

**Diplomarbeit**

**Beatmung bei laufender Herzdruckmassage  
Die VICA-Studie**

eingereicht von

**Felix Ruhdorfer**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor der gesamten Heilkunde**

**(Dr. med. univ.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt an der

**Universitätsklinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin**

unter der Anleitung von

**Ao. Univ. Prof. Dr. med. univ. Gerhard Prause**

und

**Univ. FA Dr. med. univ. Philipp Zoidl**

Graz, 22.03.2022

## **Eidesstattliche Erklärung**

*Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.*

Graz, 22.03.2022

Felix Ruhdorfer eh.

## Danksagungen

Das größte Dankeschön gilt meinen Eltern für die Ermöglichung dieses Studiums und die tatkräftige Unterstützung in allen Belangen, sei es in Form von Zusprache von Mut, Förderung der Motivation, Stärkung des Durchhaltevermögens und nicht zuletzt auch von finanzieller Seite. Vielen, vielen Dank dafür!

Auch meinen beiden Geschwistern möchte ich für ihre Unterstützung, ihren Einfluss und deren prägende Wirkung auf mich, nicht nur während der Studienjahre, sondern während meines bisherigen Lebens danken.

Ganz besonderer Dank gilt meiner Freundin. Danke, dass du in jeder Lage und Minute an meiner Seite stehst, mehr an mich glaubst als ich selbst und nicht nur bei dieser Arbeit und dem Studium, sondern in allen Situationen des Lebens uneingeschränkt und mit allen Mitteln hinter mir stehst und mich unterstützt.

Ebenso gilt ein großes Dankeschön meinen ehemaligen Mitbewohnern während des Studiums, die nicht nur das Studium erträglicher, sondern es zu einem unvergesslichen Abschnitt meines Lebens, den ich auf keinen Fall missen möchte, gemacht haben. Danke euch!

Um den Rahmen nicht zu sprengen, möchte ich mich hiermit beim Rest meiner Familie, bei allen Freunden, Kollegen des Mediziner corps und der Rettung, Kollegen im Studium und allen sonstigen Menschen, die mich in den letzten Jahren in welcher Form auch immer unterstützt haben, bedanken.

Abschließend möchte ich hiermit meine Dankbarkeit meinem Betreuer Ao. Univ. Prof. Dr. med. univ. Gerhard Prause sowie meinem Zweitbetreuer Dr. med. univ. Philipp Zoidl für die Ermöglichung und die Unterstützung bei Durchführung dieser Arbeit bekunden. Vielen herzlichen Dank!

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>VI</b>
<b>Abstract</b>	<b>VII</b>
<b>Glossar und Abkürzungen</b>	<b>VIII</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>X</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>XI</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Situation in Graz	1
1.1.1 Häufigkeit von Reanimationen	1
1.1.2 Struktur des Rettungsdienstes	2
1.2 ERC Leitlinien	4
1.2.1 Chain of survival	4
1.2.2 Basic Life Support	5
1.2.3 Advanced Life Support	6
1.2.4 Postreanimationsbehandlung	9
1.3 Beatmung in der Reanimation	10
1.3.1 Grundlagen der Beatmung	10
1.3.2 Atemwegshilfen	14
1.3.3 Beatmungsmonitoring	16
1.3.4 Nebenwirkungen und Probleme	18
<b>2 Material und Methoden</b>	<b>21</b>
2.1 Studiendesign	21
2.1.1 Zeitraum	21
2.1.2 Population	21
2.1.3 Ziel	22
2.1.4 Ethik	22
2.2 Datenverarbeitung	23
2.2.1 Pilotphase und Zwischenanalyse	23
2.2.2 Randomisierung	23
2.2.3 Auswertung	23

2.3	Material	24
2.3.1	Monnal T60®	24
2.3.2	epoc® Blutanalysesystem	25
2.3.3	Medea Protokoll	25
2.3.4	Sonstiges Material	26
2.4	Reanimationsablauf	26
2.5	Literaturrecherche	27
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>28</b>
3.1	Zwischenanalyse	28
3.1.1	Population	28
3.1.2	ROSC-Rate	30
3.1.3	Beatmungsvolumen	31
3.1.4	etCO <sub>2</sub> und Blutgasanalyse	33
3.2	Endresultate	35
3.2.1	Population	35
3.2.2	ROSC-Rate	36
3.2.3	Beatmungsvolumen	37
3.2.4	Beatmungsdruck	39
3.2.5	etCO <sub>2</sub>	41
3.2.6	Blutgasanalyse	42
3.2.7	Ergebnisse nach ROSC und Exitus	45
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>47</b>
4.1	Ergebnisse	47
4.1.1	Zwischenanalyse	47
4.1.2	ROSC-Rate	49
4.1.3	Beatmungsvolumen	49
4.1.4	Beatmungsdruck	50
4.1.5	etCO <sub>2</sub>	50
4.1.6	Blutgasanalyse	52
4.2	Limitationen	53
4.3	Conclusio	55
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>56</b>

## Zusammenfassung

**Einleitung:** Die Beatmung während der laufenden Herzdruckmassage stellt eine besondere Herausforderung dar, nicht zuletzt, weil Beatmungshübe von Thoraxkompressionen unterbrochen werden. In der Vergangenheit hat sich gezeigt, dass die als zu vermeiden geltende Hyperventilation während der Reanimation in der Praxis kaum auftritt und der überwiegende Teil von Reanimationspatient\*innen in Blutgasanalysen einen deutlichen respiratorischen Anteil an der fast immer bestehenden Azidose aufweist. Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Fragestellung, ob durch Erhöhung der Beatmungsfrequenz ein höheres Beatmungsvolumen, dadurch eine Verringerung der respiratorischen Azidose und ein Benefit für das Outcome erreicht werden kann.

**Methoden:** Es erfolgte eine prospektive Datenerhebung der Reanimationsfälle des Notarztmittels am LKH-Univ. Klinikum Graz. Patient\*innen in der Reanimation wurden randomisiert mit normofrequenter Beatmung (10/min) oder hochfrequenter Beatmung (20/min) beatmet. Wenn möglich wurden Blutgasanalysen durchgeführt. Die Daten wurden gesammelt und mittels deskriptiver Statistik ausgewertet. Vorab erfolgte eine Zwischenanalyse, um die ethische Vertretbarkeit der Arbeit zu überprüfen.

**Ergebnisse:** In die Zwischenanalyse konnten 29 Fälle eingeschlossen werden, davon 15 mit Blutgasanalyse. Insgesamt wurden im Anschluss 40 Patient\*innen randomisiert, wobei 21 normofrequent und 19 hochfrequent beatmet wurden. Die hochfrequente Beatmungsgruppe erreichte höhere Beatmungsvolumina mit jedoch nur geringen Auswirkungen auf die respiratorische Azidose. Der Anteil an ROSC war in der hochfrequenten Beatmungsgruppe geringgradig höher.

**Conclusio:** Die Ergebnisse bestätigten zum Teil Beobachtungen in vorangegangenen Arbeiten. Durch Erhöhung der Beatmungsfrequenz lassen sich durchwegs auch höhere Atemminutenvolumina trotz kontinuierlicher Herzdruckmassage erreichen. Limitierend dürfte letztlich wohl die eingeschränkte Perfusion sein, um die gewünschten Effekte auf den Säure-Basen-Haushalt zu erzielen.

## Abstract

**Introduction:** Ventilation during continuous chest compression makes up a special challenge since every breath applied gets interrupted by chest compressions. In past studies common practice has shown, that hyperventilation which has always been claimed to avoid in cpr, was very uncommon as most patients in cardiac arrest had shown that a significant part of the occurring acidemia has been caused by respiratory acidosis. This study deals with the theory that higher respiratory frequencies result in higher respiratory volumes which further lead to reduction in acidosis and therefore a better outcome.

**Methods:** Data has been collected prospectively of all resuscitations performed by physicians of the prehospital emergency service of LKH-Univ. Klinikum Graz. Patients were randomized and treated either with normal frequency ventilation rates (10/min) or high frequency ventilation rates (20/min). If possible blood gas samples were taken and analyzed. Data has been collected and analyzed via descriptive statistics. An interim analysis has been done beforehand to ensure no ethical boundaries were violated.

**Results:** 29 cases were included in the interim analyses in which 15 of them blood gas analysis were performed. Afterwards a total of 40 patients were randomized whereof 21 patients obtained normal frequency ventilation pattern and 19 high frequency ventilation pattern. The high frequency ventilation group had overall higher respiratory volumes while effects on the severity of the respiratory acidosis were minor. The amount of ROSC has been slightly higher in the high frequency group.

**Conclusion:** Results confirm observations from previous studies. By increasing ventilation rates higher volume rates can be achieved despite ongoing chest compressions. The limiting factor in order to resume in effects on the acid base balance might still be caused by poor perfusion situation in cardiac arrest.

## Glossar und Abkürzungen

AED	Automatisierter externer Defibrillator
ALS	Advanced Life Support
BGA	Blutgasanalyse
BLS	Basic Life Support
CCSV	Chest Compression Synchronized Ventilation
CPR	Cardiopulmonary Resuscitation
ERC	European Resuscitation Council
etCO <sub>2</sub>	Endtidaler Kohlendioxidpartialdruck
i.v.	Intravenös
kg	Kilogramm
LKH	Landeskrankenhaus
ml	Milliliter
MVe	Expiratorisches Minutenvolumen
MVi	Inspiratorisches Minutenvolumen
NEF	Notarzteinsatzfahrzeug
P <sub>mean</sub>	Beatmungsmitteldruck
P <sub>peak</sub>	Beatmungsspitzenndruck

pO <sub>2</sub>	Sauerstoffpartialdruck
pCO <sub>2</sub>	Kohlendioxidpartialdruck
PCV	Pressure controlled ventilation
ROSB	Return of spontaneous breathing
ROSC	Return of spontaneous circulation
SAD	Supraglottic Airway Device
TTM	Targeted Temperature Management
UKH	Unfallkrankenhaus
VCV	Volume controlled ventilation
VT	Tidalvolumen

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Chain of survival des ERC	5
Abbildung 2: Advanced Life Support Algorithmus des ERC	8
Abbildung 3: Beatmungskurven	13
Abbildung 4: Flussdiagramm: Fallzahlen der Zwischenanalyse	28
Abbildung 5: Balkendiagramm: Altersverteilung der eingeschlossenen Fälle der Zwischenanalyse	29
Abbildung 6: Balkendiagramm: Anteil an ROSC und Exitus in den angeführten Altersgruppen	30
Abbildung 7: Box-Plot-Diagramm: Atemminutenvolumina MVi und MVe der Zwischenanalyse	32
Abbildung 8: Box-Plot-Diagramm: pCO <sub>2</sub> - und etCO <sub>2</sub> -Werte der Zwischenanalyse	34
Abbildung 9: Balkendiagramm: Altersverteilung der eingeschlossenen Fälle	35
Abbildung 10: Balkendiagramm: Anteil an ROSC und Exitus in den angeführten Altersgruppen	36
Abbildung 11: Balkendiagramm: ROSC Anteil in der normofrequenten und der hochfrequenten Beatmungsgruppe	37
Abbildung 12: Box-Plot-Diagramm: Verhältnis der Atemminutenvolumina MVi zu MVe in der hochfrequenten Beatmungsgruppe (hoch) und der normofrequenten Beatmungsgruppe (niedrig)	39
Abbildung 13: Box-Plot-Diagramm: Beatmungsmitteldruck und Beatmungsspitzendruck in der hochfrequenten (hoch) und normofrequenten (niedrig) Beatmungsgruppe	41
Abbildung 14: Box-Plot-Diagramm: pH-Wert-Ergebnisse in der hochfrequenten (hoch) und normofrequenten (niedrig) Beatmungsgruppe	44
Abbildung 15: Box-Plot-Diagramm: Verhältnis etCO <sub>2</sub> - zu pCO <sub>2</sub> -Werten	44

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Atemvolumina der Zwischenanalyse	31
Tabelle 2: Blutgasanalyse- und etCO <sub>2</sub> -Werte der Zwischenanalyse	33
Tabelle 3: Ergebnisse der Beatmungsvolumina	38
Tabelle 4: Ergebnisse der Beatmungsdrücke	40
Tabelle 5: Ergebnisse der etCO <sub>2</sub> -Werte	42
Tabelle 6: Ergebnisse der Blutgasanalysen	43
Tabelle 7: Ergebnisse nach ROSC und Exitus	45

# 1 Einleitung

Im Rahmen der kardiopulmonalen Reanimation ist das primäre Ziel die Wiederherstellung eines Spontankreislaufs (ROSC). Dies soll durch das Zusammenspiel verschiedener Maßnahmen erreicht werden. Zu den wichtigsten zählen dabei die möglichst unterbrechungsfreie Herzdruckmassage, gegebenenfalls die frühzeitige Defibrillation und die Beatmung. Der Beatmung wird in der Reanimationsforschung vergleichsweise wenig Beachtung geschenkt. Auch in den aktuell gültigen Leitlinien zum Advanced Life Support des European Resuscitation Council (ERC) sind die Empfehlungen hinsichtlich der Beatmung in der Reanimation überschaubar.

Das Beatmen von Reanimationspatient\*innen bringt mehrere Probleme mit sich. Zum einen ist die Durchführung einer guten Beatmung in Reanimationssituationen schwierig, da bei der in den Leitlinien empfohlenen Beatmungsfrequenz von 10 Atemhüben pro Minute und mit einer Inspirationszeit von 2 Sekunden jeder Beatmungshub von 2-3 Herzdruckmassagen unterbrochen wird. Zum anderen stehen präklinisch nur begrenzte Mittel zur Messung der Effektivität bzw. Qualität zur Verfügung. Untersuchungen mit Blutgasanalysen während Reanimation haben gezeigt, dass Patient\*innen mit leitliniengerechter Beatmung hohe  $p\text{CO}_2$ -Werte und somit einen großen respiratorischen Anteil an der fast immer bestehenden Azidose aufweisen, was als Hypoventilation interpretiert werden muss (1,2).

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Fragestellung, ob durch eine Erhöhung der Beatmungsfrequenz von 10/min auf 20/min das Atemminutenvolumen erhöht, der respiratorische Anteil der Azidose vermindert und das Outcome der Patient\*innen verbessert werden kann.

## 1.1 *Situation in Graz*

### 1.1.1 Häufigkeit von Reanimationen

Europaweit wird das Auftreten eines plötzlichen Herztodes etwa mit 50-115 Fällen pro 100.000 Einwohner\*innen beziffert. Für den Großraum Graz ergab eine Auswertung der Einsatzzahlen im Jahr 2018 des Notarztmittels des LKH-

Universitätsklinikums eine Inzidenz von 84,4 präklinischen Herz-Kreislaufstillständen pro 100.000 Einwohner\*innen. (3)

In einer 2020 veröffentlichten Arbeit (4) wurden unter anderem die durch Notärzt\*innen gesetzten Maßnahmen untersucht. Hierbei ergab die Maßnahme kardiopulmonale Reanimation eine Inzidenz von 57,1 für den Großraum Graz. Die Maßnahme Todesfeststellung wird mit einer Inzidenz von 25,2 angegeben, so dass dies in Summe sich den oben genannten Zahlen nähert.

Weltweit ist die Koronare Herzkrankheit die führende Ursache für den plötzlichen Herz-Kreislaufstillstand (5). In Europa ist die KHK für rund 40 % der Todesursachen bei unter 75-Jährigen verantwortlich (6).

### **1.1.2 Struktur des Rettungsdienstes**

In Österreich kommen für die präklinische Notfallversorgung Sanitäter\*innen sowie Notärzt\*innen zum Einsatz. Der überwiegende Teil des präklinisch tätigen Personals sind Rettungssanitäter\*innen. Die Ausbildung zum\*zur Rettungssanitäter\*in beruht auf 100 Stunden Theorie sowie 160 Stunden Praktikum im Rettungs- und Krankentransportsystem. Der Tätigkeitsbereich bei Notfällen beschränkt sich dabei insbesondere auf die Durchführung von lebensrettenden Sofortmaßnahmen. Im Falle der Reanimation kommen hier die Empfehlungen des Basic Life Support zum Einsatz. Die nächsthöhere Ausbildungsstufe bilden Notfallsanitäter\*innen. Der Ausbildungsumfang umfasst 480 Stunden Theorie, 280 Stunden Praktikum in einem Notarztsystem sowie 40 Stunden Praktikum in einer Krankenanstalt. Weiters können aufbauend Notfallkompetenzen erworben werden, die Notfallsanitäter\*innen in bestimmten Situationen dazu befugen die Verabreichung von Arzneimitteln (NKA), das Legen eines venösen Zugangs und die Verabreichung von kristalloiden Infusionen (NKV) sowie gegebenenfalls die endotracheale Intubation (NKI) durchzuführen. (7)

Für die Notverfallversorgung der Stadt Graz und deren Umgebung sind rund um die Uhr zwei Notarzteeinsatzfahrzeuge im Dienst. Östlich der Mur befindet sich der Stützpunkt am LKH-Universitätsklinikum (NEF Graz Ost) und für den Westen der Stadt im UKH Graz (NEF Graz West). Tagsüber wird die Region Graz und Graz-

Umgebung zusätzlich von dem am Flughafen Graz Thalerhof stationiertem Notarzthubschrauber Christophorus 12 der ÖAMTC Flugrettung unterstützt, dessen Einsatzgebiet sich jedoch über weite Teile der Steiermark erstreckt.

Die Notarztdichte bezogen auf die Einwohnerzahlen ist in Graz damit im österreichweiten Vergleich sehr gering. Eine 2017 durchgeführte Analyse zeigt, dass ein\*e Notärzt\*in in Graz für rund 200.000 Einwohner\*innen zur Verfügung steht, während der Durchschnitt in Österreich bei einem\*einer Notärzt\*in auf etwa 70.000 Einwohner\*innen liegt. Trotzdem sind die Einsatzzahlen in Graz mit 8,74 pro 1.000 Einwohner\*innen im Vergleich zum Rest von Österreich mit 22,71 pro 1.000 Einwohner\*innen ebenso ungewöhnlich niedrig. Grund dafür ist unter anderem ein 3-stufiges-Modell der präklinischen Versorgung. (8)

Zusätzlich zu den Notarzteinsatzfahrzeugen befinden sich an den beiden Rotkreuz-Stützpunkten in der Münzgrabenstraße sowie in der Straßgangerstraße insgesamt zwei Notfallwägen, die rund um die Uhr vom Medizinercorps besetzt werden. Das Medizinercorps ist eine über 130 Jahre alte Vereinigung von Medizinstudent\*innen und Ärzt\*innen, die die international einzigartige Ausbildung zum\*zur NKI-Rettungsmediziner\*in abgeschlossen haben. Diese Ausbildung ermöglicht Rettungsmediziner\*innen schon vor Abschluss des Studiums ihr erlerntes Wissen eigenverantwortlich anzuwenden. Die Ausbildung zum\*zur Rettungsmediziner\*in gestaltet sich als sehr umfangreich. Die Besatzung des Notfallwagens besteht neben einem\*einer Rettungsmediziner\*in aus einem\*einer Einsatzfahrer\*in sowie zwei Helfer\*innen, wobei sich meist eine\*r davon in der Ausbildung zum\*zur Rettungsmediziner\*in befindet. (9)

Während in Österreich üblicherweise ein zweistufiges System – bestehend aus Sanitäter\*innen und Notärzt\*innen – vorherrscht, birgt dieses dreistufige System – Sanitäter\*innen, NKI-Rettungsmediziner\*innen und Notärzt\*innen – unter anderem den Vorteil, dass das Notarztsystem entlastet wird (4).

Weitere Vorteile dieses Systems sind die Personalstärke und die höheren Qualifikationen aufgrund der fundierten Ausbildung. So kann zum Beispiel bei Reanimationen durch die vierköpfige Besatzung von Beginn an eine qualitativ

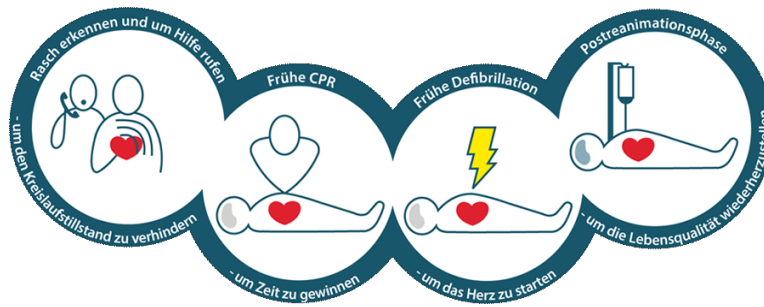
hochwertige CPR gewährleistet werden. Der Start der Thoraxkompressionen, das Anbringen des Defibrillators mit anschließender manueller Rhythmusanalyse sowie das erweiterte Atemwegsmanagement können parallel erfolgen, während bei den sonst üblichen 2-Kopf-Besetzungen die Maßnahmen nacheinander erfolgen müssen, da in der Regel ein\*e Helfer\*in an die Herzdruckmassage gebunden ist.

## **1.2 ERC Leitlinien**

Das European Resuscitation Council (ERC) publiziert die in unseren Breiten aktuellen und gültigen Standards der Wiederbelebung. Dabei wird bei der Wiederbelebung von Erwachsenen zwischen dem Basic Life Support (BLS) und dem darauf aufbauenden Advanced Life Support (ALS) unterschieden. Weiters finden sich in den Leitlinien eigene Kapitel zu Kreislaufstillständen in besonderen Situationen, der Wiederbelebung von Kindern und Neugeborenen, der Versorgung von Patient\*innen mit akutem Koronarsyndrom, sowie zu Ethik, Ausbildung und Erste Hilfe. Zudem bietet das ERC eine breite Palette an Kursangeboten und Ausbildungen an. Die Reanimationsleitlinien erscheinen für gewöhnlich im 5-Jahres-Rhythmus. Die Veröffentlichung der rezentesten Empfehlungen verzögerte sich aufgrund der Covid-19 Pandemie. In dieser Arbeit werden als Referenz die 2015 erschienenen Leitlinien verwendet, da diese sowohl zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Kapitel als auch während der Sammlung der Daten die aktuell gültigen Standards bildeten.

### **1.2.1 Chain of survival**

Das Überleben eines plötzlichen Herz-Kreislaufstillstandes hängt von bestimmten Schritten und Interventionen maßgeblich ab – diese werden in der sogenannten Überlebenskette (engl. Chain of survival) abgebildet (10).



**Abbildung 1: Chain of survival des ERC (10)**

Das erste Glied der Kette wird durch das frühe Erkennen eines (drohenden) Kreislaufstillstandes und dem Absetzen des Notrufs gebildet. Ist der Kreislaufstillstand bereits eingetreten, so gilt es unverzüglich Wiederbelebensmaßnahmen durch Laienhelfer\*innen einzuleiten, was das zweite Glied der Kette bildet. An dritter Stelle folgt die frühzeitige Defibrillation. Erfolgt diese innerhalb von 3-5 Minuten nach Kollaps kann dies die Überlebensrate auf 50-70 % erhöhen, wobei jede Minute Verzögerung der Defibrillation die Überlebenswahrscheinlichkeit drastisch mindert. Als viertes Glied wird das frühe Einleiten von erweiterten Maßnahmen wie Atemwegsmanagement, Medikamentengabe etc. sowie die Postreanimationsbehandlung angeführt. (11)

### 1.2.2 Basic Life Support

Unter BLS werden die unmittelbaren Basismaßnahmen durch Ersthelfer\*innen verstanden. Dieser Abschnitt der Leitlinien behandelt vor allem das frühe Erkennen eines Kreislaufstillstandes sowie das rasche Absetzen des Notrufes. In weiterer Folge soll unverzüglich mit Wiederbelebensmaßnahmen begonnen werden. Dabei wird in Wiederbelebung ausgebildeten Helfer\*innen empfohlen Herzdruckmassagen sowie Atemspenden in Form von Mund-zu-Mund- bzw. alternativ Mund-zu-Nase-Beatmungen in einem Verhältnis von 30:2 durchzuführen. Untrainierten Personen oder jenen, die nicht im Stande sind zu beatmen wird empfohlen ausschließlich Herzdruckmassagen durchzuführen („compression-only CPR“). (11) Im Tiermodell hat sich gezeigt, dass bei nicht asphyktischem Kreislaufstillstand die ausschließliche Durchführung von Thoraxkompressionen gleich effektiv wie die Kombination mit Beatmungen ist.

Jedoch zeigte sich sowohl in Tierversuchen als auch in mathematischen Modellen, dass nach 2-4 Minuten die Sauerstoffvorräte erschöpft sind und somit eine Form der Oxygenierung notwendig wird. (12,13)

Weiters wird auf den frühen Einsatz eines AEDs und die ehestmögliche Defibrillation hingewiesen. Mit der Empfehlung frühzeitig erweiterte Maßnahmen wie Atemwegsmanagement, die Gabe von Medikamenten und der Ursachenbehandlung schließt sich das Bindeglied zum Advanced Life Support. (11)

### **1.2.3 Advanced Life Support**

Aufbauend auf den Maßnahmen des BLS dienen für medizinisches Fachpersonal die Empfehlungen des Advanced Life Supports als Richtlinie zur erweiterten Behandlung von Reanimationspatient\*innen. Dabei wird nochmals auf die Sicherstellung von hochqualitativen Thoraxkompressionen hingewiesen. Als Optimum werden 5-6 cm tiefe Kompressionen mit einer Frequenz von 100-120/min und vollständiger Entlastung des Thorax zwischen den Kompressionen genannt. Unterbrechungen sollen minimiert und so kurz wie möglich gehalten werden. (11)

Sobald verfügbar soll ein Defibrillator zur Beurteilung des Herzrhythmus angeschlossen werden. Für die Analyse des Herzrhythmus werden die Thoraxkompressionen kurz unterbrochen und anschließend sofort fortgeführt. Je nach vorliegendem Rhythmus wird bei Kammerflimmern (VF) oder pulsloser Ventrikulärer Tachykardie (VT) ein Schock abgegeben bzw. bei Asystolie oder pulsloser elektrischer Aktivität (PEA) ohne Defibrillation die Herzdruckmassage fortgesetzt. Die Beurteilung des Herzrhythmus soll alle 2 Minuten erfolgen. (14)

In puncto Atemwegsmanagement und Beatmung wird zwar darauf hingewiesen, dass die endotracheale Intubation nach wie vor der Goldstandard der Atemwegssicherung in der Reanimation ist, sie allerdings nur von erfahrenen und gut ausgebildeten professionellen Helfer\*innen durchgeführt werden soll. Weiters sollen die Thoraxkompressionen maximal 5 Sekunden und lediglich für das Einführen des Tubus in die Trachea unterbrochen werden und eine Defibrillation

darf keinesfalls durch diese Maßnahme verzögert werden. Nach Verifizierung der korrekten Tubuslage wird empfohlen 10-mal pro Minute mit maximaler Sauerstoffkonzentration zu beatmen und eine Hyperventilation jedenfalls zu vermeiden. Währenddessen sollen die Thoraxkompressionen unterbrechungsfrei mit einer Frequenz von 100-120 pro Minute fortgeführt werden. Sind keine professionellen Helfer\*innen mit ausreichend Intubationserfahrung verfügbar, sollen SADs zum Einsatz kommen. Hierbei soll eine kontinuierliche Beatmung unter Thoraxkompressionen versucht werden und gegebenenfalls bei Undichtigkeit des Systems ohne adäquate Beatmungen auf ein CV-Verhältnis von 30:2 gewechselt werden. (14)

Als weiterer Behandlungspunkt soll die Gabe von Medikamenten erwogen werden. Dabei kommen Adrenalin und Amiodaron zum Einsatz. Die Indikation der Medikamentengabe hängt vom zugrunde liegenden Herzrhythmus bzw. der Abgabe von Defibrillationen ab. So soll Adrenalin in einer Dosierung von 1 mg bei nicht defibrillierbaren Rhythmen wie Asystolie und PEA so früh wie möglich intravenös verabreicht werden. Bei defibrillierbaren Rhythmen wie VF und VT sollen erst nach dem dritten Schock 1 mg Adrenalin i.v. sowie 300 mg Amiodaron i.v. verabreicht werden. Die Adrenalingabe wird anschließend ebenso wie bei Asystolie und PEA kontinuierlich alle 3-5 Minuten in derselben Dosierung fortgeführt. Amiodaron kann nach Abgabe des fünften Schocks nochmals in halber Initialdosierung erwogen werden. (14)

Während der CPR soll nach reversiblen Ursachen gesucht und diese behandelt werden. Dabei werden als Hilfestellung die Akronyme 4 H und HITS genannt, wobei die 4 H für Hypoxie, Hypovolämie, Hypo-/Hyperkaliämie (metabolisch) und Hypo-/Hyperthermie stehen und HITS für Herzbeuteltamponade, Intoxikation, Thromboembolie und Spannungspneumothorax. Zur Differentialdiagnostik der Ursache dienen insbesondere eine ausführliche Anamnese mit Angehörigen des\*der Patient\*in oder mit Beobachter\*innen des Geschehens. Weiters können die klinische Untersuchung sowie apparative Methoden wie Blutgasanalyse und die Sonographie nützlich sein. Werden reversible Ursachen gefunden, sollen diese möglichst rasch behandelt werden. (14)

Wie lange Wiederbelebungsversuche durchgeführt werden sollen, hängt stark von den individuellen Umständen ab und ist stets eine Einzelfallentscheidung. Bei persistierender Asystolie über 20 Minuten trotz suffizienter CPR sowie der Behandlung bzw. dem Ausschluss von reversiblen Ursachen erscheint es vernünftig weitere Reanimationsversuche abubrechen. (14)

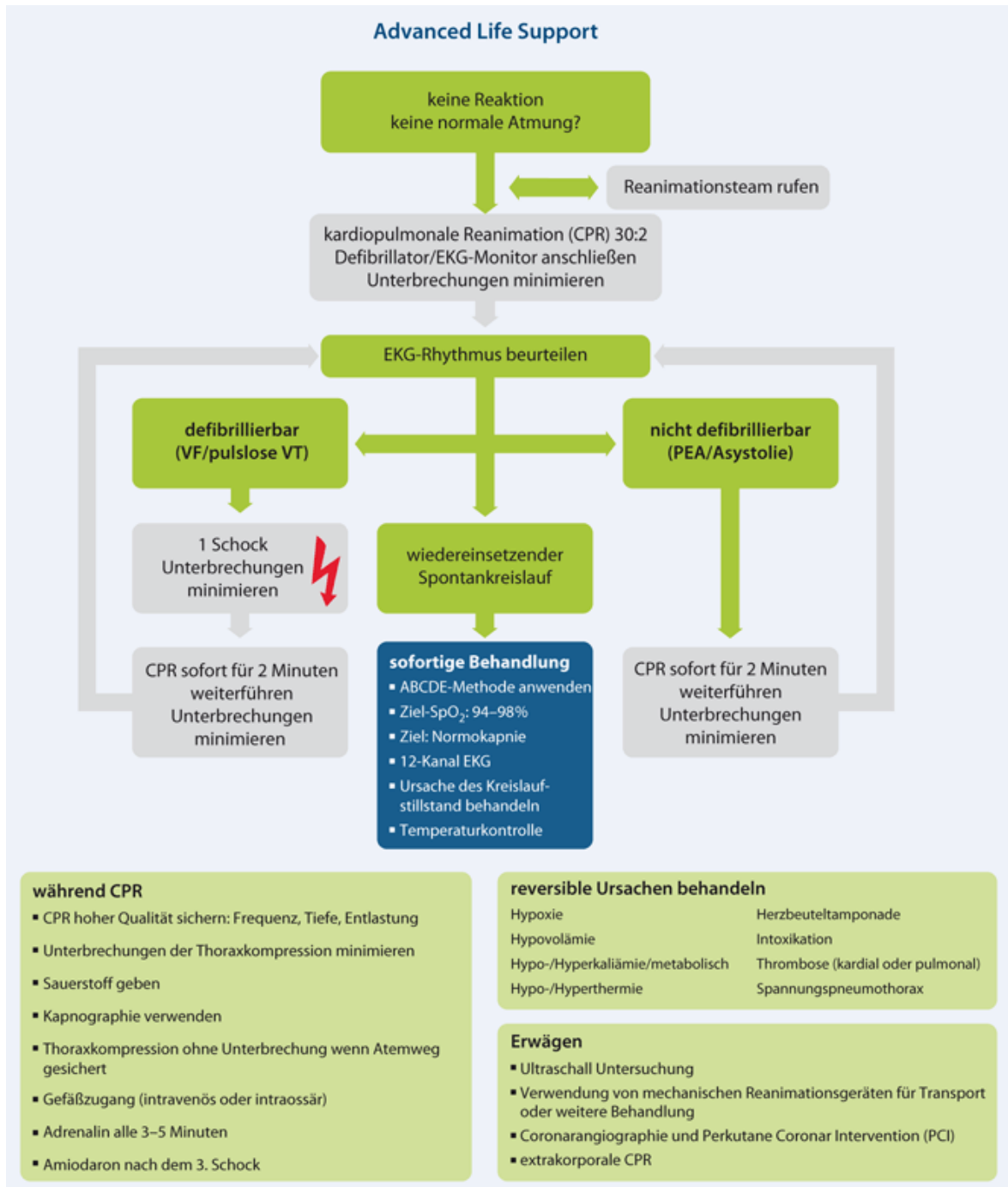


Abbildung 2: Advanced Life Support Algorithmus des ERC (14)

#### 1.2.4 Postreanimationsbehandlung

Für den Fall eines ROSC („return of spontaneous circulation“) finden sich die Empfehlungen in einem eigenen der Postreanimationsbehandlung gewidmeten Kapitel in den Leitlinien. Die Behandlung in dieser Phase hat einen erheblichen Einfluss auf das Outcome des\*der Patient\*in. Die Dauer der Postreanimationsbehandlung beginnt mit dem ROSC und zieht sich bis hin zur Nachbehandlung und Rehabilitation, deshalb sollen hier nur überblicksmäßig die relevanten Schlüsselemente der präklinischen Versorgung zusammengefasst werden. (15)

Unter dem Begriff Postreanimationssyndrom werden zerebrale Postreanimationsschäden, kardiale Dysfunktion, die systemischen Reaktionen auf Ischämie und Reperfusion sowie die den Kreislaufstillstand auslösende Ursache zusammengefasst. Die Ausprägung dieses Syndroms variiert stark und ist insbesondere von Dauer und Ursache des Kreislaufstillstandes abhängig. (15)

Das initiale Management orientiert sich an dem allseits bekannten ABCDE-Schema. So wird auch nach ROSC dem Freihalten der Atemwege und gegebenenfalls deren Sicherungen Priorität gegeben. Patient\*innen die unmittelbar ihre normale Hirnfunktion wiedererlangen benötigen unter Umständen keine Intubation, allerdings ist die Sauerstoffgabe über Gesichtsmaske empfohlen. Unabhängig, ob Spontanatmung oder kontrollierte Beatmung soll eine Zielsättigung von 94-98 % angestrebt werden. Die Ventilation soll mittels Kapnographie und anhand des endtidalen CO<sub>2</sub> gesteuert werden. Sofern verfügbar sollte dies auch mittels Blutgasanalysen monitorisiert werden. (15)

Sobald der Atemweg als sicher gilt und die Ventilation sowie die Oxygenierung gewährleistet sind erfolgt das Management rund um Herz und Kreislauf. Dabei wird insbesondere auf die frühzeitige Ableitung eines 12-Kanal-EKG zur Diagnostik einer kardialen Ursache im Sinne eines ST-Hebungsinfarktes hingewiesen, um ehestmöglich für eine rasche koronare Reperfusion zu sorgen. Zudem soll ein systolischer Zielblutdruck von >100 mmHg sowie Normovolämie durch Verabreichung von i.v.-Kristalloiden angestrebt werden. Zur besseren Monitorisierung kann hierbei die invasive Blutdruckmessung Vorteile bringen. Bei

Notwendigkeit empfiehlt sich die Gabe von Vasopressoren oder positiv inotropen Substanzen zur Stabilisation des Blutdrucks. (15)

In puncto Sedierung wird lediglich darauf hingewiesen, dass es keine ausreichenden Daten für Empfehlungen hinsichtlich der Wahl des Sedativums gibt. Auch wenn es üblich ist Patient\*innen nach Kreislaufstillstand zu sedieren gibt es auch bezüglich der Dauer der Sedierung, Relaxierung und Beatmung keine eindeutigen Empfehlungen. (15)

Erfolgt ein TTM („Targeted Temperature Management“) soll eine Zieltemperatur von 32°C bis 36°C angestrebt werden, wobei explizit erwähnt wird, dass die optimale Zieltemperatur nach derzeitiger Studienlage weiterhin noch nicht bekannt ist. Allerdings dürfte insbesondere Hyperthermie bzw. Fieber in den ersten 48 Stunden nach Kreislaufstillstand mit einer erhöhten Mortalität einhergehen. (15)

### **1.3 Beatmung in der Reanimation**

Es existieren bereits Untersuchungen (16,17) zu Reanimation ohne Beatmung („compression-only CPR“). Jedoch ist davon auszugehen, dass die körpereigenen Sauerstoffreserven nach etwa 3-4 Minuten Reanimation erschöpft sind (13). Deswegen bedarf es spätestens dann einer Form von kontrollierter Beatmung bzw. einer Möglichkeit den Organismus mit Sauerstoff zu versorgen. In der Laienhilfe wird dabei meist auf non-apparative Möglichkeiten wie der Mund-zu-Mund- oder Mund-zu-Nase-Beatmung zurückgegriffen, wobei die Sauerstoffkonzentration in der Ausatemluft lediglich 16-17 % beträgt. Im professionellen Setting steht eine große Auswahl an Devices zur Atemwegssicherung sowie zur Beatmung von Patient\*innen zur Verfügung.

#### **1.3.1 Grundlagen der Beatmung**

Unter Beatmung versteht man die teilweise oder vollständige Übernahme der Atemarbeit durch ein Beatmungsgerät bei unzureichender oder fehlender Spontanatmung. Ziel ist stets die Sicherstellung des pulmonalen Gasaustausches mit möglichst geringen Nebenwirkungen. (18)

## Funktionsprinzip

Bei der Spontanatmung kommt es durch Kontraktion des Zwerchfells zu einer Erweiterung des Brustkorbs und folglich zu einer Dehnung der Lungen. Somit entsteht ein Druckgradient zwischen Atmosphäre und den Atemwegen, dem die Luft folgt und die Inspiration passiert. Die Expiration passiert in Ruhe passiv durch die elastischen Retraktionskräfte.(18) Die ersten Beatmungsgeräte in der Geschichte, wie die „Eiserne Lunge“, verfolgten einen ähnlichen Ansatz.(19) Bei den heute üblichen Formen der Beatmung kommt das Prinzip der Überdruckbeatmung zum Einsatz. Durch das externe Anlegen eines Überdrucks mithilfe eines Beatmungsbeutels, Beatmungsgerätes oder in der Laienreanimation durch Mund-zu-Mund-Beatmung wird ein Atemhub, im engeren Sinne ein Volumen, appliziert. Durch diesen Überdruck kommt es zur Inspiration – Luft fließt entlang des Druckgradienten in die Lunge. Bei der Expiration wirken wie auch bei der Spontanatmung die Retraktionskräfte von Lunge und Thorax. Es passiert somit ein ständiger Wechsel zwischen Inspiration und Expiration. Das Verhältnis zwischen beiden wird als I:E-Verhältnis angegeben und steht in Beziehung zur Beatmungsfrequenz. So entspricht ein I:E-Verhältnis von 1:2 bei einer Beatmungsfrequenz von 10/min einer Inspirationszeit von 2 Sekunden und einer Expirationszeit von 4 Sekunden. (18)

Das I:E-Verhältnis bildet zusammen mit dem  $FiO_2$  und dem PEEP die Parameter der Oxygenierung. Durch diese Stellschrauben kann die Oxygenierung verbessert werden. Als Ventilationsparameter fungieren die Beatmungsfrequenz sowie das Atemhubvolumen, deren Produkt das sogenannte Atemminutenvolumen ergibt. Eine Änderung der Ventilationsparameter spiegelt sich in der endexpiratorisch gemessenen  $CO_2$ -Konzentration (Kapnometrie) wider. (18)

Unter  $FiO_2$  (= „fraction of inspired oxygen“) versteht man die Sauerstoffkonzentration in der Einatemluft. Der PEEP ist der sogenannte positive endexpiratorische Druck – der Druck, der am Ende der Expiration durch das Beatmungsgerät aufrecht gehalten wird. Dies dient u. a. der Vorbeugung von Atelektasen und der Verbesserung der Oxygenierung. (18)

## **Beatmungsformen**

Es gibt zahlreiche verschiedene Beatmungsformen, die zudem keiner einheitlichen Nomenklatur unterliegen und je nach Hersteller von Respirator zu Respirator unterschiedlich heißen. Anhand der Atemarbeit lassen sich Beatmungsformen in kontrollierte Beatmung – das Beatmungsgerät übernimmt die gesamte Atemarbeit – und in augmentierte (assistierte) Beatmung – die Spontanatmung wird vom Gerät unterstützt – einteilen. In der Reanimation wird aufgrund des Atemstillstandes auf kontrollierte Beatmungsformen zurückgegriffen. Diese können in volumenkontrollierte und druckkontrollierte Beatmung sowie in Mischformen (Hybridbeatmung) unterteilt werden. (18)

**Volumenkontrollierte Beatmung (VCV):** Hier wird ein vorgewähltes Atemhubvolumen mit konstantem Flow appliziert. Der Beatmungsdruck ist der Freiheitsgrad des Respirators und somit variabel. Um den\*die Patient\*in vor zu hohen Beatmungsdrücken zu schützen wird ein oberer Begrenzungsdruck gewählt. Vorteil der VCV ist, dass eine Änderung der Atemmechanik (Veränderung von Resistance oder Compliance) keine Änderung des Atemhubvolumens zur Folge hat (sofern nicht der obere Begrenzungsdruck erreicht wird). Nachteilig kann sich die Beatmung unter Umständen bei der kranken Lunge mit schnellen und langsamen Lungenkompartimenten (Kompartimente mit unterschiedlicher Resistance und Compliance) auswirken. Hierbei besteht die Gefahr der Pendelluft, da sich zuerst schnelle Lungenkompartimente mit niedriger Resistance füllen. (18)

**Druckkontrollierte Beatmung (PCV):** Im Gegensatz zur VCV fließt das Atemgas hier mit konstantem Druck. Daraus resultiert ein hoher Flow am Beginn der Inspiration, der im Laufe der Inspirationszeit durch Abnahme des Druckgradienten abfällt (dezelerierender Flow). Das abgegebene Volumen ist abhängig von der Höhe des Inspirationsdrucks, der Inspirationszeit und von den atemmechanischen Eigenschaften (Compliance und Resistance) des\*der Patient\*in. Aufgrund des konstanten Beatmungsdrucks während der Inspiration ist die PCV die Beatmungsform der Wahl bei der kranken Lunge, um die oben genannten Probleme der VCV zu vermeiden. Nachteil der PCV ist allerdings, dass eine

Änderung der Atemmechanik auch meist in einer Veränderung des Atemhubvolumens resultiert. (18)

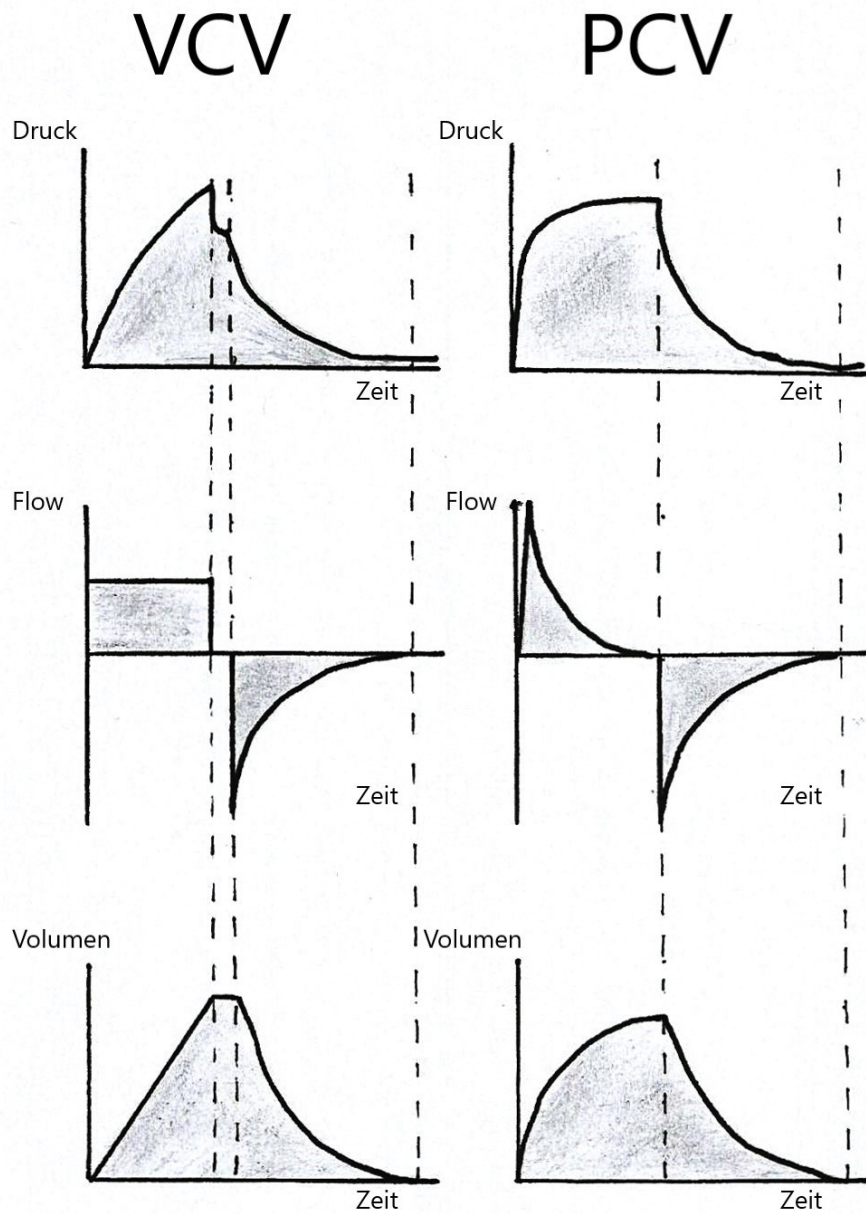


Abbildung 3: Beatmungskurven (gezeichnet nach Oczenski (18))

### **1.3.2 Atemwegshilfen**

Mittlerweile gibt es eine große Breite an verschiedenen Produkten und Möglichkeiten zur Atemwegssicherung, deswegen soll hier nur auf die in unserem System etablierten und in der Reanimation Anwendung findenden eingegangen werden.

#### **Maskenbeatmung**

Die Maskenbeatmung, meist in Kombination mit einem Beatmungsbeutel, ist eine der rudimentärsten und am häufigsten angewendeten Formen der Beatmung. Dabei wird die Beatmungsmaske dicht sitzend über Mund und Nase des\*der Patient\*in positioniert, der Kopf überstreckt, um den Atemweg freizumachen und anschließend können durch Komprimieren des Beatmungsbeckels Atemhübe appliziert werden. Diese offensichtlich einfache Methode birgt jedoch einige Probleme in sich. Zum einen erfolgt per se keine Sicherung des Atemweges, da die Atmungsorgane nicht vor Aspiration geschützt werden. Hinzu kommt, dass es durch die manuelle Kompression des Beatmungsbeckels bei unerfahrenen Anwender\*innen häufig zur Luftinsufflation in den Magen kommt, was mit einer zusätzlichen Erhöhung des Aspirationsrisikos einhergeht. Diese Maßnahme benötigt also Übung und Routine, um eine sichere Anwendung zu gewährleisten.  
(20)

#### **Supraglottische Atemwegshilfen**

Der Begriff supraglottische Atemwegshilfen, auch als extraglottische Atemwegshilfen bezeichnet, beinhaltet alle Devices, die ein Offenhalten der Atemwege zwischen Oropharynx und proximalen Ösophagus gewährleisten und über der Glottis liegen (21). Gebräuchlich sind hier vor allem der Larynxtubus und die Larynxmaske. Diese Atemwegshilfen sind vergleichsweise einfach zu etablieren und insbesondere der Larynxtubus hat sich im Einsatzbereich des\*der Rettungssanitäter\*in als First-Line-Methode zur Atemwegssicherung in der CPR durchgesetzt. Allerdings birgt dieses Device zahlreiche Gefahren und die Anwendung ist durchaus von Nebenwirkungen und möglichen Komplikationen begleitet. Unter anderem wurde beobachtet, dass es zum Teil zu deutlich überblockten Cuffs gekommen ist, was wiederum für Weichteilschwellungen im

Bereich der Atemwege verantwortlich sein könnte. Weiters konnten Komplikationen wie Magendilatation, Dislokationen, inadäquater Sitz mit hoher Leckage bis hin zu ösophagealen Traumen beobachtet werden. (22,23)

### **Endotracheale Intubation**

Die Endotracheale Intubation stellt nach wie vor den Goldstandard der Atemwegssicherung, insbesondere in der Reanimation, dar (24). Aufgrund der trachealen Lage des Cuffs kann bei korrektem Cuffdruck eine Aspiration nahezu sicher verhindert werden. Ein weiterer entscheidender Vorteil gegenüber anderer Atemwegshilfen ist die simultane kontinuierliche Beatmung während der Herzdruckmassage. (25)

Die Platzierung des Endotrachealtubus kann dabei direkt oder indirekt erfolgen. Bei der direkten (konventionellen) Laryngoskopie wird mithilfe eines Laryngoskops und Spatel die Glottisebene sichtbar eingestellt und der Tubus platziert. In den letzten Jahren finden aufgrund der technischen Entwicklungen auch präklinisch vermehrt indirekte Methoden wie die Videolaryngoskopie oder fiberoptische Methoden Anwendung, was ein zusätzlicher Erfolgsfaktor sein kann. (21)

Nichtsdestotrotz wird aufgrund der erforderlichen Übung und Routine in der Durchführung von endotrachealen Intubationen dies ausschließlich professionellen Anwender\*innen empfohlen (14).

### **Chirurgischer Atemweg „Koniotomie“**

Die „Ultima-Ratio“ der Atemwegssicherung, bei Scheitern von allen Alternativen, stellt der chirurgische Atemweg dar. Dabei wird zwischen der Koniotomie (synonym: Krikothyreotomie) und der Tracheotomie unterschieden, wobei letztere chirurgische Vorkenntnisse und geeignete Hilfsmittel voraussetzt. Die Methode ist außerdem zeitraubend und riskant und den aktuellen Leitlinien nach in Notfallsituationen sogar kontraindiziert. (14)

Bei der Koniotomie gibt es drei verschiedene Möglichkeiten der Durchführung. Eine Catheter-over-needle-Technik, bei der die Anlagetechnik dem Legen einer Venenverweilkanüle ähnelt, eine Seldinger-Technik bei der ein Führungsdraht in

die Trachea eingebracht, über welchen anschließend die Kanüle platziert wird und schließlich die Methode mit Skalpell, bei der das Lig. cricothyroideum durchtrennt und anschließend ein dünner Endotrachealtubus eingeführt wird. Wie schon oben erwähnt stellen diese Maßnahmen die letzte Option bei Unmöglichkeit einer anderen Form der Beatmung bzw. Atemwegssicherung dar, nicht zuletzt aufgrund der möglichen Komplikationen. (21,26)

### **1.3.3 Beatmungsmonitoring**

In der Medizin wird unter Monitoring die Überwachung bzw. Erfassung von Vorgängen (z. B. Vitalparameter) verstanden, mit dem Ziel kritische Situationen frühzeitig zu erkennen. Dabei bedient man sich technischer sowie nicht-technischer Hilfsmittel (Apparatives vs. Klinisches Monitoring). (18)

Die Möglichkeiten sind vielfältig, allerdings ist man präklinisch, insbesondere was die apparative Unterstützung des Beatmungsmonitorings betrifft, im Vergleich zu einer Intensivstation oder einem Operationssaal doch deutlich eingeschränkt. Neben der klinischen Beobachtung des\*der Patient\*in (Inspektion von Thoraxbewegungen, Auskultation der Lungen etc.) stellt bei beatmeten Patient\*innen vor allem die möglichst lückenlose technische Überwachung einen hohen Stellenwert dar.

Die technischen Formen des Beatmungsmonitorings betreffen das Respiratormonitoring (= Maschinenmonitoring) und die Überwachung des pulmonalen Gasaustauschs und der Atemmechanik. Zur Monitorisierung des pulmonalen Gasaustauschs stehen die Pulsoxymetrie, die arterielle Blutgasanalyse sowie die Kapnometrie bzw. -grafie zur Verfügung. (18)

#### **Pulsoxymetrie**

Die Pulsoxymetrie ist ein nicht-invasives, einfach anwendbares Verfahren zur Messung der arteriellen Sauerstoffsättigung und der Pulsfrequenz und ist meist rasch verfügbar. Das Funktionsprinzip beruht auf den unterschiedlichen Absorptionskoeffizienten von oxygeniertem und reduziertem Hämoglobin. Eine Lichtquelle generiert Licht mit zwei verschiedenen Wellenlängen, die auf der gegenüberliegenden Seite auf einen Detektor auftreffen. Das absorbierte Licht

wird gemessen und in ein elektrisches Signal umgewandelt. Aufgrund der meist unzureichenden peripheren Durchblutung während Reanimation, liefert das Pulsoxymeter z. B. am Fingerendglied in dieser Situation nicht wirklich zufriedenstellende Auskünfte über die Oxygenierung. (18)

### **Kapnometrie und -grafie**

Hierunter wird die kontinuierliche Messung des CO<sub>2</sub>-Partialdrucks im Atemgas verstanden, wobei die Kapnometrie die numerische Ausgabe und die Kapnografie die grafische Darstellung des CO<sub>2</sub>-Partialdrucks über den gesamten Atemzyklus darstellt. Das Funktionsprinzip ist dem der Pulsoxymetrie sehr ähnlich. Auch hier beruht die Messung auf der Absorption von Infrarotlicht. Dieses wird von CO<sub>2</sub>-Molekülen proportional zu deren Anzahl absorbiert und die Absorption in der Messkammer mit der Absorption eines CO<sub>2</sub>-freien Gases verglichen. Es kommen zwei Verfahren zur Anwendung: Das Hauptstromverfahren, bei dem in einer optischen Messküvette direkt nach dem Endotrachealtubus über einen darauf befestigten CO<sub>2</sub>-Sensor kontinuierlich die CO<sub>2</sub>-Konzentration gemessen wird (= „Realtime Messung“). Im Gegensatz dazu wird beim Nebenstromverfahren oder auch Seitenstromverfahren eine Atemgasprobe nach dem Endotrachealtubus abgesaugt und die CO<sub>2</sub>-Konzentration in einer Absorptionskammer gemessen. (18)

### **Respiratormonitoring**

Das Respirator- oder Maschinenmonitoring umfasst insbesondere die Überwachung der Beatmungsparameter Druck, Volumen und Frequenz. Je nach Gerätehersteller und Funktionalität können die gemessenen Größen als numerische Werte angezeigt sowie auch in Kurvenform dargestellt werden. Mithilfe des Respiratormonitorings lassen sich unter anderem auch Rückschlüsse auf die Atemmechanik bzw. deren Veränderung ziehen. Je nach Gerät können zudem unterschiedliche Kenngrößen gemessen bzw. errechnet werden. (18)

### **Blutgasanalyse**

Die oben angeführten Methoden zur Monitorisierung der Beatmung liefern meist einen zuverlässigen Rückschluss auf die Ventilation. Die Pulsoxymetrie als Parameter für die Oxygenierung liefert aufgrund der oft schlechten peripheren

Durchblutung in Reanimationssituationen häufig nur eingeschränkt brauchbare Ergebnisse. Ebenso ist bekannt, dass die kapnometrisch gemessenen CO<sub>2</sub>-Werte in der Expirationsluft aufgrund der eingeschränkten pulmonalen Perfusion nicht unmittelbar mit dem arteriellen pCO<sub>2</sub> korrelieren. Um hierbei valide Messwerte zu erhalten, bedarf es einer arteriellen Blutgasanalyse. Mittels BGA können neben dem arteriellen pO<sub>2</sub> und der SaO<sub>2</sub> als Oxygenierungs- und dem pCO<sub>2</sub> als Ventilationsparameter zusätzlich durch pH-Wert-Messung Rückschlüsse auf den Säure-Basen-Haushalt sowie ein Überblick über den Elektrolythaushalt gewonnen werden. (1,18)

### **1.3.4 Nebenwirkungen und Probleme**

Die maschinelle Atemunterstützung sowie insbesondere die vollständige Übernahme der Atmung durch ein Beatmungsgerät wie in der Reanimation bringt neben den positiven Effekten auch eine Reihe an unerwünschten Wirkungen mit sich. Diese können in hämodynamische und pulmonale Nebenwirkungen unterteilt werden. In weiterer Folge werden dadurch auch sämtliche andere Organe und physiologische Vorgänge beeinflusst, worauf hier jedoch nicht näher eingegangen werden soll. In der Reanimation kommt es aufgrund des vollständigen Fehlens der Zirkulation zu zusätzlichen Problemen.

#### **Hämodynamische Nebenwirkungen**

Das Hauptproblem der Beatmung stellen die mechanischen Effekte aufgrund des erhöhten intrathorakalen Drucks dar. Unter den hämodynamischen Nebenwirkungen werden hierbei die Auswirkungen auf die Zirkulation verstanden. Je nach Volumenstatus und Pumpfunktion des Herzens hat die Beatmung unterschiedliche Auswirkungen auf die Hämodynamik zur Folge. (18)

Das Herz und die zuführenden und abgehenden Gefäße sind Teil des intrathorakalen Kompartiments und sind somit dem intrathorakalen Druck ausgesetzt. Da die moderne Beatmung stets eine Überdruckbeatmung darstellt, kommt es zu einer Erhöhung des intrathorakalen Drucks, was in weiterer Folge zu einer Verminderung des venösen Rückstroms zum rechten Herzen führt. Dies hat eine Abnahme des enddiastolischen Volumens zur Folge (Abnahme der Vorlast), was zu einer Reduktion des Schlagvolumens führt (Frank-Starling-Mechanismus).

Diese Nebenwirkung kann man sich auch therapeutisch zu Nutze machen z. B. bei Patient\*innen mit kardiogenem Lungenödem. Weiters führt die intrathorakale Druckerhöhung zu einer Abnahme des Druckgradienten zwischen dem linken Ventrikel und den extrathorakalen Gefäßen und somit zu einer Senkung der Nachlast. (18)

### **Pulmonale Nebenwirkungen**

Pulmonale und hämodynamische Nebenwirkungen beeinflussen sich aufgrund verschiedener Mechanismen wechselseitig. So führt die Überdehnung von Lungenkompartimenten aufgrund hoher Beatmungsvolumina zu einer Kompression von Lungenkapillaren und somit zu einer Zunahme der rechtsventrikulären Nachlast. Andererseits führt die Rekrutierung nicht belüfteter Lungenabschnitte und das Offenhalten von Alveolen durch PEEP zu einer Abnahme der hypoxischen pulmonalen Vasokonstriktion (Euler-Liljestrand-Mechanismus) und somit auch zu einer Abnahme der rechtsventrikulären Nachlast. (18)

Zudem verursacht die Überdruckbeatmung mechanische Spannung („Stress“) in der Lunge. Insbesondere hohe Beatmungsdrücke und hohe Atemvolumina provozieren so beatmungsassoziierte Lungenschädigungen. (18)

### **Probleme in der Reanimation**

Wie schon in der Einleitung dieser Arbeit erwähnt, birgt speziell die Reanimation einige Herausforderungen an die Beatmung. Bei einer Beatmungsfrequenz von 10/min, wie in den aktuellen Leitlinien empfohlen, wird demnach bei einer Inspirationszeit von 2 Sekunden jeder Atemhub von 2-3 Herzdruckmassagen unterbrochen. (14)

In der Reanimation ist das Ziel der Thoraxkompressionen eine möglichst adäquate Organperfusion, insbesondere des Gehirns und des Herzens, zu erreichen. Überdruckbeatmung vermindert durch positive intrathorakale Drücke den venösen Rückstrom zum rechten Herz und kann folglich dazu beitragen, dass die hämodynamische Effektivität der Thoraxkompressionen abnimmt. Zudem trägt vor

allem Hyperventilation dazu bei, dass die koronaren Perfusionsdrücke absinken. (27,28)

Ein weiteres großes Problem in der Reanimation stellt das bestehende Ventilations-Perfusions-Missverhältnis der Lunge dar. Die maximale Ausprägung liegt vor, wenn ein Lungenkompartiment belüftet aber nicht durchblutet wird oder wenn ein Lungenkompartiment durchblutet aber nicht belüftet wird. Ersteres tritt zum Beispiel im Rahmen einer Pulmonalembolie auf, während ein klassisches Beispiel für zweiten Fall Atelektasen sind. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass bei einem Atem-Kreislaufstillstand initial beide Situationen eintreten. (18)

Es ist bekannt, dass der überwiegende Teil an Patient\*innen während der Reanimation eine Azidose aufweist (1). Pathophysiologisch ist dies mit dem Ausfall der Atmung und dem Stillstand der Zirkulation und somit der fehlenden Versorgung der Zelle erklärbar. Dies führt meist zur Ausbildung einer respiratorischen und metabolischen Azidose. Der Anstieg des  $p\text{CO}_2$  und Abfall des pH wird als Bohr-Effekt bezeichnet. Der pH Abfall führt zur Rechtsverschiebung der Sauerstoffbindungskurve. Dies hat zur Folge, dass Sauerstoff leichter an das Gewebe abgegeben werden kann (Affinität zum Hämoglobin sinkt), allerdings wird dadurch auch weniger Sauerstoff vom Hämoglobin gebunden. (18)

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Studiendesign**

Wie schon eingangs dieser Arbeit erwähnt, sind die derzeitigen Empfehlungen hinsichtlich der Beatmung in der Reanimation sehr beschränkt. In BGA-kontrollierten Untersuchungen (1,2,29) zeigte sich, dass Patient\*innen bei leitlinienkonformer Beatmung mit einer Beatmungsfrequenz von 10/min extrem hohe pCO<sub>2</sub>-Werte und einen hohen respiratorischen Anteil der fast immer bestehenden Azidose aufweisen. Die Hypothese dieser Arbeit ist, dass mit einer höheren Beatmungsfrequenz ein höheres Atemminutenvolumen erreicht und dadurch die CO<sub>2</sub>-Elimination erleichtert wird.

Zur Durchführung der Untersuchung wurde eine prospektive Datenerhebung mit Follow-up als monozentrische, randomisierte Studie gewählt. Die Patient\*innen der Standardgruppe wurden wie empfohlen mit einer Frequenz von 10/min beatmet, die der Studiengruppe mit einer Frequenz von 20/min. Das Atemhubvolumen wird anhand der allseits bekannten Formel 6-8 ml/kg Körpergewicht vorgegeben.

#### **2.1.1 Zeitraum**

Für die Erhebung der Daten war ursprünglich der Zeitraum von Ende 2018 bis Juni 2020 geplant, allerdings verzögerten sich sowohl der Start und letztlich auch das Ende, sodass die Datensammlung im Zeitraum von Juni 2019 bis Oktober 2021 stattfand.

#### **2.1.2 Population**

Die Studienpopulation bildeten Erwachsene ab dem 18. Lebensjahr, die vom Notarztsystem des LKH-Universitätsklinikum Graz gemäß dem ALS-Algorithmus während des Datenerhebungszeitraums reanimiert wurden und den Einschluss- bzw. Ausschlusskriterien entsprachen.

Folgende **Einschlusskriterien** wurden vorab definiert:

- Präklinische Reanimation gemäß Advanced Life Support
- Laufende Herzdruckmassage
- Erfolgreiche Intubation
- Reanimationsdauer > 10 Minuten

Folgende **Ausschlusskriterien** wurden definiert:

- Kinder (< 18. Lebensjahr)
- Schwangere Patientinnen
- Bereits eingetretener ROSC
- Bereits eingetretener ROSB
- Bereits zuvor nicht-geschäftsfähige Patient\*innen
- DNR (=Do not resuscitate) Order
- Vorliegende Patientenverfügung

### **2.1.3 Ziel**

Ziel ist die Evaluierung der Beatmung während laufender Herzdruckmassage beim erwachsenen Menschen. Die Hauptzielgröße ist, nachzuweisen, dass bei einer Erhöhung der Beatmungsfrequenz auch höhere Atemminutenvolumina erreicht werden. Zu untersuchende Nebenziele sind, ob höhere Atemminutenvolumina Effekte auf die CO<sub>2</sub>-Elimination, damit auf die Azidose und womöglich auf das Outcome haben.

### **2.1.4 Ethik**

Da im Rahmen der Datenerhebung auf Daten von Patient\*innen zugegriffen wurde, die zum Zeitpunkt der Behandlung nicht einwilligungsfähig waren und es sich somit um Personen einer geschützten Gruppe handelt, wurde vorab das Einverständnis der Ethikkommission eingeholt. Im Falle eines Wiedererlangens der Einwilligungsfähigkeit der Patient\*innen wäre eine Aufklärung erfolgt und eine Einverständniserklärung eingeholt worden. Die Nummer des Ethik-Antrags lautet 30-541 ex 17/18.

## **2.2 Datenverarbeitung**

### **2.2.1 Pilotphase und Zwischenanalyse**

Die ersten einschließbaren Patient\*innen wurden allesamt mit einer Beatmungsfrequenz von 20 pro Minute beatmet. Hierfür war eine Anzahl von zumindest 20 Fällen gefordert. Im Anschluss erfolgte eine Zwischenanalyse, um zu klären, ob nach den ersten Ergebnissen die Weiterführung der Studie ethisch vertretbar ist. Das Ergebnis der Zwischenanalyse wurde der Ethikkommission vorgelegt. Als vorzeitige Abbruchkriterien wurden folgende definiert:

- Erreichtes Atemzugsvolumen in einer der beiden Gruppen größer als 8ml/kg Körpergewicht
- Hochsignifikanter Unterschied des arteriellen pCO<sub>2</sub> zwischen Studien- und Standardgruppe bereits nach 10 Patienten in der durchgeführten Blutgasanalyse
- Zeichen der Hyperventilation von 3 Patienten aus der Studiengruppe im arteriellen pCO<sub>2</sub> (< 35 mmHg) bei sicherem Atemstillstand und sichergestellter, korrekt durchgeführter Blutgasanalyse

### **2.2.2 Randomisierung**

Nach erfolgter Zwischenanalyse und dem Einverständnis der Ethikkommission wurden die Patient\*innen zufällig in eine der beiden Gruppen aufgeteilt. Die Randomisierung erfolgte wochenweise durch Voreinstellung der Beatmungsfrequenz am Beatmungsgerät auf 10/min oder 20/min am Beginn der Woche.

### **2.2.3 Auswertung**

Die jeweiligen Daten wurden sowohl im Beatmungsgerät als auch im Blutgasanalysegerät sowie im elektronischen Protokoll Medea gespeichert, so dass nach dem Einsatz darauf zugegriffen werden konnte. Die Daten wurden per USB-Stick vom Beatmungsgerät entnommen und in eine Excel-Tabelle eingefügt. Dabei wurde für jeden Fall eine eigene Tabelle generiert. Die Spalten wurden durch die eingestellten Beatmungsparameter sowie durch die gemessenen Werte gebildet, die über die Zeit (Zeilen der Tabelle) minutenweise erfasst wurden.

Fehlerhafte bzw. unplausible Datensätze z. B. aufgrund einer Diskonnektion des Beatmungsgerätes wurden manuell entfernt.

Die einzelnen Beatmungsparameter und Messwerte wurden über die Zeit gemittelt und die errechneten Daten von allen Fällen in einer Tabelle zusammengefasst. Bei jenen Fällen, bei denen auch eine Blutgasanalyse erfolgte, wurde die Tabelle um die Werte aus der Blutgasanalyse ergänzt. Seitens des\*der Patient\*in wurde das Alter, das Geschlecht sowie Körpergröße und -gewicht festgehalten. Zusätzlich wurde erfasst, ob ein ROSC eingetreten ist oder die Reanimationsmaßnahmen abgebrochen wurden. Anhand der zusammengefassten Tabelle wurden mittels deskriptiver Statistik in Excel die unten angeführten Ergebnisse samt Tabellen und Diagrammen erstellt. Mittels IBM SPSS 26 (IBM Corp, Armonk, NY, USA) wurde mit dem Chi-Quadrat-Test das Überleben zwischen den beiden Beatmungsgruppen auf Signifikanz überprüft. Um die Ergebnisse der Beatmungs- und Blutgasanalyseparameter zwischen den Gruppen auf Signifikanz zu überprüfen, wurde der Mann-Whitney U-Test verwendet. Ein p-Wert von  $<0,05$  wurde als signifikant angenommen.

## **2.3 Material**

### **2.3.1 Monnal T60®**

Für die Studie wurde das Beatmungsgerät Monnal T60® (Firma AirLiquide, Frankreich) verwendet. Dieses Gerät basiert auf einer sogenannten Turbinentechnologie und erreicht damit Spitzenflow-Werte bis zu 230 l/min (30). Im Vergleich dazu findet man bei anderen üblichen Notfallrespiratoren wie z. B. dem Medumat Transport (Firma Weinmann, Deutschland) 150 l/min (bei volumenkontrollierter Beatmung 100 l/min) oder beim Modell Medumat Standard 2 vom selben Hersteller 80 l/min als maximalen Ausgangsflow (31,32).

Ein weiterer Vorteil ist, dass die Funktion dieses Gerätes nicht von dem Vordruck einer angeschlossenen Sauerstoffflasche abhängig ist, sodass die Beatmung auch ohne der externen O<sub>2</sub>-Zufuhr mit Raumluft (FiO<sub>2</sub> 0,21) möglich ist. Dies ist zwar insbesondere während der CPR nicht erwünscht, bringt jedoch den Vorteil mit

sich, dass z. B. bei erforderlichem Wechsel der Sauerstoffflasche die Beatmung weitergeführt werden kann, ohne auf eine manuelle Beatmungsmethode (Beatmungsbeutel) wechseln zu müssen.

Das Gerät zeichnet Atemvolumina sowie die eingestellten und gemessenen Ventilationsparameter intern auf. Diese Daten können im Anschluss in digitaler Form vom Gerät entnommen werden.

Die Finanzierung des Geräts erfolgte dankenswerterweise durch die Klinische Abteilung für Allgemeine Anästhesiologie, Notfall und Intensivmedizin.

### **2.3.2 epoc® Blutanalyzesystem**

Zur Durchführung der Blutgasanalysen wurde das epoc® blood analysis system (Firma Siemens Healthineers, Erlangen, Deutschland) eingesetzt. Dieses dreiteilige Point-of-care-System besteht aus einem kleinen Handcomputer, einem Reader (Lesegerät für die Probe) und einem Thermodrucker. Der große Vorteil dieses Systems ist die kabellose Funktionsweise, sodass das Gerät unmittelbar zum Einsatzort mitgenommen werden kann. Dafür befindet es sich, zusammen mit den Testkarten, in einer eigens dafür vorgesehenen Tasche.

Die Probe wird auf die Testkarte aufgetragen, die wiederum im Reader gelesen wird. Die Ausgabe der Werte erhält man am Display des Computers, der zu dem auch die Daten sichert, sowie als Ausdruck. Gemessene Werte sind dabei pH, PO<sub>2</sub>, PCO<sub>2</sub>, Na, K, iCa, Glu, Lac und Hk. Berechnet werden die Parameter TCO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub>, BE ecf, BE b, sO<sub>2</sub> und Hb. Zur Durchführung ist eine Probenmenge von mindestens 92 µL Blut notwendig und die Messung dauert für gewöhnlich weniger als eine Minute. (33)

Eine Finanzierung für das Gerät war nicht notwendig, da es zum Standardinventar des NEF Graz Ost gehört.

### **2.3.3 Medea Protokoll**

Seit 2006 verwendet das NEF Graz Ost zur Einsatzdokumentation das elektronische Notarztprotokoll Medea der Firma ilogs mobile Software GmbH. Für

die Implementierung dieses Systems wurde das steierische Notarztprotokoll in eine elektronische Form umgearbeitet und auf einem Panasonic Toughbook, ein Notebook, das speziell für erschwerte Umgebungsbedingungen geeignet ist, betrieben. Ein großer Vorteil dieses Systems ist die Bluetooth Schnittstelle zum Patientenmonitor. Dies ermöglicht die exakte Aufzeichnung von Vitalparametern, Ereignissen und EKG-Ableitungen. Das Protokoll kann zudem schon während dem Transport an das Zielkrankenhaus übermittelt werden. Ein weiterer positiver Effekt der elektronischen Dokumentation zeigt sich bei der Durchführung von wissenschaftlichen Arbeiten wie dieser. Die kontinuierliche Einsatzerfassung mit digitaler Archivierung bietet die Basis für eine vernünftige wissenschaftliche Auswertung. (34)

Speziell für Reanimationen bietet das System einen eigenen CPR Modus. Mit diesem öffnet sich eine übersichtliche Benutzeroberfläche, über die sämtliche in den Leitlinien empfohlenen Therapieschritte einfach und zeitnah eingetragen werden können. Zusätzlich erleichtern eine mitlaufende Stoppuhr sowie die Möglichkeit eines CPR-Metronoms mit einer Frequenz von 100/min die Qualitätssicherung während der Reanimation. (34)

#### **2.3.4 Sonstiges Material**

Die sonstigen verwendeten Materialien entsprechen der üblichen Standardausstattung von steirischen Notarztssystemen. So kommen für die Intubation herkömmliche Endotrachealtuben in entsprechenden Größen zum Einsatz. Die Intubation wird entweder mittels konventioneller Laryngoskopie oder Videolaryngoskopie durchgeführt. Für Ausnahmefälle besteht auch die Möglichkeit zur Verwendung des mitgeführten Bronchoskops. Als Monitor und Defibrillator kommt das Gerät Lifepak 15 (Firma Stryker/Physio Control, USA) zum Einsatz.

#### **2.4 Reanimationsablauf**

Die Versorgung des\*der Patient\*innen (Herzdruckmassage, wenn erforderlich Defibrillation, Intubation, venöser Zugang und Medikamentenapplikation) erfolgt gemäß den aktuellen Leitlinien des ERC. Nach erfolgreicher Intubation wird das Beatmungsgerät angeschlossen. Welches Beatmungsregime (Standardgruppe

10/min vs. Studiengruppe 20/min) zur Anwendung kommt, wird zufällig durch die wochenweise Voreinstellung des Beatmungsgerätes auf die Beatmungsfrequenz von 10/min oder 20/min festgelegt. Zur Einstellung der Beatmung müssen lediglich die Körpergröße und das Geschlecht eingegeben werden. Die Berechnung der Atemminutenvolumina entspricht den intensivmedizinischen Standards und wird anhand des idealisierten Körpergewichts berechnet. Die Formel dazu ist bereits im Beatmungsgerät implementiert.

Männer:  $50 + (0,91 \times (\text{Körpergröße} - 152,4))$

Frauen:  $45 + (0,91 \times (\text{Körpergröße} - 152,4))$

Die Herzdruckmassage erfolgt ohne Rücksicht auf die Beatmung bzw. den Atemzyklus mit einer Frequenz von 100/min. Nach Möglichkeit wird ein arterieller Zugang etabliert und daraus eine Probe zur Blutgasanalyse gewonnen.

Die Atemvolumina sowie die Beatmungsparameter werden intern im Beatmungsgerät gespeichert und können im Nachhinein ausgelesen werden. Ebenso werden die Ergebnisse der Blutgasanalysen im epoc® Blutanalyse-System gespeichert und können nachträglich erhoben werden. Die Protokollierung des Einsatzes sowie der Patientendaten erfolgt über das elektronische Notarztprotokoll.

## **2.5 Literaturrecherche**

Für die Einleitung dieser Arbeit wurde eine Literaturrecherche zu der entsprechenden Thematik durchgeführt und die wichtigsten Eckpfeiler ausgearbeitet. Das Hauptziel lag darin, die theoretischen Grundlagen für das Verständnis der Problematik, mit der sich diese Arbeit beschäftigt, übersichtlich zusammenzufassen. Hierzu wurden vorwiegend Fachbücher, anerkannte Leitlinien sowie diverse Publikationen aus der Datenbank Pubmed herangezogen. Die entsprechenden Quellen wurden mithilfe des Zitierprogramms Mendeley vermerkt.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Zwischenanalyse

Um die ethische Vertretbarkeit der Studie zu gewährleisten wurde, wie bereits oben erwähnt, vereinbart, dass initial alle Patient\*innen mit einer Beatmungsfrequenz von 20 pro Minute beatmet werden und eine Zwischenanalyse zur Vorlage an die Ethikkommission erstellt wird.

#### 3.1.1 Population

Im Zeitraum vom 01.06.2019 bis 31.08.2020 wurden am Notarzteinsatzfahrzeug des LKH-Univ. Klinikum Graz 74 Reanimationen durchgeführt. In 3 davon führte bereits eine Frühdefibrillation ohne Beginn einer Herzdruckmassage zum Erfolg. Bei 71 waren Herzdruckmassage sowie Beatmung notwendig und 59 davon wurden mittels Intubation und maschineller Beatmung versorgt. 29 Patient\*innen erfüllten die Einschlusskriterien und bei 15 konnten zudem Blutgasanalysen durchgeführt werden.

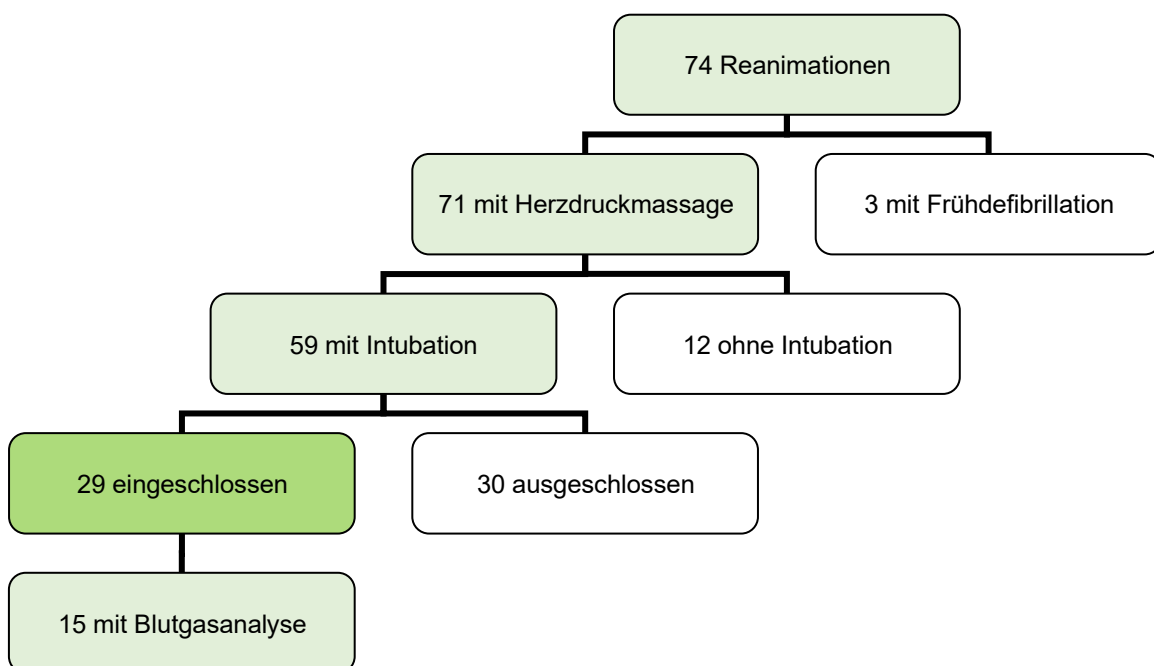
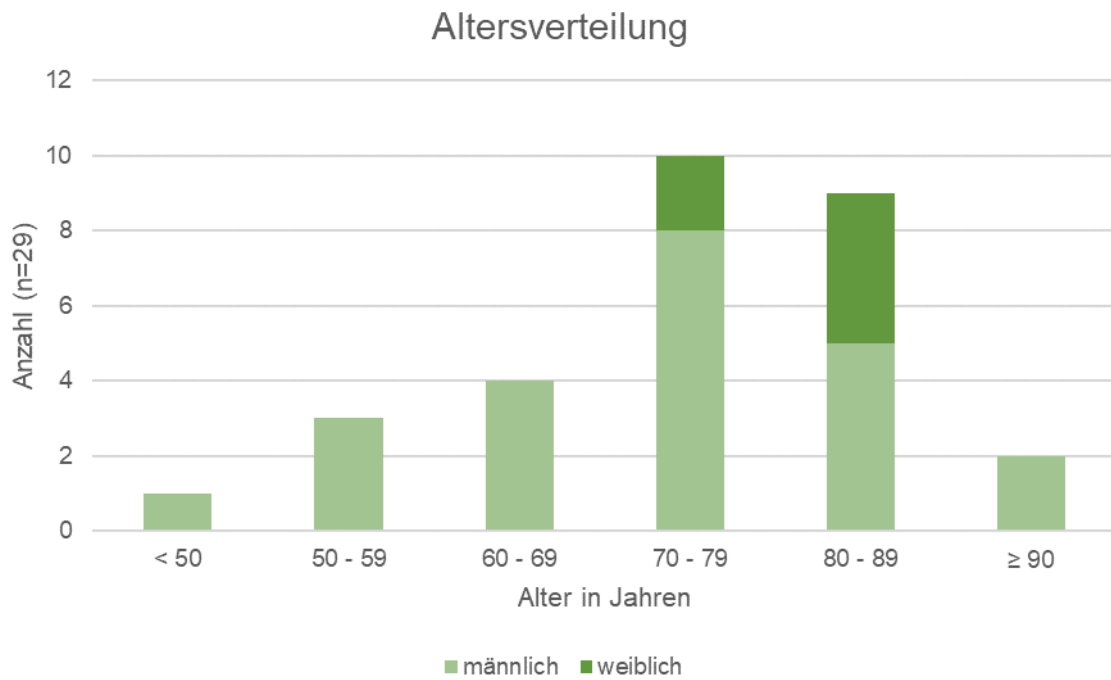


Abbildung 4: Flussdiagramm: Fallzahlen der Zwischenanalyse

Demographisch aufgeschlüsselt zeigten sich folgende Ergebnisse: 79,3 % (n=23) der eingeschlossenen Personen waren männlichen Geschlechts und 20,7 % (n=6) weiblich. Das Alter der untersuchten Gruppe lag im Median bei 77,6 Jahren. Den größten Anteil bildete die Gruppe der 70- bis 79-Jährigen.



**Abbildung 5: Balkendiagramm: Altersverteilung der eingeschlossenen Fälle der Zwischenanalyse**

### 3.1.2 ROSC-Rate

In 34,5 % (n=10) der in die Zwischenanalyse eingeschlossenen Fälle konnte primär ein ROSC („Return of spontaneous circulation“) erreicht werden, während in 65,5 % (n=19) die Reanimationsmaßnahmen nicht zum Erfolg führten und abgebrochen wurden. In Abbildung 6 ist der Anteil an ROSC und Exitus in Altersgruppen aufgeschlüsselt grafisch dargestellt.

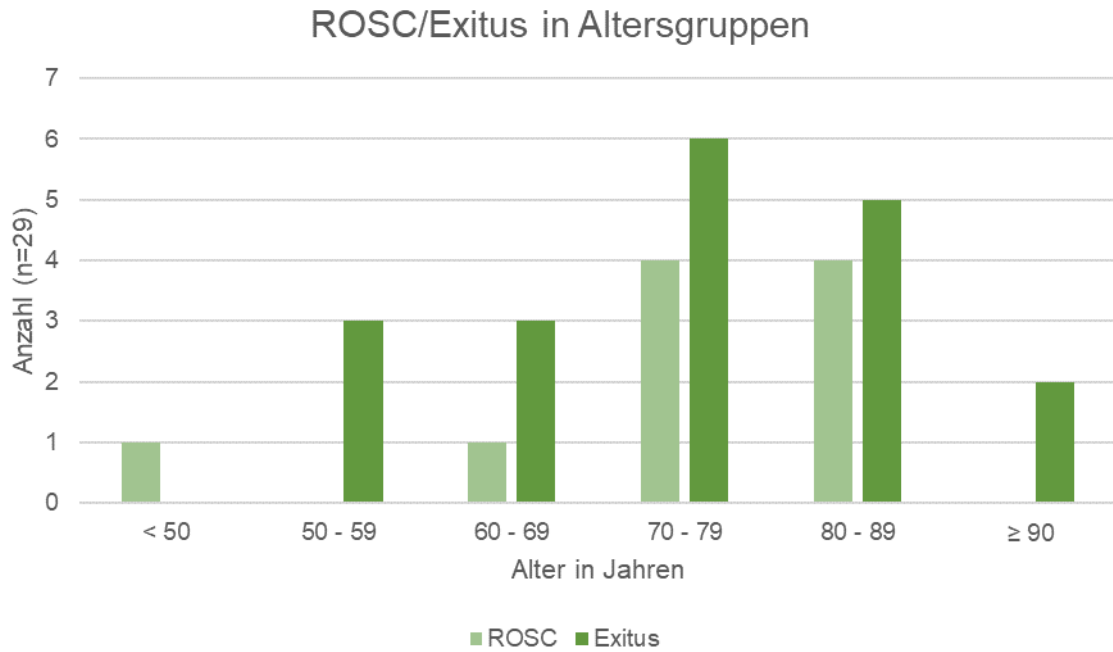


Abbildung 6: Balkendiagramm: Anteil an ROSC und Exitus in den angeführten Altersgruppen

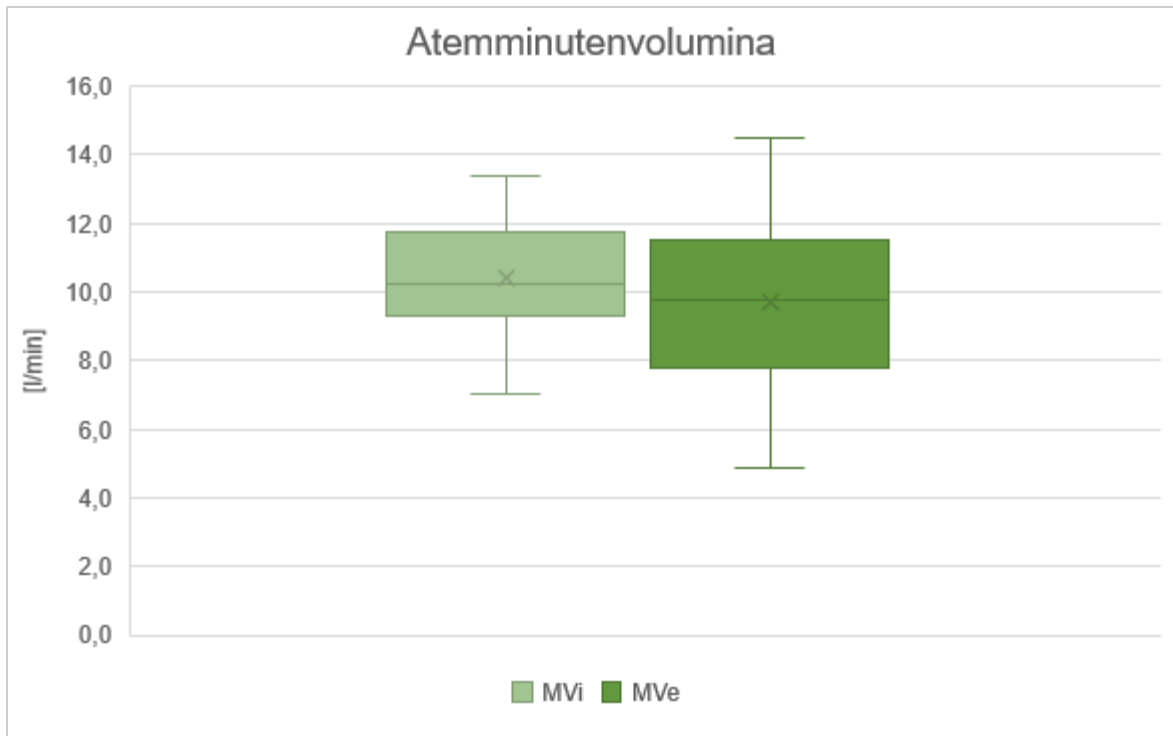
### 3.1.3 Beatmungsvolumen

Das mediane Atemhubvolumen lag bei 512,2 ml. Daraus resultierte ein medianes inspiratorisches Atemminutenvolumen von 10,2 l/min. Das expiratorische Atemminutenvolumen lag im Median bei 9,8 l/min, woraus sich eine Differenz zwischen MV<sub>i</sub> und MV<sub>e</sub> von 0,4 l/min ergab.

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse für die Parameter VT<sub>i</sub> („inspiratorisches Tidalvolumen“), MV<sub>i</sub> („inspiratorisches Minutenvolumen“) und MV<sub>e</sub> („expiratorisches Minutenvolumen“) angeführt. In Abbildung 7 sind MV<sub>i</sub> und MV<sub>e</sub> grafisch dargestellt.

	<b>VT<sub>i</sub> [ml]</b>	<b>MV<sub>i</sub> [l/min]</b>	<b>MV<sub>e</sub> [l/min]</b>
median	512,2	10,2	9,8
IQR	465,0 - 589,0	9,3 - 11,8	7,8 - 11,5
min	350,6	7,0	4,9
max	668,0	13,4	14,5

**Tabelle 1: Atemvolumina der Zwischenanalyse**



**Abbildung 7: Box-Plot-Diagramm: Atemminutenvolumina MVi und MVe der Zwischenanalyse**

### 3.1.4 etCO<sub>2</sub> und Blutgasanalyse

In 15 von 29 eingeschlossenen Fällen wurden Blutgasanalysen durchgeführt. Dabei ergab sich ein medianer pH-Wert von 6,90. Der mediane pO<sub>2</sub> lag bei 85 mmHg und der pCO<sub>2</sub> bei 58 mmHg.

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse für die Parameter pH, pO<sub>2</sub> („arterieller Sauerstoffpartialdruck“) und pCO<sub>2</sub> („arterieller Kohlendioxidpartialdruck“) aus den Blutgasanalysen sowie das etCO<sub>2</sub> aus den Aufzeichnungen des Monitors Lifepak 15 (Fa. Stryker/Physio Control, USA) oder des Beatmungsgerätes Monnal T60® (Fa. AirLiquide, Frankreich) angeführt. Da bei einem Teil der Fälle das kapnometrische Monitoring mit dem Monitor und zum Teil mit dem Beatmungsgerät durchgeführt wurde, werden sie in Tabelle 2 getrennt dargestellt.

	pH	pO <sub>2</sub> [mmHg]	pCO <sub>2</sub> [mmHg]	etCO <sub>2</sub> [mmHg] Monnal	etCO <sub>2</sub> [mmHg] LP15
median	6,90	85	58	18,8	23,4
Q1	6,84	53,05	55,7	13,7	13,4
Q3	7,07	113,5	69,7	21,3	30,2
min	6,52	40	15	10,2	6
max	7,21	218	104,2	46,3	64

**Tabelle 2: Blutgasanalyse- und etCO<sub>2</sub>-Werte der Zwischenanalyse**

In Abbildung 8 sind die etCO<sub>2</sub>-Werte der beiden kapnometrischen Aufzeichnungen sowie die pCO<sub>2</sub>-Werte der Blutgasanalysen aus Tabelle 2 nebeneinander dargestellt.

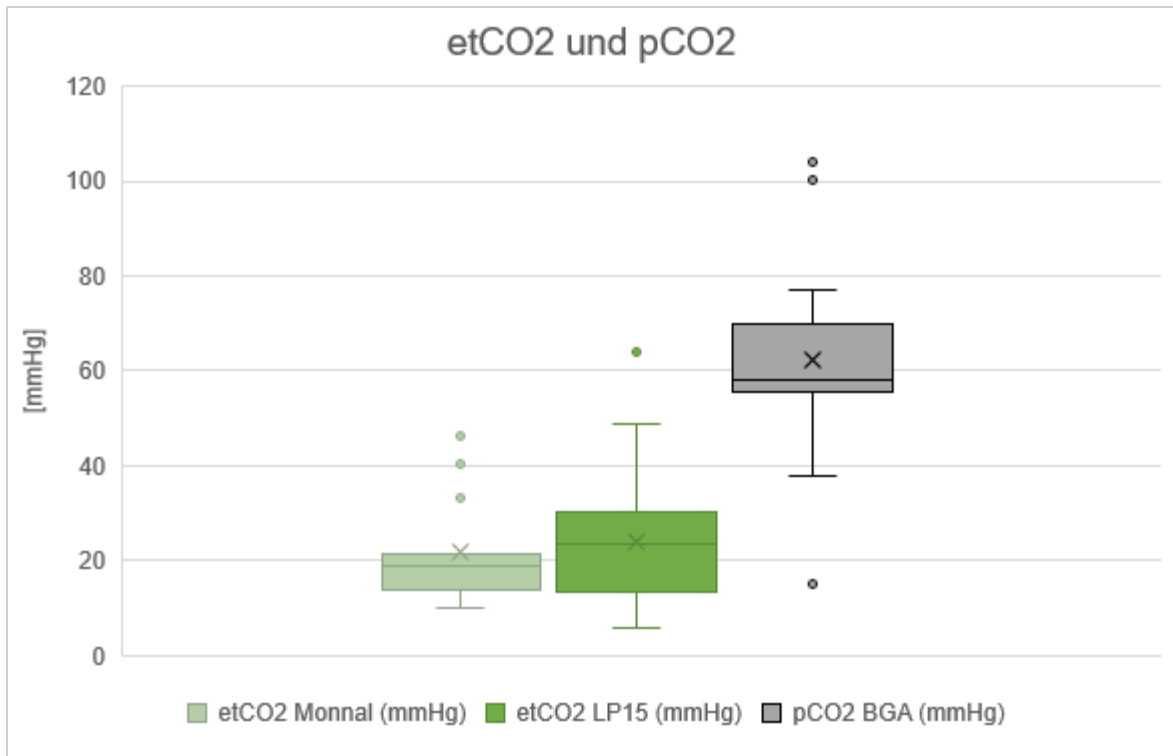


Abbildung 8: Box-Plot-Diagramm: pCO<sub>2</sub>- und etCO<sub>2</sub>-Werte der Zwischenanalyse

## 3.2 Endresultate

Nach Vorlage der Zwischenanalyse an die Ethikkommission konnte die Datenerhebung fortgesetzt und die Randomisierung begonnen werden.

### 3.2.1 Population

Im Zeitraum von 01.11.2020 bis 31.10.2021 konnten 40 Patient\*innen eingeschlossen werden. Von den eingeschlossenen Fällen waren 37,5 % (n=15) weiblichen und 62,5 % (n=25) männlichen Geschlechts. Das mediane Alter lag bei 65 Jahren. 52,5 % (n=21) der eingeschlossenen Fälle wurden mittels normofrequentem Beatmungsregime (10/min) und 47,5 % (n=19) mit hochfrequentem Beatmungsregime (20/min) beatmet.

Abbildung 9 zeigt die Alters- sowie Geschlechterverteilung der eingeschlossenen Fälle grafisch.

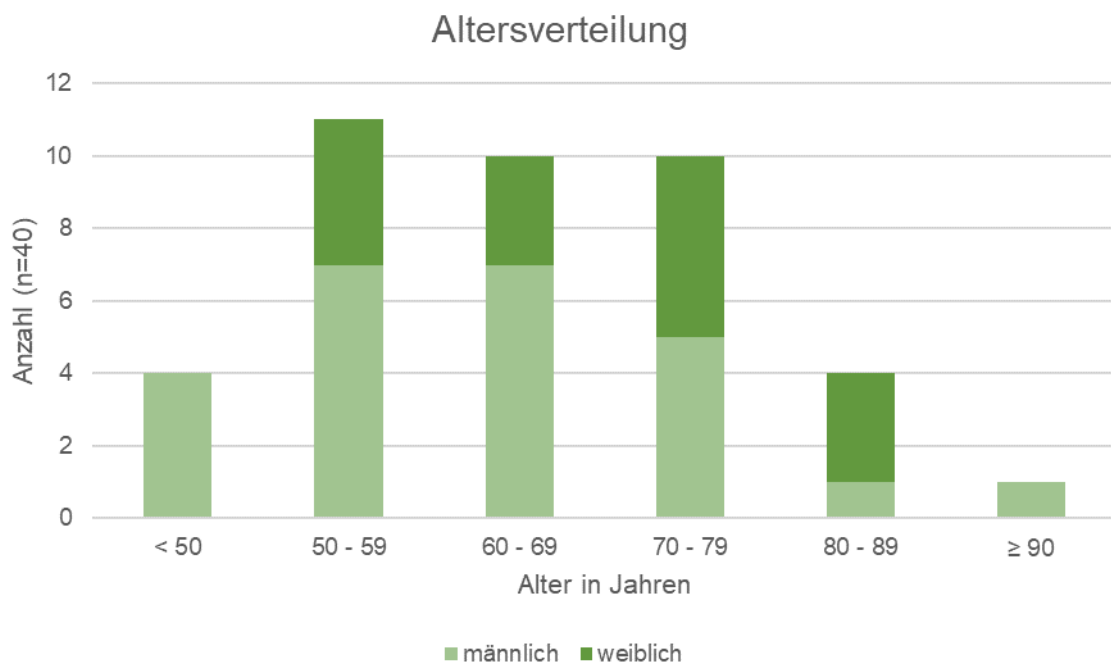


Abbildung 9: Balkendiagramm: Altersverteilung der eingeschlossenen Fälle

### 3.2.2 ROSC-Rate

#### Allgemein

Bei 47,5 % (n=19) aller eingeschlossenen Fälle konnte primär ein ROSC erzielt werden, während bei 52,5 % (n=21) die Reanimationsmaßnahmen nicht zum Erfolg führten und abgebrochen wurden. Abbildung 10 zeigt den Anteil von ROSC und Exitus verteilt auf die angeführten Altersgruppen.

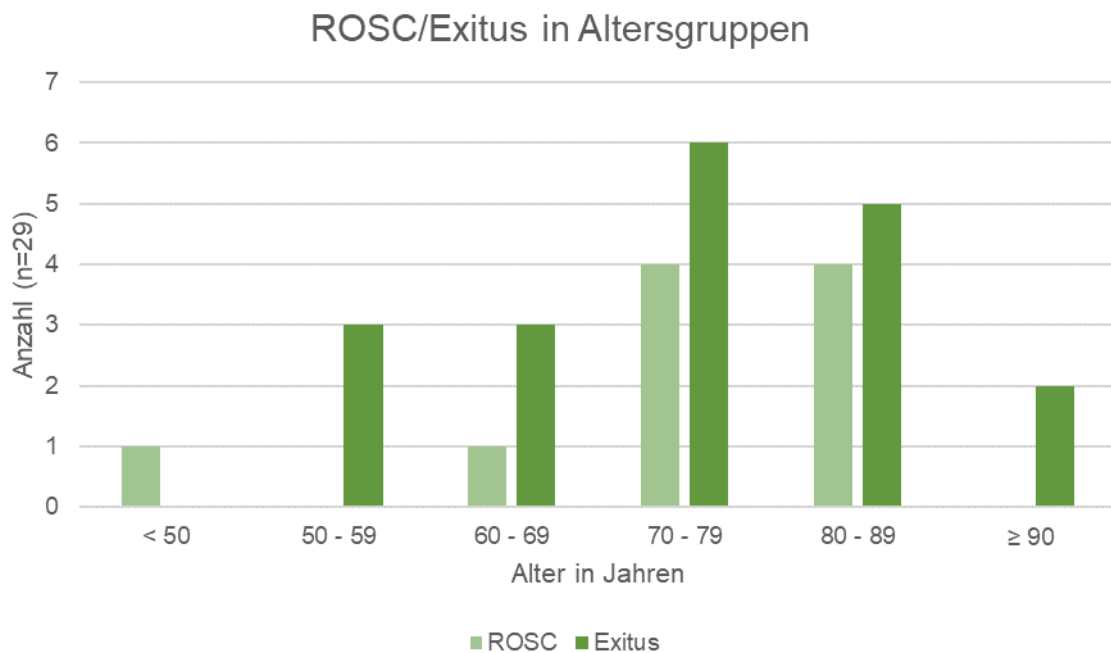
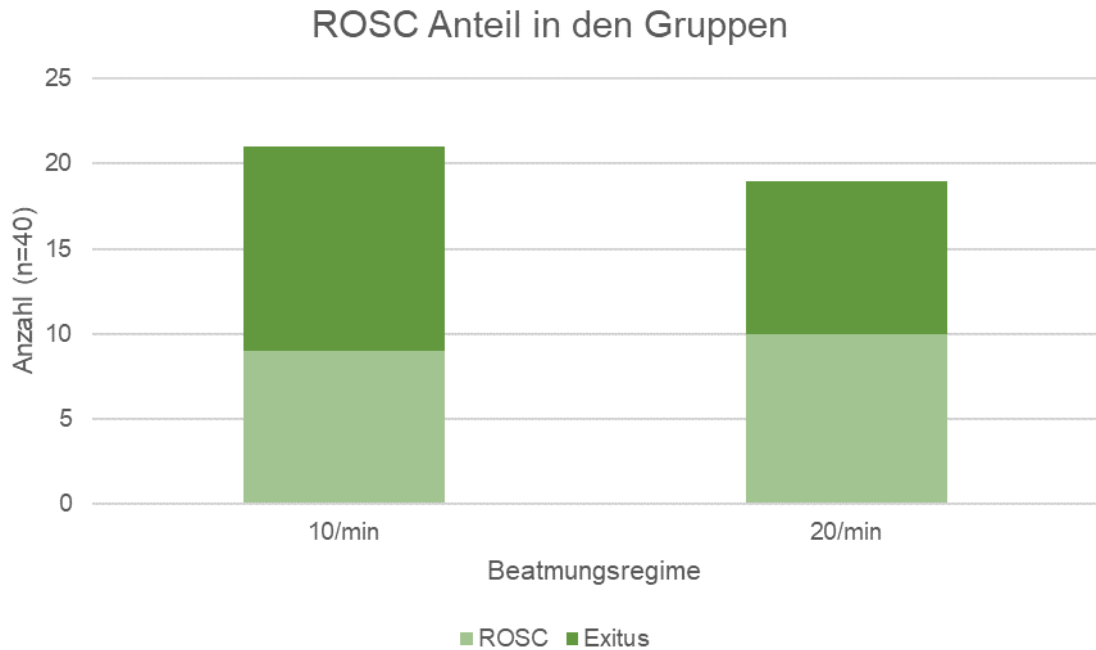


Abbildung 10: Balkendiagramm: Anteil an ROSC und Exitus in den angeführten Altersgruppen

#### Normofrequent vs. Hochfrequent

In der Gruppe mit normofrequentem Beatmungsregime (n=21) konnte in 42,9 % (n=9) der Fälle ein ROSC erreicht werden. Bei den Personen mit hochfrequentem Beatmungsregime (n=19) wurde in 52,6 % (n=10) der Fälle ein ROSC erzielt. Mittels Chi-Quadrat-Test konnte keine statistische Signifikanz nachgewiesen werden ( $p=0,763$ ).

In Abbildung 11 sind die beiden Gruppen einander grafisch gegenübergestellt.



**Abbildung 11: Balkendiagramm: ROSC Anteil in der normofrequenten und der hochfrequenten Beatmungsgruppe**

### 3.2.3 Beatmungsvolumen

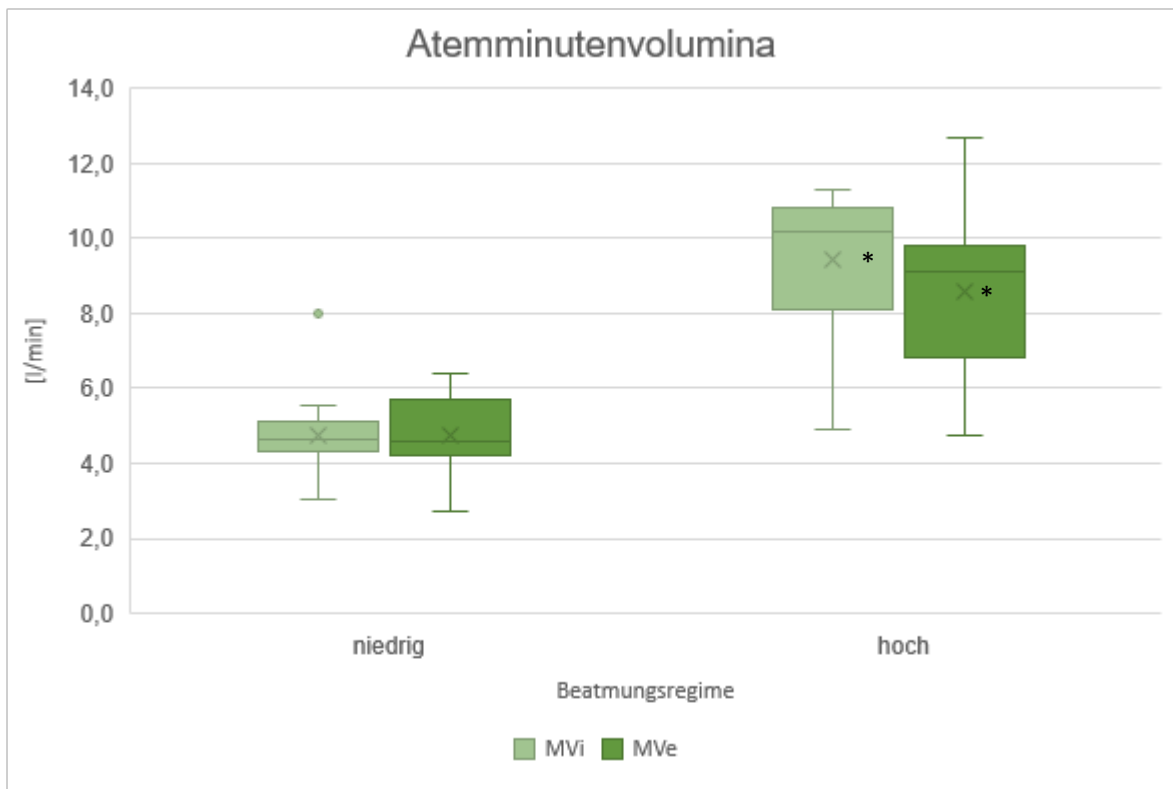
Das mediane Atemhubvolumen lag in der normofrequenten Gruppe bei 463 ml und in der hochfrequenten bei 516 ml. Bei den Minutenvolumina ergab sich daraus ein medianes inspiratorisches MV von 4,6 l/min in der normofrequenten und 10,3 l/min in der hochfrequenten Beatmungsgruppe. Das mediane expiratorische MV lag in der normofrequenten Gruppe bei 4,6 l/min und in der hochfrequenten Gruppe bei 9,1 l/min. Die Differenz ergab somit einen medianen Leak von 0,1 l/min in der normofrequenten Gruppe und 0,9 l/min in der hochfrequenten Gruppe. Mittels Mann-Whitney U-Test konnten für das MVe und MV<sub>i</sub> statistisch signifikante Ergebnisse nachgewiesen werden ( $p < 0,05$ ).

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Parameter VT<sub>i</sub> („Inspiratorisches Tidalvolumen“), MV<sub>i</sub> („Inspiratorisches Minutenvolumen“) und MVe („Expiratorisches Minutenvolumen“) sowie die Differenz von MV<sub>i</sub> und MVe (Leak) als Parameter für die Leckage angeführt.

	<b>Gesamt</b>	<b>10/min</b>	<b>20/min</b>	<b>p</b>
<b>n</b>	39	21	18	
<b>VTi [ml] median</b>	487,0	463,0	507,5	0,818
IQR	417,5 - 526,2	425,0 - 514,0	405,1 - 539,6	
min	246,0	306,0	246,0	
max	565,0	552,0	565,0	
<b>MVi [l/min] median</b>	5,4	4,6	10,2	<0,001
IQR	4,6 - 9,9	4,3 - 5,1	8,1 - 10,8	
min	3,1	3,1	4,9	
max	11,3	8,0	11,3	
<b>MVe [l/min] median</b>	6,2	4,6	9,1	0,002
IQR	4,6 - 8,6	4,2 - 5,7	6,8 - 9,8	
min	2,7	2,7	4,8	
max	12,7	6,4	12,7	
<b>Leak [l/min] median</b>	0,2	0,1	0,9	0,197

**Tabelle 3: Ergebnisse der Beatmungsvolumina**

In Abbildung 12 sind die Ergebnisse der MVi- („Inspiratorisches Minutenvolumen“) und MVe-Werte („Expiratorisches Minutenvolumen“) aus Tabelle 3 grafisch einander gegenübergestellt.



**Abbildung 12: Box-Plot-Diagramm: Verhältnis der Atemminutenvolumina MVi zu MVe in der hochfrequenten Beatmungsgruppe (hoch) und der normofrequenten Beatmungsgruppe (niedrig); \* = statistisch signifikant ( $p < 0,05$ )**

### 3.2.4 Beatmungsdruck

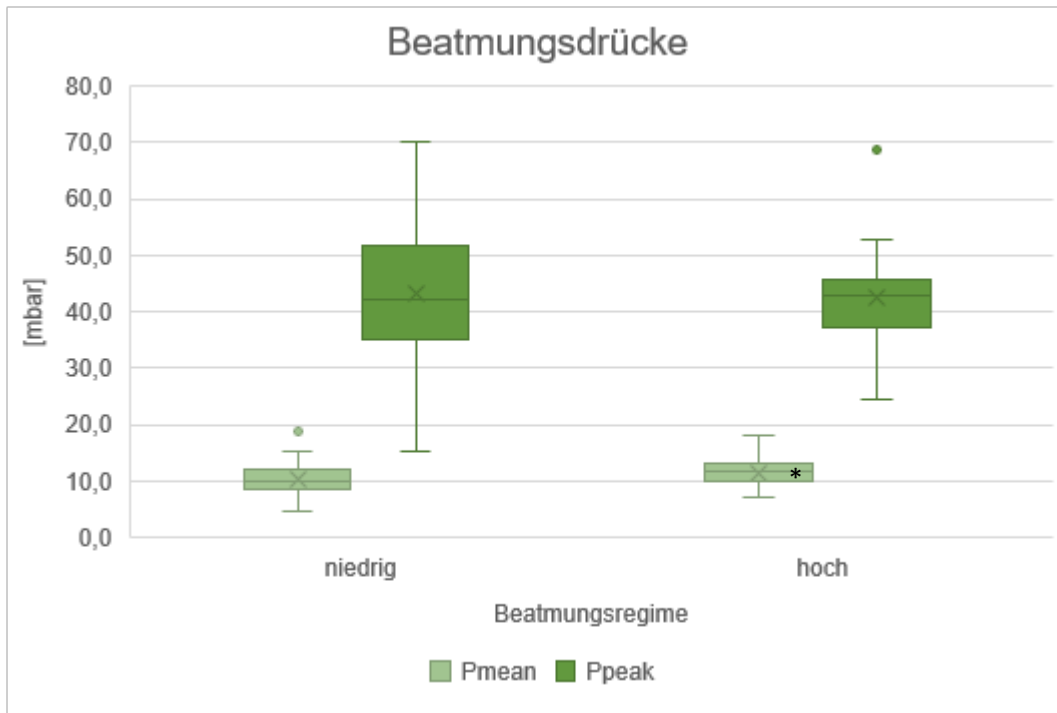
Die Auswertung der Beatmungsdrücke ergab einen medianen Beatmungsmitteldruck von 9,8 mbar in der normofrequenten und 11,7 mbar in der hochfrequenten Gruppe. Mittels Mann-Whitney U-Test wurde das  $p$  berechnet und lag bei 0,042. Somit ist das Ergebnis statistisch signifikant. Der Spitzendruck lag in der normofrequenten Gruppe im median bei 42,0 mbar und in der hochfrequenten Gruppe bei 42,5 mbar.

Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse des Beatmungsmitteldrucks ( $P_{\text{mean}}$ ) sowie des Beatmungsspitzendrucks ( $P_{\text{peak}}$ ) in den beiden Gruppen.

	<b>Gesamt</b>	<b>10/min</b>	<b>20/min</b>	<b>p</b>
<b>n</b>	39	21	18	
<b>Pmean [mbar] median</b>	10,4	9,8	11,7	0,042
IQR	9,1 - 13,0	8,5 - 11,9	9,8 - 13,1	
min	4,5	4,5	6,9	
max	18,7	18,7	17,9	
<b>Ppeak [mbar] median</b>	42,5	42,0	42,7	0,697
IQR	36,7 - 49,4	35,2 - 51,7	37,1 - 45,7	
min	15,2	15,2	24,4	
max	70,2	70,2	68,6	

**Tabelle 4: Ergebnisse der Beatmungsdrücke**

In Abbildung 13 sind die Ergebnisse zu den Beatmungsdrücken aus Tabelle 4 grafisch dargestellt.



**Abbildung 13: Box-Plot-Diagramm: Beatmungsmitteldruck und Beatmungsspitzenwert in der hochfrequenten (hoch) und normofrequenten (niedrig) Beatmungsgruppe; \* = statistisch signifikant ( $p < 0,05$ )**

### 3.2.5 etCO<sub>2</sub>

Bei 30 von 40 eingeschlossenen Fällen wurden valide etCO<sub>2</sub>-Werte aufgezeichnet. In 10 Fällen standen keine validen Werte zur Auswertung zu Verfügung. Im Median lag das endtidale CO<sub>2</sub> in der normofrequenten Gruppe bei 27,6 mmHg und in der hochfrequenten Gruppe bei 26,0 mmHg.

In Tabelle 5 sind die Ergebnisse der etCO<sub>2</sub>-Aufzeichnungen angeführt. In 10 Fällen standen keine etCO<sub>2</sub>-Aufzeichnungen zur Verfügung.

	<b>Gesamt</b>	<b>10/min</b>	<b>20/min</b>	<b>p</b>
<b>n</b>	30	17	13	
<b>etCO<sub>2</sub> [mmHg] median</b>	26,8	27,6	26,0	0,992
IQR	20,1 - 42,6	20,0 - 41,5	22,0 - 43,0	
min	6,0	6,0	8,9	
max	72,0	72,0	62,0	

**Tabelle 5: Ergebnisse der etCO<sub>2</sub>-Werte**

### **3.2.6 Blutgasanalyse**

Bei 22 von 40 eingeschlossenen Fällen wurden Blutgasanalysen durchgeführt. Die medianen pH-Werte lagen bei 6,88 in der normofrequenten Gruppe und bei 6,83 in der hochfrequenten Gruppe. Der pCO<sub>2</sub> lag im Median bei 89 mmHg in der normofrequenten Gruppe und bei 78 mmHg in der hochfrequenten Gruppe. Die medianen pO<sub>2</sub>-Ergebnisse lagen bei 60,4 mmHg in der normofrequenten und bei 55,0 mmHg in der hochfrequenten Gruppe.

In Tabelle 6 sind die Ergebnisse für die Parameter pH, pO<sub>2</sub> („arterieller Sauerstoffpartialdruck“) und pCO<sub>2</sub> („arterieller Kohlendioxidpartialdruck“) angeführt.

	<b>Gesamt</b>	<b>10/min</b>	<b>20/min</b>	<b>p</b>
<b>n</b>	22	13	9	
<b>pH median</b>	6,86	6,88	6,83	0,741
IQR	6,78 - 6,95	6,80 - 6,93	6,65 - 7,05	
min	6,50	6,50	6,50	
max	7,14	7,09	7,14	
<b>pO2 [mmHg] median</b>	58,7	60,4	55,0	0,103
IQR	50,5 - 79,0	52,6 - 68,0	50,0 - 95,9	
min	5,0	5,0	32,9	
max	177,0	88,0	177,0	
<b>pCO2 [mmHg] median</b>	83,5	89,0	78,0	0,728
IQR	71,8 - 104,8	74,0 - 105,6	51,1 - 91,6	
min	50,4	53,9	50,4	
max	123,0	123,0	120,0	

**Tabelle 6: Ergebnisse der Blutgasanalysen**

In Abbildung 14 werden die Ergebnisse des pH-Werts grafisch dargestellt. Abbildung 15 zeigt die Ergebnisse der etCO<sub>2</sub>-Werte aus Tabelle 5 und der pCO<sub>2</sub>-Werte aus Tabelle 6 grafisch nebeneinander dargestellt.

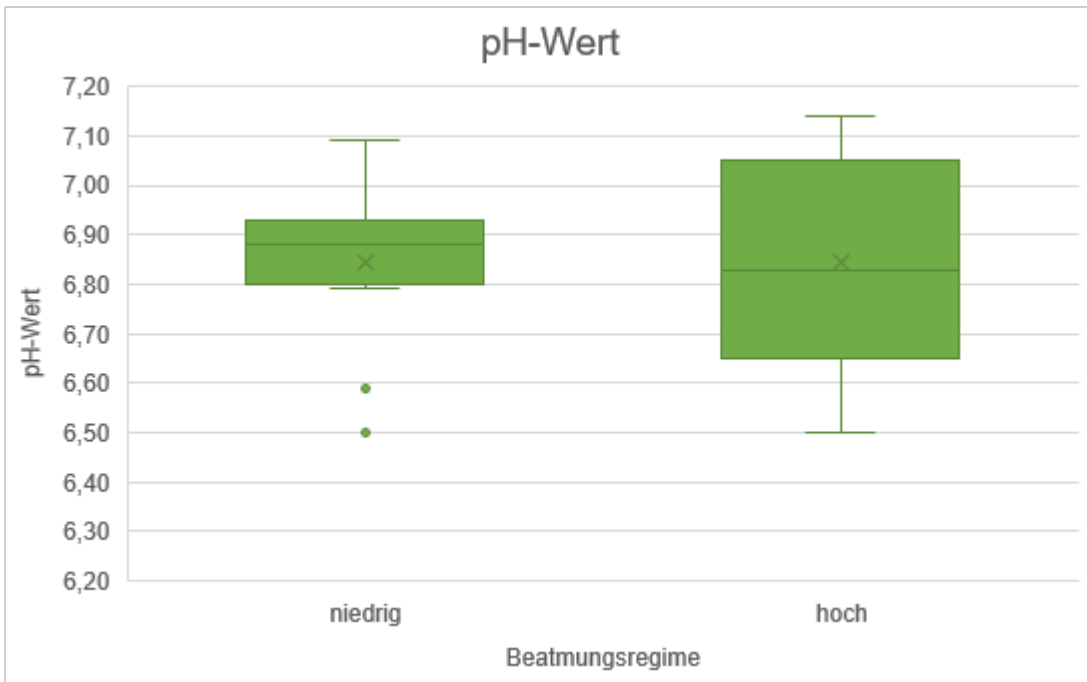


Abbildung 14: Box-Plot-Diagramm: pH-Wert-Ergebnisse in der hochfrequenten (hoch) und normofrequenten (niedrig) Beatmungsgruppe

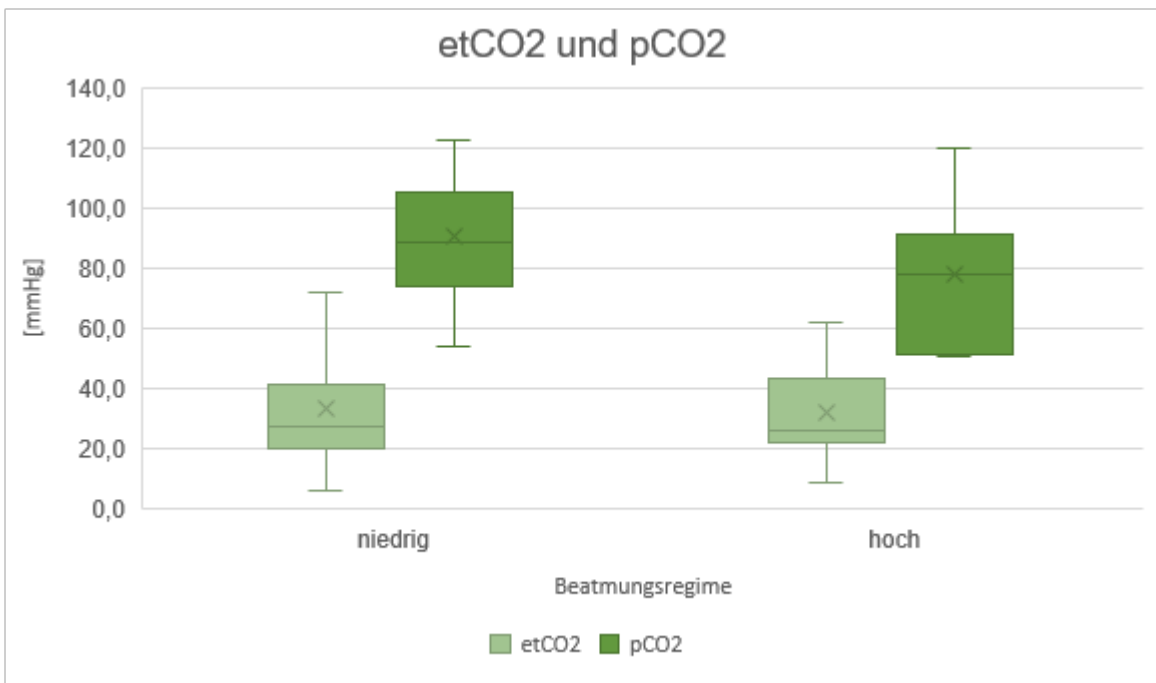


Abbildung 15: Box-Plot-Diagramm: Verhältnis etCO<sub>2</sub>- zu pCO<sub>2</sub>-Werten

### 3.2.7 Ergebnisse nach ROSC und Exitus

In Tabelle 7 sind die medianen Parameter der beiden Beatmungsgruppen weiter aufgeschlüsselt in ROSC und Exitus.

	10/min			20/min		
	ROSC	Exitus	<i>p</i>	ROSC	Exitus	<i>p</i>
<b>VTi [ml]</b>	512,7	440,9	0,582	520	414,3	0,490
<b>MVi [l/min]</b>	5,1	4,5	0,841	10,4	8,3	0,711
<b>MVe [l/min]</b>	4,9	4,4	0,379	9,6	6,8	0,424
<b>Pmean [mbar]</b>	9,5	10,1	0,968	11,6	11,8	0,484
<b>Ppeak [mbar]</b>	38,7	43,3	0,749	42,5	42,9	0,589
<b>etCO2 [mmHg]</b>	40,8	25,2	0,920	45,0	25,1	0,757
<b>pH</b>	6,93	6,81	0,772	6,90	6,81	0,660
<b>pO2 [mmHg]</b>	65,9	55,0	0,596	64,8	52,3	0,308
<b>pCO2 [mmHg]</b>	74,5	93,2	0,936	78,0	71,3	0,897

Tabelle 7: Ergebnisse nach ROSC und Exitus

#### Beatmungsvolumen

In der ROSC Gruppe zeigte sich ein medianes Atemhubvolumen von 512,7 ml bei jenen mit normofrequenten Beatmungsregime und 523,5 ml bei jenen mit hochfrequentem Beatmungsregime. In der Exitus Gruppe lag der Median des Atemhubvolumens bei 440,9 ml bei jenen mit normofrequenter Beatmung und bei 414,3 ml bei jenen mit hochfrequenter Beatmung.

#### Beatmungsdruck

Bei jenen Patient\*innen mit ROSC fand sich ein medianer Beatmungsmitteldruck von 9,5 mbar mit normofrequenter Beatmung und von 11,7 mbar mit hochfrequenter Beatmung. In der Exitus Gruppe zeigte sich mit normofrequenter

Beatmung ein medianer Beatmungsmitteldruck von 10,1 mbar und mit hochfrequenter Beatmung von 11,8 mbar.

### **etCO<sub>2</sub>**

Bei normofrequenter Beatmung zeigte sich in der ROSC Gruppe ein medianes etCO<sub>2</sub> von 40,8 mmHg und in der Exitus-Gruppe von 25,2 mmHg. Bei hochfrequenter Beatmung fand sich in der ROSC-Gruppe ein medianes etCO<sub>2</sub> von 45 mmHg und in der Exitus-Gruppe von 25,1 mmHg.

### **Blutgasanalyse**

Mit normofrequenter Beatmung zeigte sich bei den ROSC-Patient\*innen ein medianer pO<sub>2</sub> von 65,9 mmHg und in der Exitus-Gruppe von 55 mmHg. Mit hochfrequenter Beatmung fand sich in der ROSC-Gruppe ein medianer pO<sub>2</sub> von 64,8 mmHg und in der Exitus-Gruppe von 52,3 mmHg.

## **4 Diskussion**

### **4.1 Ergebnisse**

Im Folgenden sollen die Ergebnisse aus Kapitel 3 dieser Arbeit interpretiert und diskutiert werden, sowie der Vergleich zu ähnlichen Arbeiten bzw. zu bestehender Literatur erfolgen. Zudem werden die Limitationen bezüglich der Aussagekraft der Resultate behandelt.

#### **4.1.1 Zwischenanalyse**

In die Zwischenanalyse konnten 29 Patient\*innen eingeschlossen werden. Ausschlussgründe waren üblicherweise eine nicht dem Studienprotokoll entsprechende Beatmungsfrequenz und das Verwenden eines anderen Beatmungsgerätes bzw. die Beatmung mittels Beatmungsbeutel. Weiters war in Einzelfällen keine Herzdruckmassage aufgrund frühzeitiger Defibrillation und somit auch keine Intubation notwendig. In 11 Fällen wurde auf andere Mittel des Atemwegsmanagements zurückgegriffen.

Auffällig ist die schiefe Verteilung zwischen den Geschlechtern, wobei lediglich 6 der 29 eingeschlossenen Fälle (20,7 %) weiblichen Geschlechts waren. In einer retrospektiven Arbeit aus Kanada (35) in die 7287 Patient\*innen über einen Zeitraum von 6 Jahren eingeschlossen wurden, zeigte sich ebenfalls, dass der Anteil weiblicher Patientinnen bei außerklinischen Herz-Kreislaufstillständen mit 30,8 % deutlich geringer ist, insbesondere an öffentlichen Orten sowie beobachtete Herz-Kreislaufstillstände.

Von den 29 eingeschlossenen Fällen konnte in 10 Fällen ein ROSC erreicht werden, was einer ROSC-Rate von 34,5 % entspricht. Damit liegt der Anteil an ROSC in etwa auf Höhe der vom Deutschen Reanimationsregister veröffentlichten Zahlen für außerklinische Reanimationen im Jahr 2020 (36).

Die Auswertung der Atemvolumina der Zwischenanalyse ergab ein medianes Atemhubvolumen von 512,2 ml, ein inspiratorisches Minutenvolumen von 10,2 l/min und ein expiratorisches Minutenvolumen von 9,8 l/min. Daraus lässt

sich schließen, dass ein Großteil des am Beatmungsgerät voreingestellten Volumens mit dem Turbinenbeatmungsgerät trotz fortlaufender Herzdruckmassage auch erreicht werden konnte. Das mediane Atemhubvolumen war für erwachsene Personen in der Höhe erwartungsgemäß. Mit der Beatmungsfrequenz von 20/min ergaben sich Minutenvolumina, die über dem physiologischen Atemminutenvolumen liegen. Dies ermöglichte, die Hypothese zu prüfen, ob mit einem erhöhten Beatmungsvolumen der respiratorische Anteil der Azidose während Kreislaufstillstand minimiert werden kann.

Die endexpiratorischen  $\text{CO}_2$ -Werte präsentierten sich für Reanimationssituationen erwartungsgemäß niedrig, was in der Regel allen voran der pulmonalen Minderperfusion geschuldet ist. Zwar ist unter anderem in Lehrbüchern zu entnehmen, dass  $\text{CO}_2$  vor allem ventilationsabhängig ist, allerdings trifft dies nur auf physiologische Verhältnisse zu (18). Insbesondere bei Reanimationspatient\*innen korrelieren endtidales und arterielles  $\text{pCO}_2$  kaum und die physiologische Differenz von 3-8 mmHg ist für gewöhnlich deutlich erhöht (37).

Die arteriellen  $\text{pCO}_2$ -Werte zeigten sich im Median mit 58 mmHg deutlich hyperkapnisch. Dies zeigt, dass selbst mit erhöhtem Atemminutenvolumen Patient\*innen in der Reanimation üblicherweise hypoventiliert werden. Eine arterielle Hypokapnie kam äußerst selten vor. Lediglich bei einem einzigen der eingeschlossenen Fälle mit Blutgasanalyse zeigte sich ein erniedrigter  $\text{pCO}_2$ -Wert von 15 mmHg. Vergleichbare bereits durchgeführte Untersuchungen (1,2) zeigten ähnliche Resultate mit meist erhöhten  $\text{pCO}_2$ -Werten und nur sehr selten vorkommender arterieller Hypokapnie, was darauf schließen lässt, dass der überwiegende Teil an Patient\*innen in der Reanimation hypoventiliert wird. Auch eine durchgeführte vorläufige Auswertung (38), die Patient\*innen dieser Studie mit einer Kontrollgruppe verglich – die Kontrollgruppe wurde mit einem gewöhnlichen nicht-turbinengetriebenen Beatmungsgerät und einer Frequenz von 10/min beatmet – zeigte, dass die Hyperventilation von Reanimationspatient\*innen mit außerklinischem Herz-Kreislaufstillstand ungewöhnlich ist.

Limitierend sei zu erwähnen, dass die arterielle Blutentnahme in den einzelnen Fällen zu unterschiedlichen Zeitpunkten erfolgte. Dies ist zum einen der teils

unbekannten Delay-Zeit (= Intervall zwischen Eintritt des Kreislaufstillstandes und Beginn der Reanimationsmaßnahmen) geschuldet und zum anderen den unterschiedlichen Gegebenheiten in der Praxis, da die allgemeinen Maßnahmen nach Advanced Life Support stets Vorrang hatten.

#### **4.1.2 ROSC-Rate**

Von allen eingeschlossenen Fällen (n=40) wurde in 47,5 % das Primärziel der Reanimation, ein ROSC, erzielt. In der normofrequenten Beatmungsgruppe konnte in 42,9 % (n=9) ein ROSC erreicht werden. Bei der hochfrequenten Beatmungsgruppe kam es in 52,6 % (n=10) der eingeschlossenen Fälle zu einem ROSC. Damit liegt die ROSC-Rate in der hochfrequenten Beatmungsgruppe annähernd 10 % höher als in der Gruppe, die mit der üblichen Beatmungsfrequenz von 10 pro Minute beatmet wurde. Allerdings ist das Ergebnis nach Chi-Quadrat-Test nicht signifikant (p = 0,763).

#### **4.1.3 Beatmungsvolumen**

Für die Gruppe mit normofrequenter Beatmung ergab sich ein medianes inspiratorisches und expiratorisches Atemminutenvolumen von je 4,6 l/min. Die Gruppe mit hochfrequentem Beatmungsregime erreichte hingegen annähernd doppelt so hohe Volumina mit einem medianen MV<sub>i</sub> von 10,3 l/min (p<0,001) und MV<sub>e</sub> von 9,1 l/min (p<0,002). Damit ist der Unterschied zur normofrequenten Beatmung auch statistisch signifikant. Es ist somit durchaus möglich, insbesondere mit Beatmungsgeräten mit hohem Flow, trotz fortlaufender Herzdruckmassage höhere Beatmungsvolumina zu erreichen.

Es zeigt sich jedoch auch, dass bei höherem Atemminutenvolumen die Leckage ansteigt. Während sich in der normofrequenten Gruppe lediglich eine Differenz von 0,1 l/min zwischen MV<sub>i</sub> und MV<sub>e</sub> zeigte, ergab sich in der hochfrequenten Beatmungsgruppe eine Differenz von 0,9 l/min.

Vergleicht man die Beatmungsvolumina zwischen den Gruppen ROSC und Exitus, so ist auffallend, dass in den ROSC-Fällen im Median auch höhere Beatmungsvolumina, sowohl mit normofrequenter als auch mit hochfrequenter Beatmung, erreicht wurden. In der ROSC Gruppe lag das Atemhubvolumen bei

normofrequenter Beatmung im Median bei 512,7 ml und bei hochfrequenter Beatmung bei 523,5 ml, während in der Exitus Gruppe lediglich 440,9 ml und 414,3 ml erreicht wurden. Gleiches spiegelt sich in den Ergebnissen für MV<sub>i</sub> und MV<sub>e</sub> wider. Im Zuge der Datenerfassung wurde die Delay-Zeit (= Intervall zwischen Kreislaufstillstand und Beginn der Reanimationsmaßnahmen) nicht erfasst. Allerdings ist bekannt, dass wohl einer der wichtigsten Faktoren für das Überleben, der möglichst rasche Beginn der CPR ist (39,40). Ein verzögerter Beginn minimiert also die Chancen für einen ROSC. Gleichzeitig führt die ausbleibende Lungenperfusion pathophysiologisch zum Ausbilden von Atelektasen, was die Beatmungssituation zusätzlich verschlechtern kann. Zudem wurden etwaige Vorerkrankungen, die möglicherweise auch die Atemmechanik (Resistance und Compliance der Lunge und Thorax) beeinflussen in der Auswertung nicht miterfasst. Es ist jedoch denkbar, dass Patientengut mit derartigen Vorerkrankungen nicht zuletzt aufgrund dieser auch eine niedrigere ROSC-Rate aufweist.

#### **4.1.4 Beatmungsdruck**

Der mediane Beatmungsmitteldruck unterschied sich zwischen den beiden Gruppen nur geringfügig mit 9,8 mbar in der normofrequenten und 11,7 mbar in der hochfrequenten Gruppe, allerdings ist das Ergebnis statistisch signifikant ( $p=0,042$ ). Die Beatmungsspitzen drücke lagen bei 42 mbar in der normofrequenten Gruppe und 42,5 mbar in der hochfrequenten Gruppe. Der Unterschied hierbei scheint vernachlässigbar und ist auch statistisch nicht signifikant.

#### **4.1.5 etCO<sub>2</sub>**

Die kapnometrischen CO<sub>2</sub>-Werte zeigten sich in beiden Gruppen für Reanimationssituationen typisch hypokapnisch. Für die normofrequente Gruppe ergab sich ein medianes etCO<sub>2</sub> von 27,6 mmHg und für die hochfrequente Gruppe von 26 mmHg. Auch die Quartile und die Minimal- und Maximalwerte der Aufzeichnungen lassen darauf schließen, dass der Frequenzunterschied von 10 zu 20 Beatmungen in der Minute zumindest auf die endexpiratorischen CO<sub>2</sub>-Werte keinen allzu großen Einfluss haben dürfte. Betrachtet man hingegen die

arteriell gemessenen  $p\text{CO}_2$ -Werte lässt dies darauf schließen, dass die Kapnometrie ein schlechter Parameter zur Beurteilung und Adaptation der Beatmung in der Reanimation sein dürfte. Selbiges zeichnete sich auch in der bereits oben erwähnten vorläufigen Auswertung mit Patient\*innen dieser Arbeit und einer Kontrollgruppe ab (38). Eine ebenso oben schon erwähnte Arbeit untersuchte die Korrelation zwischen arteriellem und endexpiratorischem Kohlendioxidpartialdruck und zeigte, dass bei einem Großteil von Notfallpatient\*innen, darunter auch Reanimationspatient\*innen, die Kapnometrie keine verlässliche Aussage zur Beurteilung der Qualität der Beatmung zulässt (37). Auch Belpomme et al. (41) untersuchten 2005 die Korrelation zwischen  $p\text{CO}_2$  und  $\text{etCO}_2$  im prähospitalen Setting und kamen zu ähnlichen Ergebnissen.

Das mediane endtidale  $\text{CO}_2$  im Vergleich zwischen ROSC und Exitus ist in der ROSC Gruppe deutlich höher, aber nicht statistisch signifikant. So erreichten Patient\*innen mit ROSC und normofrequenter Beatmung im Median ein  $\text{etCO}_2$  von 40,8 mmHg und jene mit hochfrequenter Beatmung von 45 mmHg, wohingegen in der Exitus Gruppe die medianen  $\text{etCO}_2$ -Werte lediglich bei 25,2 mmHg und 25,1 mmHg lagen. Diese Auswertung zeigt, dass die Erhöhung der Beatmungsfrequenz offensichtlich keinen massiven Einfluss auf die Höhe des endexpiratorischen Kohlendioxidpartialdrucks hat. Sehr wohl jedoch ist ein Unterschied zwischen den Fällen mit primärem Überleben und den Fällen, in denen die Reanimationsmaßnahmen abgebrochen wurden, erkennbar.

Diese Erkenntnis zeigte sich auch schon früher (2). Der endexpiratorische  $\text{CO}_2$ -Partialdruck dürfte zwar wie schon oben erwähnt kein guter Parameter zur Beurteilung der Beatmungsqualität sein, jedoch besteht durchaus eine Korrelation zwischen  $\text{etCO}_2$ , cardiac index, Koronarperfusion und zerebraler Perfusion (42). Sheak et al. (43) und Murphy et al. (44) zeigten in Studien den Einfluss der Qualität der Herzdruckmassage auf die Höhe des endtidalen Kohlendioxidpartialdrucks. Auch in den Leitlinien des ERC zum Advanced Life Support (14) wird darauf hingewiesen, dass ein plötzlicher Anstieg des  $\text{etCO}_2$  auf einen möglichen ROSC hinweisen könnte. Zusammenfassend lässt sich somit sagen, dass zur Beurteilung und Adaptation der Beatmung in der Reanimation

lediglich die Blutgasanalyse valide Parameter liefert. Das endexpiratorisch abgeleitete CO<sub>2</sub> kann jedoch als Indikator für die pulmonale Perfusion und unter Umständen auch als Prädiktor für das Outcome fungieren, wobei vor allem zweiteres sicherlich mit großer Vorsicht zu beurteilen ist.

#### **4.1.6 Blutgasanalyse**

Bei 22 von 40 eingeschlossenen Fällen konnten Blutgasanalysen durchgeführt werden. Mit medianen pH-Werten von 6,88 in der normo- und 6,83 in der hochfrequenten Gruppe zeigten beide Gruppen eine ausgeprägte Azidämie. Trotz größerer Beatmungsvolumina in der hochfrequenten Beatmungsgruppe, hatte die Beatmung, zumindest auf das BGA-untersuchte Kollektiv, keine nennenswerten Effekte auf die Verminderung der Azidose (= Erhöhung des pH-Wertes).

Ebenso sind die Unterschiede in der Oxygenierung marginal. Während sich bei 10 Beatmungshüben pro Minute ein medianer pO<sub>2</sub> von 60,4 mmHg ergab, erreichte die Gruppe mit 20 Beatmungshüben pro Minute 55 mmHg. Der pCO<sub>2</sub> lag mit 78 mmHg in der hochfrequenten Gruppe im Median etwas niedriger als in der normofrequenten Gruppe, wo sich ein medianer pCO<sub>2</sub> von 89 mmHg ergab. Wie die Ergebnisse der Beatmungsvolumina zeigen, ist es durchaus möglich größere Minutenvolumina zu erzielen mit der Intention die CO<sub>2</sub>-Elimination zu verbessern. Letztlich dürfte jedoch das im Kreislaufstillstand deutlich ausgeprägte Ventilations-Perfusions-Missverhältnis die limitierende Komponente sein das anfallende CO<sub>2</sub> auch zu eliminieren.

Ähnlich zum etCO<sub>2</sub> verhielten sich auch die BGA-Ergebnisse zwischen den Gruppen ROSC und Exitus. In der ROSC Gruppe lag der mediane pH-Wert bis zu 0,12 über dem der Exitus Gruppe. Auch in den pO<sub>2</sub>- und pCO<sub>2</sub>-Werten ist dieselbe Tendenz erkennbar. So erreichten die normo- und hochfrequent beatmeten Patient\*innen mit ROSC mediane pO<sub>2</sub>-Werte von 65,9 mmHg und 64,8 mmHg und jene mit Exitus 55 mmHg und 52,3 mmHg. Damit lässt sich sagen, dass in den ROSC-Fällen, während der Reanimation höhere pO<sub>2</sub>-Werte gemessen wurden. Diese Erkenntnis wurde auch schon in vergangenen Arbeiten von Spindelböck et al. (2,45) festgestellt und stützt letztlich auch die These, dass in den Fällen in denen ein ROSC erreicht wird, vermutlich während der Reanimation eine bessere

Lungenperfusion gegeben ist. Einen möglichen Weg zur Verbesserung der Oxygenierung könnte der noch jüngere Beatmungsmodus CCSV („Chest compression synchronized ventilation“) mit sich bringen, bei dem die Beatmungen durch die Thoraxkompressionen getriggert werden (46,47).

Für den pCO<sub>2</sub> ergaben sich in der ROSC-Gruppe 74,5 mmHg und 78 mmHg und in der Exitus-Gruppe 93,2 mmHg und 71,3 mmHg. Zwischen den Beatmungsgruppen lassen sich, mit Ausnahme des pCO<sub>2</sub> der Exitus Gruppe, lediglich marginale Unterschiede erkennen. Hier zeigt die hochfrequente Beatmungsgruppe mit 71,3 mmHg deutlich niedrigere Werte als die normofrequent beatmete Gruppe mit 93,2 mmHg. Als Limitation seien jedoch die kleinen Gruppengrößen von 8 normofrequent beatmeten und 4 hochfrequent beatmeten Patient\*innen mit Exitus erwähnt, von denen Blutgasanalysen verfügbar waren.

## **4.2 Limitationen**

Reanimationspatient\*innen sind ein äußerst breites Patientengut. Dennoch unterscheiden sich in der Praxis die einzelnen Patienten mitunter stark in ihren Komorbiditäten und etwaigen weiteren Faktoren wie Ursache des Kreislaufstillstandes etc. sodass durchaus plausibel ist, dass spezielle Gruppen von unterschiedlichen Maßnahmen mehr oder weniger profitieren und deshalb allgemeine Aussagen nicht ohne Weiteres zu formulieren sind.

Grundsätzlich wurden alle Patient\*innen nach den zum Zeitpunkt aktuell gültigen Leitlinien des Advanced Life Support reanimiert und lediglich die Beatmungsfrequenz adaptiert. Es wurde allerdings in der Auswertung nicht erfasst, wie viel Zeit bis zur Etablierung des Atemwegsmanagements und Anschlusses des Beatmungsgerätes vergangen ist. Ebenso wurde das Delay bis zum Beginn der Reanimationsmaßnahmen nicht berücksichtigt.

Als weitere Limitation sei zu erwähnen, dass viele Patient\*innen aufgrund der Ein- und Ausschlusskriterien nicht in die Analyse miteinbezogen werden konnten. Es wurden zwar annähernd gleiche Gruppengrößen erreicht, jedoch dürfte die

allgemeine Anzahl an Fällen zu klein sein, um den Ergebnissen uneingeschränkt allgemeine Gültigkeit zuschreiben zu können.

Erwähnt sei auch, dass während der Datensammlung die Covid-19-Pandemie Einzug hielt. Gerade zu Beginn wurden unter anderem Rettungsteams auf die Mindestbesetzung reduziert, was möglicherweise in Einzelfällen dazu führte, dass Maßnahmen in der Durchführung länger dauerten. Je nach Situation war unter Umständen auch eine potenzielle Covid-Infektion des\*der Patient\*in nicht sicher auszuschließen. Dadurch wurden unter Umständen längere Delay Zeiten, um Maßnahmen des Selbstschutzes zu ergreifen, in Kauf genommen.

Die Daten des Beatmungsgerätes wurden nach dem Auslesen in eine Excel Tabelle eingefügt, über die Zeit gemittelt (arithmetisches Mittel) und anschließend eine Tabelle mit allen Fällen erstellt. Gerade unter Reanimation unterliegen Messwerte bezüglich der Beatmung großen Schwankungen und sind von vielen Einflussfaktoren (z. B. Herzdruckmassage) abhängig. Dies muss bei Interpretation dieser Werte berücksichtigt werden.

Die Zeitpunkte zu denen Blutgasanalysen entnommen wurden variierten von Fall zu Fall. Zwar war ursprünglich geplant einen Messzeitpunkt zu definieren, allerdings wurde schnell festgestellt, dass dies in den dynamischen Einsatzgeschehen in der Praxis schwer umsetzbar ist. Die durchgeführten Blutgasanalysen wurden händisch in die Tabellen mit den Daten der Beatmung hinzugefügt. Zwar geschah dies mit größtmöglicher Sorgfalt, allerdings sei trotzdem erwähnt, dass Tippfehler oder Ähnliches nicht sicher ausgeschlossen werden können.

Die Auswertung der Daten erfolgte mit Tools der deskriptiven Statistik. Zur Berechnung der p-Werte wurde für das Überleben der Chi-Quadrat-Test und für die Unterschiede zwischen den Gruppen der Mann-Whitney U-Test verwendet.

### **4.3 Conclusio**

Ziel dieser Arbeit war die These zu prüfen, ob durch eine Erhöhung der Beatmungsfrequenz von 10/min auf 20/min während der Reanimation ein erhöhtes Atemminutenvolumen erreicht werden kann und sich dadurch eine Verbesserung des respiratorischen Anteils der Azidose und womöglich des Outcomes ergibt.

Mit dem verwendeten Turbinenbeatmungsgerät konnten bei Verdoppelung der Beatmungsfrequenz signifikant größere Atemvolumina verabreicht werden. Es wurde erneut gezeigt, dass die Kapnometrie kein zuverlässiger Parameter zur Beurteilung der Beatmungsqualität in der Reanimation ist und deutlich von den arteriellen Kohlendioxidkonzentrationen abweicht.

Die arteriellen  $p\text{CO}_2$ -Werte waren unter hochfrequenter Beatmung geringgradig niedriger als mit üblicher Beatmung mit 10 Atemhüben pro Minute, jedoch in der Regel trotzdem deutlich hyperkapnisch. Wiederum zeigte sich, dass die arterielle Hypokapnie in der Reanimation nur äußerst selten vorkommt. Trotz erhöhter Atemvolumina konnten keine nennenswerten Änderungen des pH-Wertes im Sinne einer Verbesserung der Azidämie in dem BGA-untersuchten Kollektiv festgestellt werden.

Fälle in denen ein ROSC erreicht werden konnte, zeigten im Allgemeinen unter der Reanimation höhere Beatmungsvolumina, höhere  $\text{etCO}_2$ -Werte, höhere  $p\text{O}_2$ -Werte und eine weniger ausgeprägte Azidämie. Der letztlich limitierende Faktor um  $p\text{CO}_2$ -Werte nahe der Normokapnie zu erreichen, dürfte das Ventilations-Perfusions-Missverhältnis unter Reanimation sein.

Um eine allgemein gültige Aussage treffen zu können, bedarf es vermutlich detaillierteren Untersuchungen mit größeren Fallzahlen, die auch bestehende Komorbiditäten von Patient\*innen, wichtige Variablen wie Delay bis zum Beginn der Reanimationsmaßnahmen und standardisierte Zeitpunkte zur Durchführung der Blutgasanalysen miteinbeziehen.

## Literaturverzeichnis

1. Prause G, Kaltenböck F, Doppler R. Die präklinische Blutgasanalyse. *Anaesthesist*. 1998;47(6):490–5.
2. Spindelboeck W, Gemes G, Strasser C, Toescher K, Kores B, Metnitz P, et al. Arterial blood gases during and their dynamic changes after cardiopulmonary resuscitation: A prospective clinical study. *Resuscitation*. 2016;106:24–9.
3. Grundner S. Die Aufklärung der Bevölkerung über kardiopulmonale Laienreanimation mit der Aktion “Drück Mich !” 2019.
4. Prause G, Orlob S, Auinger D, Eichinger M, Zoidl P, Rief M, et al. System and skill utilization in an Austrian emergency physician system: retrospective study. *Anaesthesist*. 2020;69(10):733–41.
5. Chugh SS, Reinier K, Teodorescu C, Evanado A, Kehr E, Al Samara M, et al. Epidemiology of Sudden Cardiac Death: Clinical and Research Implications. *Prog Cardiovasc Dis*. 2008;51(3):213–28.
6. Gräsner JT, Bossaert L. Epidemiology and management of cardiac arrest: What registries are revealing. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*. 2013;27(3):293–306.
7. Bundesgesetz über Ausbildung, Tätigkeiten und Beruf der Sanitäter (Sanitätergesetz - SanG) [Internet]. 2002. [cited 2018 Jun 30]. Available from:  
<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20001744>
8. Prause G, Wildner G, Gemes G, Zoidl P, Zajic P, Kainz J, et al. Abgestufte präklinische Notfallversorgung – Modell Graz. *Notfall und Rettungsmedizin*. 2017;20(6):501–8.
9. Oswald, Silvia; Prause G. *Geschichte der Grazer Notfallmedizin*. 2010.
10. Nolan J, Soar J, Eikeland H. The chain of survival. *Resuscitation*. 2006;71(3):270–1.
11. Perkins GD, Handley AJ, Koster RW, Castrén M, Smyth MA, Olasveengen T, et al. Basismaßnahmen zur Wiederbelebung Erwachsener und Verwendung automatisierter externer Defibrillatoren: Kapitel 2 der Leitlinien zur Reanimation 2015 des European Resuscitation Council. *Notfall und Rettungsmedizin*. 2015;18(8):748–69.
12. Dorph E, Wik L, Strømme TA, Eriksen M, Steen PA. Oxygen delivery and return of spontaneous circulation with ventilation: Compression ratio 2:30 versus chest compressions only CPR in pigs. *Resuscitation*. 2004;60(3):309–18.
13. Turner I, Turner S, Armstrong V. Does the compression to ventilation ratio

- affect the quality of CPR: A simulation study. *Resuscitation*. 2002;52(1):55–62.
14. Soar J, Nolan JP, Böttiger BW, Perkins GD, Lott C, Carli P, et al. Adult advanced life support: Section 3 of the European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015. *Notfall und Rettungsmedizin*. 2015;18(8):770–832.
  15. Nolan JP, Soar J, Cariou A, Cronberg T, Moulaert VRM, Deakin C, et al. Postreanimationsbehandlung: Kapitel 5 der Leitlinien zur Reanimation 2015 des European Resuscitation Council. *Notfall und Rettungsmedizin*. 2015;18(8):904–31.
  16. Deakin CD, O'Neill JF, Tabor T. Does compression-only cardiopulmonary resuscitation generate adequate passive ventilation during cardiac arrest? *Resuscitation*. 2007;75(1):53–9.
  17. Hüpfl M, Selig HF, Nagele P. Chest-compression-only versus standard cardiopulmonary resuscitation: A meta-analysis. *Lancet*. 2010;376(9752):1552–7.
  18. Oczenski W. *Atmen - Atemhilfen*. 10. Auflag. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2017.
  19. Kropp R. Die Eiserne Lunge. *Pneumologie*. 2013;67(9):522–4.
  20. Baker P. Mask ventilation. *F1000Research*. 2018;7.
  21. Piepho T, Cavus E, Noppens R, Byhahn C, Dörges V, Zwissler B, et al. S1-Leitlinie Atemwegsmanagement. *Anaesthesist*. 2015;64(11):859–73.
  22. Schalk R, Seeger FH, Mutlak H, Schweigkofler U, Zacharowski K, Peter N, et al. Complications associated with the prehospital use of laryngeal tubes-A systematic analysis of risk factors and strategies for prevention. *Resuscitation*. 2014;85(11):1629–32.
  23. Bernhard M, Beres W, Timmermann A, Stepan R, Greim CA, Kaisers UX, et al. Prehospital airway management using the laryngeal tube. An emergency department point of view. *Anaesthesist*. 2014;63(7):589–96.
  24. Benoit JL, Gerecht RB, Steuerwald MT, McMullan JT. Endotracheal intubation versus supraglottic airway placement in out-of-hospital cardiac arrest: A meta-analysis. *Resuscitation*. 2015;93:20–6.
  25. Kramer-Johansen J, Wik L, Steen PA. Advanced cardiac life support before and after tracheal intubation - Direct measurements of quality. *Resuscitation*. 2006;68(1):61–9.
  26. Frerk C, Mitchell VS, McNarry AF, Mendonca C, Bhagrath R, Patel A, et al. Difficult Airway Society 2015 guidelines for management of unanticipated difficult intubation in adults. *Br J Anaesth*. 2015;115(6):827–48.

27. Aufderheide TP, Sigurdsson G, Pirralo RG, Yannopoulos D, McKnite S, Von Briesen C, et al. Hyperventilation-Induced Hypotension during Cardiopulmonary Resuscitation. *Circulation*. 2004;109(16):1960–5.
28. Neth MR, Idris A, McMullan J, Benoit JL, Daya MR. A review of ventilation in adult out-of-hospital cardiac arrest. *J Am Coll Emerg Physicians Open*. 2020;1(3):190–201.
29. Farzi S, Hausler F, Wallner S, Spindelböck W, Prause G, Gemes G. Prehospital measurement of arterial base excess and its role as a possible predictor of outcome after out-of-hospital cardiac arrest. *Emergencias Rev la Soc Española Med Urgencias y Emergencias*. 2013;25(1):47–50.
30. RWM-Medtechnik. Monnal T60 [Internet]. [cited 2021 Aug 24]. Available from: <https://www.rwm-medtechnik.at/products/beatmung/monnalt60.html>
31. Weinmann Medical Technology. MEDUMAT Transport Gebrauchsanweisung [Internet]. 2015 [cited 2021 Oct 10]. Available from: <https://www.weinmann-emergency.com/de/downloads/>
32. Weinmann Medical Technology. MEDUMAT Standard 2 Gebrauchsanweisung [Internet]. [cited 2021 Oct 10]. Available from: <https://www.weinmann-emergency.com/de/downloads/>
33. Siemens-healthineers epoc® Blutanalysestestsystem [Internet]. [cited 2021 Nov 8]. Available from: <https://www.siemens-healthineers.com/de/blood-gas/blood-gas-systems/epoc-blood-analysis-system>
34. Theuermann C, Wildner G, Waldher F, Muhrer D, Spindelböck W, Prause G. Elektronisches Notfallprotokoll Medea in Graz – Einführung Und Erste Erfahrungen. Tagungsband der eHealth2010 Heal Informatics meets eHealth. 2010;(264):121–7.
35. Awad E, Humphries K, Grunau B, Besserer F, Christenson J. The effect of sex and age on return of spontaneous circulation and survival to hospital discharge in patients with out of hospital cardiac arrest: A retrospective analysis of a Canadian population. *Resusc Plus*. 2021;5(November 2020):100084.
36. Deutsches Reanimationsregister [Internet]. 2020 [cited 2022 Feb 26]. Available from: <https://www.reanimationsregister.de/>
37. Prause G, Hetz H, Lauda P, Pojer H, Smolle-Juettner F, Smolle J. A comparison of the end-tidal-CO<sub>2</sub> documented by capnometry and the arterial pCO<sub>2</sub>, in emergency patients. *Resuscitation*. 1997;35(2):145–8.
38. Prause G, Zoidl P, Zajic P. Hyperventilation is uncommon during cardiopulmonary resuscitation: A preliminary observational study. *Resuscitation*. 2021;162:257–8.
39. Valenzuela TD, Roe DJ, Cretin S SD, MP L. Estimating effectiveness of cardiac arrest interventions: a logistic regression survival model. *Circulation*.

1997;96:3308–3313.

40. Hasselqvist-Ax I, Riva G, Herlitz J, Rosenqvist M, Hollenberg J, Nordberg P, et al. Early Cardiopulmonary Resuscitation in Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *N Engl J Med*. 2015;372(24):2307–15.
41. Belpomme V, Ricard-Hibon A, Devoir C, Dileseigres S, Devaud ML, Chollet C, et al. Correlation of arterial Pco<sub>2</sub> and Petco<sub>2</sub> in prehospital controlled ventilation. *Am J Emerg Med*. 2005;23(7):852–9.
42. Sandroni C, De Santis P, D'Arrigo S. Capnography during cardiac arrest. *Resuscitation*. 2018;132(July):73–7.
43. Sheak KR, Wiebe DJ, Leary M, Babaeizadeh S, Yuen TC, Zive D, et al. Quantitative relationship between end-tidal carbon dioxide and CPR quality during both in-hospital and out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 2015;89(C):149–54.
44. Ryan A, Murphy, Bentley J, Bobrow, Daniel W, Spaite, Chengcheng Hu RM& TFV. Association between Prehospital CPR Quality and End-Tidal Carbon Dioxide Levels in Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *Prehosp Emerg Care*. 2016;20(3):369–77.
45. Spindelboeck W, Schindler O, Moser A, Hausler F, Wallner S, Strasser C, et al. Increasing arterial oxygen partial pressure during cardiopulmonary resuscitation is associated with improved rates of hospital admission. *Resuscitation*. 2013;84(6):770–5.
46. Kill C, Galbas M, Neuhaus C, Hahn O, Wallot P, Kesper K, et al. Chest compression synchronized ventilation versus intermitted positive pressure ventilation during cardiopulmonary resuscitation in a pig model. *PLoS One*. 2015;10(5):1–12.
47. Speer T, Dersch W, Kleine B, Neuhaus C, Kill C. Mechanical Ventilation During Resuscitation: How Manual Chest Compressions Affect a Ventilator's Function. *Adv Ther*. 2017;34(10):2333–44.