleichsweise besseres neurologisches Outcome bei Patient\*innen, die mit der eCPR behandelt werden. (108)

In dieser Dissertation zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Low-flow-Zeit der OHCA-Patient\*innen ( $63,6 \pm 25,1$  Minuten) und den IHCA Patient\*innen ( $41,1 \pm 27,4$  Minuten) ( $p < 0,001$ ). (64) Bartos et al. beschreiben eine vergleichbare durchschnittliche Low-flow-Zeit ( $60 \pm 1$  Minuten) in der eCPR-Kohorte bei OHCA-Patient\*innen. (108) Wengenmayer et al. können ebenfalls einen statistisch signifikanten Unterschied der Low-flow-Zeit bei eCPR zwischen OHCA- Patient\*innen ( $72,2 \pm 7,4$ ) und IHCA-Patient\*innen ( $49,6 \pm 5,9$ ) ( $p = 0,001$ )

aufzeigen. (86) Zudem konnte in dieser Dissertation einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den überlebenden Patient\*innen ( $43,6 \pm 22,4$  Minuten) und den verstorbenen Patient\*innen ( $60,6 \pm 28,1$  Minuten) ( $p < 0,001$ ) bei der gesamten Kohorte festgestellt werden. (64) Die Low-flow-Zeit stellt folglich einen entscheidenden prognostischen Faktor dar, da mit zunehmender Dauer der kardiopulmonalen Reanimation ein kontinuierlicher Rückgang des günstigen neurologischen Outcomes (CPC 1-2) einhergeht. Daher sollte die Low-flow-Zeit konsequent minimiert werden, beispielsweise durch frühzeitige Identifikation refraktärer Reanimation und eine rasche Initiierung von eCPR mittels strukturierter (prä)hospitaler Selektions- und Transportprotokolle.

In dieser Dissertation zeigte sich ebenfalls ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Überlebenden ( $1,5 \pm 2,3$  Minuten) und den verstorbenen Patient\*innen ( $3,8 \pm 5,4$ ) ( $p = 0,04$ ) in Bezug auf die No-flow-Zeit bei den OHCA-Patient\*innen. Insgesamt waren 86,9 Prozent der OHCA beobachtete Herz-Kreislaufstillstände. In dieser Dissertation wurde nicht erhoben, wie viele Patient\*innen laienreanimiert wurden. (64) Guy et al. konnten in ihrer retrospektive Sekundäranalyse prospektiv erhobener, multizentrischer Registerdaten des Resuscitation Outcomes Consortium zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit eines günstigen neurologischen Outcomes mit jeder zusätzlichen No-flow-Minute um 13 % abnimmt. (110) Diese Ergebnisse und die Ergebnisse dieser Dissertation unterstreichen, dass die No-flow-Zeit ein limitierender Faktor für die prinzipielle Reversibilität der bei No-flow-Zeit entstehenden hypoxisch-ischämischen Hirnschädigung ist. Daher sollte diese ein zentrales Einschlusskriterium darstellen.

Zur Reduktion der Low-flow- und No-flow-Zeit wird eine bessere Aufklärung der Bevölkerung über Herz-Kreislaufstillstände empfohlen. Von hoher Bedeutung ist, dass Personen, die einen Herz-Kreislaufstillstand beobachten, diesen erkennen und unmittelbar den Rettungsdienst alarmieren. Zudem sollte die beobachtende Person mit einer kardiopulmonalen Reanimation beginnen, womit die No-flow-Zeit reduziert werden kann. Um eine optimale kardiopulmonale Reanimation zu erreichen, kann gegebenenfalls eine telefonische Anleitung der Leitstelle hilfreich sein. (111, 112) Für die Verbesserung der Aufklärung, laufen in Deutschland bereits Programme in Schulen um Schüler\*innen und Lehrer\*innen die kardiopulmonale Reanimation beizubringen und die Hürde diese im Notfall zu beginnen, zu minimieren. (113)

Bei den IHCA-Patient\*innen lag bezüglich ihrer Überlebenschance ebenfalls ein signifikanter Unterschied in der Low-flow-Zeit vor. Die No-flow-Zeit war bei allen IHCA-Patient\*innen nicht angegeben oder sie wurden unmittelbar reanimiert. Die Low-flow-Zeit war bei den überlebenden Patient\*innen signifikant kürzer als bei den verstorbenen Patient\*innen ( $p = 0,03$ , multinominale  $p$ -Wert 0,02). Die Daten der kardiopulmonalen Reanimation bis zur ECMO-Implantation zeigten ein ähnliches Signifikanzniveau wie die zuvor beschriebenen Ergebnisse. Knapp 80 Prozent der

überlebenden IHCA-Patient\*innen hatten eine Low-flow-Zeit von weniger als 30 Minuten. Das entsprach 22,7 Prozent aller IHCA-Patient\*innen. (64) Vergleichbare IHCA-Daten gehen aus einer japanischen Studie von Ohbe et al. hervor. (114) In der Metaanalyse von D'Arrigo et al. haben die überlebenden IHCA-Patient\*innen eine Low-flow-Zeit von  $28,7 \pm 4,1$  Minuten. (115) Diese ist somit länger als die Low-flow-Zeit der überlebenden IHCA-Patient\*innen, die an der Universität zu Köln behandelt wurden.

Die häufigste zu Grunde liegende Ätiologie für den Herz-Kreislaufstillstand bei OHCA-Patient\*innen ist in vergleichbaren Studien das akute Koronarsyndrom. (116) Diese Daten decken sich mit den für diese Dissertation gesammelten Daten. (64) In der IHCA-Studie von Chen et al. überleben Patient\*innen mit einem akuten Koronarsyndrom seltener im Vergleich, zu Patient\*innen mit anderen Ursachen für den Herz-Kreislaufstillstand. (89) Diese Daten decken sich mit den Daten dieser Arbeit in Bezug auf die IHCA-Patient\*innen. (64) Yannopoulos et al. zeigen, dass ein Myokardinfarkt ein Zustand ist, der nachweislich von einer eCPR und frühzeitigen Revaskularisierung profitiert. (117, 118) Daraus kann geschlossen werden, dass es wichtig ist die Ursache des Herz-Kreislaufstillstandes schnell zu diagnostizieren, um die Patient\*innen ursachenspezifisch und individuell behandeln zu können. In dieser Dissertation zeigte sich zudem bei den OHCA-Patient\*innen ( $4380 \pm 6600$ ) bei Aufnahme ein signifikant höherer CK-Wert im Vergleich zu IHCA-Patient\*innen ( $2169 \pm 3540$ ), was als Hinweis auf eine höhere Prävalenz myokardialer Ischämieereignisse interpretiert werden kann ( $p= 0,02$ ). Weitergehende kausale Schlussfolgerungen lassen sich auf Basis der vorliegenden Daten jedoch nicht ableiten. (64)

In der initialen Labordiagnostik ließen sich drei wesentliche Unterschiede zwischen den beiden Patient\*innen Gruppen feststellen. Zum einen war der pH-Wert bei den OHCA-Patient\*innen signifikant niedriger als bei den IHCA-Patient\*innen ( $p= 0,008$ ). Zum anderen waren der Hämoglobin-Wert (Hb-Wert) und die CK bei Aufnahme bei den OHCA-Patient\*innen signifikant höher als bei den IHCA-Patient\*innen (Hb  $p= 0,04$ ; CK  $p= 0,02$ ). (64) Im Vergleich zwischen den überlebenden Patient\*innen und den verstorbenen Patient\*innen zeigten in allen drei Gruppen ähnliche Beobachtungen. Es ließ sich ein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Laktatwerts vor der Implantation sowie ein signifikanter Unterschied hinsichtlich des  $pO_2$ -Werts nachweisen. OHCA-Patient\*innen hatten eine nachgewiesene längere Low-flow-Zeit als IHCA-Patient\*innen und somit eine längere Zeit, in welcher der Organismus nicht adäquat durchblutet wurde. Daraus lässt sich schließen, dass die längere Gewebhypoxie bei den OHCA-Patient\*innen zu einer azidotischeren Stoffwechsellage und somit zu einem niedrigeren pH-Wert führt. Die niedrigeren Hb-Werte der IHCA-Patient\*innen lassen sich zum Teil auf die Komorbiditäten beziehungsweise auf die eventuell bereits vor dem Herz-Kreislaufstillstand durchgeführten medizinischen Maßnahmen zurückführen. Des Weiteren ist das neurologische Outcome nach Herz-

Kreislaufstillstand besser, wenn die Patient\*innen bei der Aufnahme einen niedrigeren Laktatwert haben. (106, 119-123) Sowohl bei der Gesamtkohorte, als auch bei den zwei untersuchten Gruppen, IHCA- und OHCA-Patient\*innen, konnte ein signifikant höherer Sauerstoffpartialdruck in der Blut-Gas-Analyse vor ECMO-Implantation bei den überlebenden Patient\*innen im Vergleich zu den verstorbenen Patient\*innen gezeigt werden ( $p=0,05$ ). (64) Der  $pO_2$ -Wert kann somit auf eine Hypoxie beziehungsweise eine Hyperoxie hinweisen. (124) Der niedrige  $pO_2$ -Wert bei den verstorbenen Patient\*innen deutet auf eine Hypoxie und somit auf Organschäden hin. Es ist davon auszugehen, dass Patient\*innen, die bereits vor der ECMO-Implantation einen niedrigen  $pO_2$ -Wert haben und somit eventuell bereits Organschäden haben, eine schlechtere Ausgangslage haben und mit einer schlechteren Überlebenschance einhergehen. Richardson et al. zeigen ebenfalls in ihrer Multicenter-Studie einen signifikanten Unterschied zwischen dem  $pO_2$ -Wert der überlebenden Patient\*innen und der verstorbenen Patient\*innen. Hierbei liegt der  $pO_2$ -Wert bei den überlebenden Patient\*innen signifikant höher als bei den verstorbenen Patient\*innen. (125) Bartos et al. beschreiben in ihrer Studie, dass Patient\*innen mit einem höheren  $pO_2$ -Wert ein besseres neurologisches Outcome haben. (108) Ziel ist es eine Hypoxie zu vermeiden. Dies kann zum Teil durch eine adäquate kardiopulmonale Reanimation vor ECMO-Implantation erreicht werden. Um diese kardiopulmonale Reanimation zu verbessern, sollten regelmäßig Schulungen und Fortbildungen sowohl für das Krankenhauspersonal als auch für Menschen ohne Bezug zu Berufen im Gesundheitssektor, angeboten werden.

Der initiale Rhythmus spielt eine entscheidende Rolle in Bezug auf das Überleben. Patient\*innen mit einer VT oder einer VF haben eine bessere Prognose. (126) Insgesamt hatten 59,5 Prozent der gesamten Patient\*innen dieser Studie einen initial schockbaren Herzrhythmus. OHCA-Patient\*innen hatten signifikant häufiger einen schockbaren Rhythmus im Vergleich zu den IHCA-Patient\*innen ( $p=0,04$ ). (64) Des Weiteren konnte in der gesamten Kohorte gezeigt werden, dass eine Asystolie signifikant nachteilig in Bezug auf das Überleben war ( $p=0,01$ ). In der IHCA-Gruppe zeigte sich ein signifikanter Unterschied hinsichtlich eines schockbaren Herzrhythmus und des Überlebens. ( $p=0,05$ ). (64) Der pathophysiologische Unterschied zwischen schockbaren und nicht-schockbaren Herzrhythmen beruht darauf, dass schockbare Rhythmen typischerweise aus einer akuten elektrischen Instabilität des Myokards entstehen, die häufig ischämie- oder infarktbedingt ist und eine Grundlage für eine Reentry-Arrhythmien sind. Diese können durch eine oder mehrfache Defibrillation beendet werden, wodurch die geordnete elektrische Aktivität und damit eine koordinierte mechanische Kontraktilität potenziell wiederhergestellt werden kann. (2, 38, 127, 128) Wang et al. zeigen in ihrer Studie ebenfalls, dass sowohl bei OHCA-Patient\*innen, als auch bei IHCA-Patient\*innen, eine Asystolie oder eine PEA, als initialer Rhythmus mit einer erhöhten Mortalitätsrate verbunden ist. (10) In der Metanalyse von Debaty et al. wird dargelegt, dass OHCA-Patient\*innen, die mit einer ECMO behandelt wurden, ein besseres Outcome haben,

wenn ihr initialer Rhythmus ein schockbarer Rhythmus ist. (106) Belohlavek et al. und Sakamoto et al. weisen in ihren Studien ein besseres neurologisches Outcome nach ECMO-Therapie bei OHCA-Patient\*innen mit einem schockbaren Herzrhythmus nach. (4, 109) Es liegen vergleichbare Ergebnisse aus Studien für IHCA-Patient\*innen vor. (115, 129, 130)

## **5.1 Ergebnisse im Verlauf des Untersuchungszeitraums**

Im Folgenden wird auf die Ergebnisse und die Überlebenschance im Verlauf des Untersuchungszeitraum eingegangen. Bei Vernachlässigung des nicht vollständig erfassten Jahres 2022, sind in den Jahren 2016 und 2017 prozentual die meisten Patient\*innen verstorben. Es zeigt sich eine leichte Verbesserung der Überlebensrate im Verlauf des Untersuchungszeitraumes, auch 2018 das Jahr mit der höchsten Überlebensrate war. Diese Tendenz kann sowohl mit dem Fortschritt und der Technik der Medizin als auch mit der zunehmenden Erfahrung des Teams an der Universitätsklinik Köln erklärt werden, bedarf jedoch einer längerfristigen Betrachtung durch weiterführende Studien.

## **5.2 Limitationen**

Es handelt sich um eine retrospektive Studie, mit limitierter Aussagekraft. Vor allem die Datenerhebung war zum Teil erschwert auf Grund der Tatsache, dass ein Großteil der Patient\*innen verstorben war und bezog sich deshalb vor allem auf Arztbriefe, Notarztprotokolle oder Stationsprotokolle. Zudem wurden bei dieser Studie nur Patient\*innen betrachtet, welche unter fortlaufender Herzdruckmassage an die VA-ECMO angeschlossen wurden. Ein weiterer limitierender Aspekt besteht in der Zusammensetzung der Studienkohorte, da ein erheblicher Anteil der IHCA-Patient\*innen aus dem herzchirurgischen Umfeld stammte. Hierdurch können sich die strukturellen und klinischen Ausgangsbedingungen von anderen IHCA-Subgruppen unterscheiden, was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse potenziell beeinflussen kann. Abschließend kann angeführt werden, dass kein Langzeit Outcome untersucht wurde, wozu Follow-up-Daten der Patient\*innen notwendig gewesen wären. Hierfür können die vorliegenden Daten und diese Studie als Grundlage für weiterführende Forschung dienen.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Grasner JT, Herlitz J, Tjelmeland IBM, Wnent J, Masterson S, Lilja G, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Epidemiology of cardiac arrest in Europe. *Resuscitation*. 2021;161:61-79.
2. Andersen LW, Holmberg MJ, Berg KM, Donnino MW, Granfeldt A. In-Hospital Cardiac Arrest: A Review. *JAMA*. 2019;321(12):1200-10.
3. Soar J, Bottiger BW, Carli P, Couper K, Deakin CD, Djarv T, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Adult advanced life support. *Resuscitation*. 2021;161:115-51.
4. Belohlavek J, Yannopoulos D, Smalcova J, Rob D, Bartos J, Huptych M, et al. Intraarrest transport, extracorporeal cardiopulmonary resuscitation, and early invasive management in refractory out-of-hospital cardiac arrest: an individual patient data pooled analysis of two randomised trials. *EClinicalMedicine*. 2023;59:101988.
5. Yannopoulos D, Bartos J, Raveendran G, Walser E, Connett J, Murray TA, et al. Advanced reperfusion strategies for patients with out-of-hospital cardiac arrest and refractory ventricular fibrillation (ARREST): a phase 2, single centre, open-label, randomised controlled trial. *Lancet*. 2020;396(10265):1807-16.
6. Belohlavek J, Smalcova J, Rob D, Franek O, Smid O, Pokorna M, et al. Effect of Intra-arrest Transport, Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation, and Immediate Invasive Assessment and Treatment on Functional Neurologic Outcome in Refractory Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2022;327(8):737-47.
7. Fischer M, Wnent J, Gräsner J-T, Seewald S, Brenner S, Bein B, et al. Öffentlicher Jahresbericht 2022 des Deutschen Reanimationsregisters: Außerklinische Reanimation 2022. 2023.
8. Seewald S, Brenner S, Fischer M, Gräsner J-T, Wnent J, Ristau P, et al. Öffentlicher Jahresbericht 2022 des Deutschen Reanimationregisters: Innerklinische Reanimation 2022. 2023.
9. Gaisendrees C, Walter S, Sabashnikov A, Adler C, Wahlers T. Die extrakorporale kardiopulmonale Reanimation für die Behandlung des außerklinischen Herz-Kreislauf-Stillstands. *Anaesthesist*. 2022;71(5):392-9.
10. Wang CH, Chou NK, Becker LB, Lin JW, Yu HY, Chi NH, et al. Improved outcome of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest--a comparison with that for extracorporeal rescue for in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 2014;85(9):1219-24.
11. Avalli L, Maggioni E, Formica F, Redaelli G, Migliari M, Scanziani M, et al. Favourable survival of in-hospital compared to out-of-hospital refractory cardiac arrest patients treated with

extracorporeal membrane oxygenation: an Italian tertiary care centre experience. *Resuscitation*. 2012;83(5):579-83.

12. Kagawa E, Inoue I, Kawagoe T, Ishihara M, Shimatani Y, Kurisu S, et al. Assessment of outcomes and differences between in- and out-of-hospital cardiac arrest patients treated with cardiopulmonary resuscitation using extracorporeal life support. *Resuscitation*. 2010;81(8):968-73.

13. Wallmuller C, Stratil P, Schober A. [Technical assist devices : Perspectives and new developments]. *Med Klin Intensivmed Notfmed*. 2016;111(8):688-94.

14. Safar P, Tisherman S. Trauma resuscitation what have we learned in the last 50 years? 2003.

15. Gaisendrees C, Pooth JS, Luehr M, Sabashnikov A, Yannopoulos D, Wahlers T. Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation. *Dtsch Arztebl Int*. 2023;120(42):703-10.

16. Jiang L, Zhang JS. Mechanical cardiopulmonary resuscitation for patients with cardiac arrest. *World J Emerg Med*. 2011;2(3):165-8.

17. Hoybye M, Stankovic N, Holmberg M, Christensen HC, Granfeldt A, Andersen LW. In-Hospital vs. Out-of-Hospital Cardiac Arrest: Patient Characteristics and Survival. *Resuscitation*. 2021;158:157-65.

18. Katritsis DG, Gersh BJ, Camm AJ. A Clinical Perspective on Sudden Cardiac Death. *Arrhythm Electrophysiol Rev*. 2016;5(3):177-82.

19. Adabag AS, Luepker RV, Roger VL, Gersh BJ. Sudden cardiac death: epidemiology and risk factors. *Nat Rev Cardiol*. 2010;7(4):216-25.

20. Israel CW. Mechanisms of sudden cardiac death. *Indian Heart J*. 2014;66 Suppl 1(Suppl 1):S10-7.

21. Köhler J. EKG-Grundlagenwissen : Monitoring Auf Überwachungsstationen Und -Bereichen. Stuttgart, GERMANY: Kohlhammer Verlag; 2021.

22. Soar J, Nolan JP, Bottiger BW, Perkins GD, Lott C, Carli P, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 3. Adult advanced life support. *Resuscitation*. 2015;95:100-47.

23. Olasveengen TM, Semeraro F, Ristagno G, Castren M, Handley A, Kuzovlev A, et al. [Basic life support]. *Notf Rett Med*. 2021;24(4):386-405.

24. Cheskes S, Drennan IR. No flow time, bystander low flow time and EMS system response time: Are we looking at two sides of the same coin? *Resuscitation*. 2021;167:412-3.

25. Tanguay-Rioux X, Grunau B, Neumar R, Tallon J, Boone R, Christenson J. Is initial rhythm in OHCA a predictor of preceding no flow time? Implications for bystander response and ECPR candidacy evaluation. *Resuscitation*. 2018;128:88-92.

26. Adnet F, Triba MN, Borron SW, Lapostolle F, Hubert H, Gueugniaud PY, et al. Cardiopulmonary resuscitation duration and survival in out-of-hospital cardiac arrest patients. *Resuscitation*. 2017;111:74-81.
27. Soar J, Bottiger BW, Carli P, Jimenez FC, Cimpoesu D, Cole G, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2025 Adult Advanced Life Support. *Resuscitation*. 2025;215 Suppl 1:110769.
28. Martens E, Sinner MF, Siebermair J, Raufhake C, Beckmann BM, Veith S, et al. Incidence of sudden cardiac death in Germany: results from an emergency medical service registry in Lower Saxony. *Europace*. 2014;16(12):1752-8.
29. Shinar Z, Grunau B. ECPR for in- and out-of-hospital cardiac arrest: Siblings or distant cousins? *Resuscitation*. 2022;171:105-6.
30. Yan S, Gan Y, Jiang N, Wang R, Chen Y, Luo Z, et al. The global survival rate among adult out-of-hospital cardiac arrest patients who received cardiopulmonary resuscitation: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 2020;24(1):61.
31. Gräsner J-T, Herlitz J, Tjelmeland IBM, Wnent J, Masterson S, Lilja G, et al. Epidemiologie des Kreislaufstillstands in Europa. *Notfall + Rettungsmedizin*. 2021;24(4):346-66.
32. Neukamm J, Grasner JT, Schewe JC, Breil M, Bahr J, Heister U, et al. The impact of response time reliability on CPR incidence and resuscitation success: a benchmark study from the German Resuscitation Registry. *Crit Care*. 2011;15(6):R282.
33. Fischer M, Wnent J, Gräsner J-T, Seewald S, Brenner S, Bein B, et al. Jahresbericht des Deutschen Reanimationsregisters Außerklinische Reanimation 2021 *Anesthesiologie und Intensivmedizin* 2022;63:116-22.
34. Fischer M, Wnent J, Gräsner J-T, Seewald S, Brenner S, Jantzen T, et al. Öffentlicher Jahresbericht 2019 des Deutschen Reanimationsregisters: Außerklinische Reanimation 2019. 2020.
35. Grasner JT, Wnent J, Herlitz J, Perkins GD, Lefering R, Tjelmeland I, et al. Survival after out-of-hospital cardiac arrest in Europe - Results of the EuReCa TWO study. *Resuscitation*. 2020;148:218-26.
36. Grasner JT, Meybohm P, Lefering R, Wnent J, Bahr J, Messelken M, et al. ROSC after cardiac arrest--the RACA score to predict outcome after out-of-hospital cardiac arrest. *Eur Heart J*. 2011;32(13):1649-56.
37. Berdowski J, Berg RA, Tijssen JG, Koster RW. Global incidences of out-of-hospital cardiac arrest and survival rates: Systematic review of 67 prospective studies. *Resuscitation*. 2010;81(11):1479-87.
38. Myat A, Song KJ, Rea T. Out-of-hospital cardiac arrest: current concepts. *Lancet*. 2018;391(10124):970-9.

39. Sasson C, Rogers MA, Dahl J, Kellermann AL. Predictors of survival from out-of-hospital cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*. 2010;3(1):63-81.
40. Sandroni C, Nolan J, Cavallaro F, Antonelli M. In-hospital cardiac arrest: incidence, prognosis and possible measures to improve survival. *Intensive Care Med*. 2007;33(2):237-45.
41. Michels G, Wengenmayer T, Hagl C, Dohmen C, Bottiger BW, Bauersachs J, et al. Recommendations for extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (eCPR): consensus statement of DGIIN, DGK, DGTHG, DGfK, DGNI, DGAI, DIVI and GRC. *Clin Res Cardiol*. 2019;108(5):455-64.
42. Seewald S, Brenner S, Fischer M, Gräsner J-T, Wnent J, Ristau P, et al. Öffentlicher Jahresbericht 2021 des Deutschen Reanimationsregisters: Innerklinische Reanimation 2021. 2022.
43. Nolan JP, Berg RA, Andersen LW, Bhanji F, Chan PS, Donnino MW, et al. Cardiac Arrest and Cardiopulmonary Resuscitation Outcome Reports: Update of the Utstein Resuscitation Registry Template for In-Hospital Cardiac Arrest: A Consensus Report From a Task Force of the International Liaison Committee on Resuscitation (American Heart Association, European Resuscitation Council, Australian and New Zealand Council on Resuscitation, Heart and Stroke Foundation of Canada, InterAmerican Heart Foundation, Resuscitation Council of Southern Africa, Resuscitation Council of Asia). *Resuscitation*. 2019;144:166-77.
44. Krenner N. ECMO Leitlinie am Beispiel des Kepler Universitätsklinikums: 1. Auflage: Lulu.com; 2022.
45. Pavlushkov E, Berman M, Valchanov K. Cannulation techniques for extracorporeal life support. *Ann Transl Med*. 2017;5(4):70.
46. Lim HS, Howell N, Ranasinghe A. Extracorporeal Life Support: Physiological Concepts and Clinical Outcomes. *J Card Fail*. 2017;23(2):181-96.
47. Baran DA. Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO) and the Critical Cardiac Patient. *Curr Transplant Rep*. 2017;4(3):218-25.
48. Teijeiro-Paradis R, Del Sorbo L. VV-ECMO in severe COVID-19: multidimensional perspectives on the use of a complex treatment. *Lancet Respir Med*. 2023;11(2):113-5.
49. Mahboub-Ahari A, Heidari F, Sadeghi-Ghyassi F, Asadi M. A systematic review of effectiveness and economic evaluation of Cardiohelp and portable devices for extracorporeal membrane oxygenation (ECMO). *J Artif Organs*. 2019;22(1):6-13.
50. Allen S, Holena D, McCunn M, Kohl B, Sarani B. A review of the fundamental principles and evidence base in the use of extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) in critically ill adult patients. *J Intensive Care Med*. 2011;26(1):13-26.
51. Betit P. Technical Advances in the Field of ECMO. *Respiratory Care*. 2018;63(9):1162-73.

52. Beckmann A, Benk C, Beyersdorf F, Haimerl G, Merkle F, Mestres C, et al. Position article for the use of extracorporeal life support in adult patients. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2011;40(3):676-80.
53. Sardinha LB, Silva AM, Minderico CS, Teixeira PJ. Effect of body surface area calculations on body fat estimates in non-obese and obese subjects. *Physiol Meas.* 2006;27(11):1197-209.
54. Jayaraman A, Cormican D, Shah P, Ramakrishna H. Cannulation strategies in adult veno-arterial and veno-venous extracorporeal membrane oxygenation: Techniques, limitations, and special considerations. *Annals of Cardiac Anaesthesia.* 2017;20(5).
55. Murphy DA, Hockings LE, Andrews RK, Aubron C, Gardiner EE, Pellegrino VA, et al. Extracorporeal membrane oxygenation-hemostatic complications. *Transfus Med Rev.* 2015;29(2):90-101.
56. Abrams D, MacLaren G, Lorusso R, Price S, Yannopoulos D, Vercaemst L, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in adults: evidence and implications. *Intensive Care Med.* 2022;48(1):1-15.
57. Bougouin W, Dumas F, Lamhaut L, Marijon E, Carli P, Combes A, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest: a registry study. *Eur Heart J.* 2020;41(21):1961-71.
58. Teschendorf P, Bernhard M. A bridge to life: ECPR who, when, where and why? *Resuscitation.* 2014;85(6):709-10.
59. Chen YS, Lin JW, Yu HY, Ko WJ, Jerng JS, Chang WT, et al. Cardiopulmonary resuscitation with assisted extracorporeal life-support versus conventional cardiopulmonary resuscitation in adults with in-hospital cardiac arrest: an observational study and propensity analysis. *Lancet.* 2008;372(9638):554-61.
60. David S, Napp LC, Kuhn C, Hoepfer MM. Extrakorporale Membranoxygenierung: Prinzipien und internistische Indikationen. *Internist (Berl).* 2016;57(9):856-63.
61. Lusebrink E, Binzenhofer L, Kellnar A, Muller C, Scherer C, Schrage B, et al. Venting during venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. *Clin Res Cardiol.* 2023;112(4):464-505.
62. Napp LC, Kuhn C, Bauersachs J. ECMO in cardiac arrest and cardiogenic shock. *Herz.* 2017;42(1):27-44.
63. Seib PM, Faulkner SC, Erickson CC, Van Devanter SH, Harrell JE, Fasules JW, et al. Blade and balloon atrial septostomy for left heart decompression in patients with severe ventricular dysfunction on extracorporeal membrane oxygenation. *Catheterization and Cardiovascular Interventions.* 1999;46(2):179-86.
64. Gaisendrees C, Schlachtenberger G, Müller L, Jaeger D, Djordjevic I, Krasivskyi I, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for in- and out-of-hospital cardiac arrest: The race against time. *Resusc Plus.* 2024;18:100613.

65. Kumar KM. ECPR-extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. *Indian J Thorac Cardiovasc Surg.* 2021;37(Suppl 2):294-302.
66. Lotz C, Muellenbach RM. Extrakorporale Membranoxygenierung. *Anästh Intensivmed.* 2018;59:316-25.
67. Kellnar A, Naumann D, Scherer C, Lusebrink E, Joskowiak D, Peterss S, et al. Aortic arch blood flow measurements as a predictor of successful ECMO weaning in cardiogenic shock. *Heliyon.* 2024;10(5):e26773.
68. Ortuno S, Delmas C, Diehl JL, Bailleul C, Lancelot A, Naili M, et al. Weaning from veno-arterial extra-corporeal membrane oxygenation: which strategy to use? *Ann Cardiothorac Surg.* 2019;8(1):E1-E8.
69. Aubin H, Petrov G, Dalyanoglu H, Saeed D, Akhyari P, Paprotny G, et al. A Suprainstitutional Network for Remote Extracorporeal Life Support: A Retrospective Cohort Study. *JACC Heart Fail.* 2016;4(9):698-708.
70. Suverein MM, Delnoij TSR, Lorusso R, Brandon Bravo Bruinsma GJ, Otterspoor L, Elzo Kraemer CV, et al. Early Extracorporeal CPR for Refractory Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *N Engl J Med.* 2023;388(4):299-309.
71. Lorusso R, Barili F, Mauro MD, Gelsomino S, Parise O, Rycus PT, et al. In-Hospital Neurologic Complications in Adult Patients Undergoing Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation: Results From the Extracorporeal Life Support Organization Registry. *Crit Care Med.* 2016;44(10):e964-72.
72. Djordjevic I. ECMO-Transport-Programm an der Uniklinik Köln Köln Universitätsklinikum Köln 2025 [cited 2025 01.03]. Available from: <https://herzchirurgie.uk-koeln.de/erkrankungen-therapien/ecmo/>.
73. Jonsson H, Piscator E, Boström A-M, Djärv T. Neurological function before and after an in-hospital cardiac arrest – A nationwide registry-based cohort study. *Resuscitation.* 2024;201.
74. Uehara K, Tagami T, Hyodo H, Takagi G, Ohara T, Yasutake M. The ABC (Age, Bystander, and Cardiogram) score for predicting neurological outcomes of cardiac arrests without pre-hospital return of spontaneous circulation: A nationwide population-based study. *Resuscitation Plus.* 2024;19.
75. Charlson ME, Carrozzino D, Guidi J, Patierno C. Charlson Comorbidity Index: A Critical Review of Clinimetric Properties. *Psychother Psychosom.* 2022;91(1):8-35.
76. Calc M. Charlson Comorbidity Index (CCI) 2024 [cited 2025]. Available from: <https://www.mdcalc.com/calc/3917/charlson-comorbidity-index-cci#evidence>.
77. Tonna JE, Selzman CH, Girotra S, Presson AP, Thiagarajan RR, Becker LB, et al. Resuscitation Using ECPR During In-Hospital Cardiac Arrest (RESCUE-IHCA) Mortality Prediction Score and External Validation. *JACC Cardiovasc Interv.* 2022;15(3):237-47.

78. Cardarelli MG, Young AJ, Griffith B. Use of extracorporeal membrane oxygenation for adults in cardiac arrest (E-CPR): a meta-analysis of observational studies. *ASAIO J.* 2009;55(6):581-6.
79. Lee SN, Jo MS, Yoo KD. Impact of age on extracorporeal membrane oxygenation survival of patients with cardiac failure. *Clin Interv Aging.* 2017;12:1347-53.
80. Andersen LW, Bivens MJ, Giberson T, Giberson B, Mottley JL, Gautam S, et al. The relationship between age and outcome in out-of-hospital cardiac arrest patients. *Resuscitation.* 2015;94:49-54.
81. Goto T, Morita S, Kitamura T, Natsukawa T, Sawano H, Hayashi Y, et al. Impact of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation on outcomes of elderly patients who had out-of-hospital cardiac arrests: a single-centre retrospective analysis. *BMJ Open.* 2018;8(5):e019811.
82. Nehme Z, Andrew E, Bernard S, Smith K. Sex differences in the quality-of-life and functional outcome of cardiac arrest survivors. *Resuscitation.* 2019;137:21-8.
83. Blom MT, Oving I, Berdowski J, van Valkengoed IGM, Bardai A, Tan HL. Women have lower chances than men to be resuscitated and survive out-of-hospital cardiac arrest. *Eur Heart J.* 2019;40(47):3824-34.
84. Musial R, Moncznik P, Smialek P, Stolinski J, Sadowski J, Drwila R. Veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation for short-term mechanical circulation support in adults with cardiogenic shock: a single centre experience. *Kardiol Pol.* 2016;74(12):1477-84.
85. Dennis M, McCanny P, D'Souza M, Forrest P, Burns B, Lowe DA, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for refractory cardiac arrest: A multicentre experience. *Int J Cardiol.* 2017;231:131-6.
86. Wengenmayer T, Rombach S, Ramshorn F, Biever P, Bode C, Duerschmied D, et al. Influence of low-flow time on survival after extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (eCPR). *Crit Care.* 2017;21(1):157.
87. Haneya A, Philipp A, Diez C, Schopka S, Bein T, Zimmermann M, et al. A 5-year experience with cardiopulmonary resuscitation using extracorporeal life support in non-postcardiotomy patients with cardiac arrest. *Resuscitation.* 2012;83(11):1331-7.
88. Organization ELS. ELSO Registry ECPR Addenda Data Definitions. 2025.
89. Chen YS, Yu HY, Huang SC, Lin JW, Chi NH, Wang CH, et al. Extracorporeal membrane oxygenation support can extend the duration of cardiopulmonary resuscitation. *Crit Care Med.* 2008;36(9):2529-35.
90. Shin TG, Jo IJ, Sim MS, Song YB, Yang JH, Hahn JY, et al. Two-year survival and neurological outcome of in-hospital cardiac arrest patients rescued by extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. *Int J Cardiol.* 2013;168(4):3424-30.
91. Yannopoulos D, Bartos JA. The Tool Is Only as Good as the Person Who Wields It. *JACC Cardiovasc Interv.* 2022;15(3):248-50.

92. Bonicolini E, Martucci G, Simons J, Raffa GM, Spina C, Lo Coco V, et al. Limb ischemia in peripheral veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation: a narrative review of incidence, prevention, monitoring, and treatment. *Crit Care*. 2019;23(1):266.
93. Krasivskyi I, Grossmann C, Dechow M, Djordjevic I, Ivanov B, Gerfer S, et al. Acute Limb Ischaemia during ECMO Support: A 6-Year Experience. *Life (Basel)*. 2023;13(2).
94. Marbach JA, Faugno AJ, Pacifici S, Chweich H, Marbach JK, Rabinowitz JB, et al. Strategies to reduce limb ischemia in peripheral venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: A systematic review and Meta-analysis. *Int J Cardiol*. 2022;361:77-84.
95. Sy E, Sklar MC, Lequier L, Fan E, Kanji HD. Anticoagulation practices and the prevalence of major bleeding, thromboembolic events, and mortality in venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: A systematic review and meta-analysis. *J Crit Care*. 2017;39:87-96.
96. Chen YC, Tsai FC, Fang JT, Yang CW. Acute kidney injury in adults receiving extracorporeal membrane oxygenation. *J Formos Med Assoc*. 2014;113(11):778-85.
97. Gu M, Mei XL, Zhao YN. A review on extracorporeal membrane oxygenation and kidney injury. *J Biochem Mol Toxicol*. 2021;35(3):e22679.
98. Combes A, Leprince P, Luyt CE, Bonnet N, Trouillet JL, Leger P, et al. Outcomes and long-term quality-of-life of patients supported by extracorporeal membrane oxygenation for refractory cardiogenic shock. *Crit Care Med*. 2008;36(5):1404-11.
99. Perez-Garzon M, Castillo-Castillo A, Ferro-Penuela M, Poveda-Henao C, Mercado-Diaz M, Robayo-Amortegui H. Analysis of factors associated with the initiation of renal replacement therapy in patients on veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation: a case-control study. *BMC Nephrol*. 2025;26(1):478.
100. van Diepen S, Tymchak W, Bohula EA, Park JG, Daniels LB, Phreaner N, et al. Incidence, underlying conditions, and outcomes of patients receiving acute renal replacement therapies in tertiary cardiac intensive care units: An analysis from the Critical Care Cardiology Trials Network Registry. *Am Heart J*. 2020;222:8-14.
101. Hirsch KG, Abella BS, Amorim E, Bader MK, Barletta JF, Berg K, et al. Critical Care Management of Patients After Cardiac Arrest: A Scientific Statement From the American Heart Association and Neurocritical Care Society. *Circulation*. 2024;149(2):e168-e200.
102. Taira T, Inoue A, Ijuin S, Nishimura T, Moriyama T, Omoda M, et al. Acute Kidney Injury After Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation for Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *Crit Care Med*. 2025.
103. Lamhaut L, Jouffroy R, Soldan M, Phillipe P, Deluze T, Jaffry M, et al. Safety and feasibility of prehospital extra corporeal life support implementation by non-surgeons for out-of-hospital refractory cardiac arrest. *Resuscitation*. 2013;84(11):1525-9.

104. Yu HY, Wang CH, Chi NH, Huang SC, Chou HW, Chou NK, et al. Effect of interplay between age and low-flow duration on neurologic outcomes of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. *Intensive Care Med.* 2019;45(1):44-54.
105. Safar P, Behringer W, Böttiger BW, Sterz F. Cerebral resuscitation potentials for cardiac arrest. *Critical Care Medicine* 2002;30:140-4.
106. Debaty G, Babaz V, Durand M, Gaide-Chevronnay L, Fournel E, Blancher M, et al. Prognostic factors for extracorporeal cardiopulmonary resuscitation recipients following out-of-hospital refractory cardiac arrest. A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation.* 2017;112:1-10.
107. Matsuyama T, Irisawa T, Yamada T, Hayakawa K, Yoshiya K, Noguchi K, et al. Impact of Low-Flow Duration on Favorable Neurological Outcomes of Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation After Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Multicenter Prospective Study. *Circulation.* 2020;141(12):1031-3.
108. Bartos JA, Grunau B, Carlson C, Duval S, Ripeckyj A, Kalra R, et al. Improved Survival With Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation Despite Progressive Metabolic Derangement Associated With Prolonged Resuscitation. *Circulation.* 2020;141(11):877-86.
109. Sakamoto T, Morimura N, Nagao K, Asai Y, Yokota H, Nara S, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation versus conventional cardiopulmonary resuscitation in adults with out-of-hospital cardiac arrest: a prospective observational study. *Resuscitation.* 2014;85(6):762-8.
110. Guy A, Kawano T, Besserer F, Scheuermeyer F, Kanji HD, Christenson J, et al. The relationship between no-flow interval and survival with favourable neurological outcome in out-of-hospital cardiac arrest: Implications for outcomes and ECPR eligibility. *Resuscitation.* 2020;155:219-25.
111. Yacobis-Cervantes TR, Garcia-Mendez JA, Leal-Costa C, Castano-Molina MA, Suarez-Cortes M, Diaz-Agea JL. Telephone-Cardiopulmonary Resuscitation Guided by a Telecommunicator: Design of a Guiding Algorithm for Telecommunicators. *J Clin Med.* 2023;12(18).
112. Perkins GD, Graesner JT, Semeraro F, Olasveengen T, Soar J, Lott C, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Executive summary. *Resuscitation.* 2021;161:1-60.
113. Schroeder DC, Semeraro F, Greif R, Bray J, Morley P, Parr M, et al. KIDS SAVE LIVES: Basic Life Support Education for Schoolchildren: A Narrative Review and Scientific Statement From the International Liaison Committee on Resuscitation. *Resuscitation.* 2023;188:109772.
114. Ohbe H, Tagami T, Ogura T, Matsui H, Yasunaga H. Low-Flow Duration and Outcomes of Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation in Adults With In-Hospital Cardiac Arrest: A Nationwide Inpatient Database Study. *Crit Care Med.* 2022;50(12):1768-77.

115. D'Arrigo S, Cacciola S, Dennis M, Jung C, Kagawa E, Antonelli M, et al. Predictors of favourable outcome after in-hospital cardiac arrest treated with extracorporeal cardiopulmonary resuscitation: A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation*. 2017;121:62-70.
116. Porzer M, Mrazkova E, Homza M, Janout V. Out-of-hospital cardiac arrest. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub*. 2017;161(4):348-53.
117. Yannopoulos D, Bartos JA, Aufderheide TP, Callaway CW, Deo R, Garcia S, et al. The Evolving Role of the Cardiac Catheterization Laboratory in the Management of Patients With Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*. 2019;139(12):e530-e52.
118. Yannopoulos D, Bartos JA, Raveendran G, Conterato M, Frascione RJ, Trembley A, et al. Coronary Artery Disease in Patients With Out-of-Hospital Refractory Ventricular Fibrillation Cardiac Arrest. *J Am Coll Cardiol*. 2017;70(9):1109-17.
119. Kliegel A, Losert H, Sterz F, Holzer M, Zeiner A, Havel C, et al. Serial lactate determinations for prediction of outcome after cardiac arrest. *Medicine (Baltimore)*. 2004;83(5):274-9.
120. Yanagawa Y, Sakamoto T, Sato H. Relationship between laboratory findings and the outcome of cardiopulmonary arrest. *Am J Emerg Med*. 2009;27(3):308-12.
121. Wang L, Yang F, Wang X, Xie H, Fan E, Ogino M, et al. Predicting mortality in patients undergoing VA-ECMO after coronary artery bypass grafting: the REMEMBER score. *Crit Care*. 2019;23(1):11.
122. Donnino MW, Andersen LW, Giberson T, Gaieski DF, Abella BS, Peberdy MA, et al. Initial lactate and lactate change in post-cardiac arrest: a multicenter validation study. *Crit Care Med*. 2014;42(8):1804-11.
123. Ruckert F, Steinke T, Flother L, Bucher M, Metz D, Frantz S, et al. Predictors for quality of life of patients with a portable out-of-centre-implanted extracorporeal membrane oxygenation device. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2017;24(4):542-8.
124. Zivkovic AR, Röttgering JG, de Man AME, Schuur TC, Wils E-J, Daniels JM, et al. Determining a target SpO<sub>2</sub> to maintain PaO<sub>2</sub> within a physiological range. *Plos One*. 2021;16(5).
125. Richardson AS, Schmidt M, Bailey M, Pellegrino VA, Rycus PT, Pilcher DV. ECMO Cardio-Pulmonary Resuscitation (ECPR), trends in survival from an international multicentre cohort study over 12-years. *Resuscitation*. 2017;112:34-40.
126. Sakamoto S, Taniguchi N, Nakajima S, Takahashi A. Extracorporeal life support for cardiogenic shock or cardiac arrest due to acute coronary syndrome. *Ann Thorac Surg*. 2012;94(1):1-7.
127. Han Y, Hu H, Shao Y, Deng Z, Liu D. The link between initial cardiac rhythm and survival outcomes in in-hospital cardiac arrest using propensity score matching, adjustment, and weighting. *Sci Rep*. 2024;14(1):7621.

128. Hald NS, Hartmann TK, Sorensen NT, Mikkelsen S, Gislason G, Christensen EF, et al. Initial cardiac rhythm and rhythm conversion recorded by public access defibrillators. *Resuscitation*. 2025;216:110840.
129. Nolan JP, Soar J, Smith GB, Gwinnutt C, Parrott F, Power S, et al. Incidence and outcome of in-hospital cardiac arrest in the United Kingdom National Cardiac Arrest Audit. *Resuscitation*. 2014;85(8):987-92.
130. Ko RE, Ryu JA, Cho YH, Sung K, Jeon K, Suh GY, et al. The differential neurologic prognosis of low-flow time according to the initial rhythm in patients who undergo extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation*. 2020;148:121-7.

## 7 Anhang

### 7.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Advanced Life Support algorithm (27) .....	15
Abbildung 2: Therapeutisches Prinzip der peripheren venoarteriellen extrakorporalen Membranoxygenierung (15).....	19
Abbildung 3: Kanülierungswege bei VA-ECMO (49) .....	21
Abbildung 4: Überleben in Abhängigkeit von der Low-flow-Zeit in der OHCA-Kohorte. (eigene Darstellung) .....	41
Abbildung 5: Überleben in Abhängigkeit von der Low-flow-Zeit in der IHCA-Kohorte. (eigene Darstellung) .....	42
Abbildung 6: Vergleich der im Krankenhaus verstorbenen Patient*innen und der überlebenden Patient*innen nach Herz-Kreislaufstillstand und VA-ECMO im Verlauf der Jahre (eigene Darstellung) .....	43
Abbildung 7: Kaplan-Meier-Kurve für die IHCA und OHCA-Kohorte (eigene Darstellung in Anlehnung an © 2024 Gaisendrees C. et al. — Licensed under CC BY-NC 4.0 <a href="https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/</a> (Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for in- and out-of-hospital cardiac arrest: The race against time, Resusc Plus 2024, DOI: 10.1016/j.resplu.2024.100613) (64)). .....	44

### 7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Initiale Laborparameter vor ECMO-Implantation, während der Reanimation der gesamten Kohorte (eigene Darstellung).....	32
Tabelle 2: Vergleich zwischen Verstorbenen und Überlebenden in der Gesamtkohorte nach VA-ECMO (eigene Darstellung) .....	35
Tabelle 3: Vergleich zwischen den verstorbenen Patient*innen und den überlebenden Patient*innen in der OHCA-Gruppe (eigene Darstellung).....	37
Tabelle 4: Vergleich zwischen den verstorbenen Patient*innen und den überlebenden Patient*innen in der IHCA-Gruppe (eigene Darstellung).....	38
Tabelle 5: Vergleich zwischen den verstorbenen Patient*innen und den überlebenden Patient*innen im Verlauf der Jahre (eigene Darstellung).....	42
Tabelle 6: Outcome und Komplikationen der gesamten Kohorte nach Herz-Kreislaufstillstand und VA-ECMO (eigene Darstellung). .....	46

## 8 Vorabveröffentlichungen von Ergebnissen

**Publikation:** Gaisendrees C, Schlachtenberger G, **Müller L**, Jaeger D, Djordjevic I, Krasivskyi I, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for in- and out-of-hospital cardiac arrest: The race against time. Resusc Plus. 2024;18:100613.