

**Diplomarbeit**

**Arteriellles Monitoring in der präklinischen  
Notfallversorgung  
Eine retrospektive Betrachtung am Notarztsystem  
Universitätsklinikum Graz der Jahre 2014 bis 2018**

eingereicht von

**Melanie Arnreiter**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktorin der gesamten Heilkunde  
(Dr. med. univ.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt an der

**Universitätsklinik für Anästhesie und Intensivmedizin**

unter der Anleitung von

**Dr. med. univ. Simon Orlob**

und

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

Graz, am 29.04.2021

*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, am 29.04.2021*

*Melanie Arnreiter eh*

## Danksagungen

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen Menschen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Diplomarbeit unterstützt haben.

Besonderer Dank kommt meinen Eltern zu, die mich immer unterstützen, möge der Traum oder das Ziel auch noch so groß sein. Danke, dass ihr mich auch in schwierigen Phasen immer wieder zum Weitermachen bewegt.

Einen wichtigen Beitrag leistete vor allem mein Erstbetreuer Dr. med. univ. Simon Orlob, indem er unermüdlich neue Fragestellungen mit mir diskutierte und mich immer weiter forderte, kritisch zu bleiben und gründlich zu hinterfragen.

Ein großer Dank gilt auch meinem Zweitbetreuer Univ.-Prof. Dr. med. univ. Gerhard Prause. Durch Ihre Vorträge wurde meine Faszination für die Notfallmedizin geweckt.

Zu guter Letzt möchte ich auch noch meinen Freunden danken, die mir auch in schwierigen Phasen Zuversicht und die Kraft (bzw. ausreichend Kaffee) zum Weitermachen gegeben haben.

## Inhaltsverzeichnis

Danksagungen .....	ii
Abkürzungen.....	v
Abbildungsverzeichnis .....	vii
Tabellenverzeichnis .....	ix
Zusammenfassung .....	11
Abstract .....	13
1 Einleitung .....	14
1.1 Grazer Notarztsystem.....	15
1.1.1 Einsatzstufen .....	16
1.1.2 Stützpunkt Graz Ost.....	16
1.1.3 Kompetenzniveau .....	16
1.2 NACA-Score .....	17
1.3 Die arterielle Leitung .....	18
1.3.1 Indikationen .....	18
1.3.2 Kontraindikationen .....	18
1.3.3 Punktionsorte.....	18
1.3.4 Vorgehensweise.....	19
1.3.5 Komplikationen .....	20
1.4 Blutgase und pulmonaler Gasaustausch .....	20
1.4.1 Pulmonaler Gasaustausch.....	20
1.4.2 Gastransport im Blut .....	22
1.5 Säure- Basen- Haushalt .....	23
1.5.1 pH-Wert .....	24
1.5.2 Bicarbonat .....	24
1.5.3 Regulation des Säure-Basen Haushaltes durch Puffersysteme .....	24
1.5.4 Regulation des Säure-Basen Haushaltes durch die Lunge .....	25
1.5.5 Regulation des Säure-Basen Haushaltes durch die Nieren.....	26
1.5.6 Störungen des Säure-Basen-Haushaltes .....	26
1.6 Elektrolythaushalt .....	28
1.6.1 Natrium, Na <sup>+</sup> .....	28
1.6.2 Kalium, K <sup>+</sup> .....	29
1.6.3 Kalzium, Ca <sup>++</sup> .....	29
1.7 Arterielle Blutgasanalyse .....	30
1.7.1 Fehlerquellen:.....	30
1.8 Invasives Blutdruckmonitoring.....	31
1.8.1 Kalibrierung .....	31
1.8.2 Probleme .....	32
2 Material und Methoden .....	34
2.1 Datenquellen .....	34
2.1.1 MEDEA .....	34
2.1.2 Grazer Reanimationsregister .....	35
2.1.3 epoc® Blood Analysis System .....	36
2.2 Datenverarbeitung .....	36
3 Ergebnisse .....	39
3.1 Häufigkeit der arteriellen Punktion bei Einsätzen des NEF Graz Ost.....	39
3.2 Alterspyramide und Verletzungsschwere .....	44
3.3 Verdachtsdiagnosen .....	46
3.4 Die arterielle Punktion in der Diagnostik .....	47
3.5 Fachgruppenverteilung der Notärztinnen und Notärzte .....	48
3.6 PatientInnenversorgungszeit.....	49

3.7	Auswertung der Blutgasanalysen .....	49
3.7.1	Häufigkeit und Verteilung von Störungen des Säure-Basen-Haushaltes .....	49
3.7.2	Analyse der Säure-Basen-Störungen in ausgewählten Verdachtsdiagnosen .....	50
3.7.3	Häufigkeit und Verteilung von Elektrolyt- und Laktatstörungen .....	53
3.7.4	Natrium .....	53
3.7.5	Kalium .....	56
3.7.6	Laktat .....	57
3.8	Auswertung des invasiven Blutdruckmonitorings .....	59
4	Diskussion .....	60
4.1	Limitationen .....	61
4.2	Conclusio .....	62
	Literaturverzeichnis .....	63
	Anhang .....	66

## Abkürzungen

AaDCO <sub>2</sub>	alveolär- arterielle-Kohlenstoffdioxid- Differenz
AaDO <sub>2</sub>	alveolär- arterielle- Sauerstoff - Differenz
AED	Automatisierter externer Defibrillator
BE	Base Excess
BGA	Blutgasanalyse
C <sub>a</sub> O <sub>2</sub>	Sauerstoffgehalt des Blutes
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CPR	Herz-Lungen-Wiederbelebung
DO <sub>2</sub>	Sauerstoffangebot
etCO <sub>2</sub>	Endexpiratorische Kohlenstoffdioxid-Konzentration
FiO <sub>2</sub>	inspiratorische Sauerstofffraktion
GRR	German Resuscitation Registry
H <sup>+</sup>	Wasserstoffion
Hb	Hämoglobinkonzentration
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Hydrogenbicarbonat
HZV	Herzzeitvolumen
IBP	Invasive Blood Pressure
IQA	Interquartilsabstand
MAD	Mittlerer arterieller Druck
NAW	Notarztwagen
NEF	Notarzteinsatzfahrzeug
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ammoniumion
NIBP	Non-Invasive Blood Pressure
NKI	Notfallsanitäter mit Kompetenz zur Intubation
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
PACO <sub>2</sub>	alveolärer Kohlenstoffdioxidpartialdruck
PaCO <sub>2</sub>	arterieller Kohlenstoffdioxidpartialdruck
PAO <sub>2</sub>	alveolärer Sauerstoffpartialdruck
PaO <sub>2</sub>	arterieller Sauerstoffpartialdruck
PCO <sub>2</sub>	arterieller Kohlenstoffdioxidpartialdruck
PO <sub>2</sub>	arterieller Sauerstoffpartialdruck
POCT	Point-of-Care-Testing
Q	Perfusion

RTW	Rettungswagen
SaO <sub>2</sub>	Sauerstoffsättigung des Hämoglobins
V	Ventilation
ZNS	Zentralnervensystem

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Auswirkung der Shuntfraktion auf den arteriellen PO <sub>2</sub> und PCO <sub>2</sub> .....	22
Abbildung 1 Auswirkung des FiO <sub>2</sub> auf den arteriellen PO <sub>2</sub> bei gegebener Shuntfraktion (21) .....	22
Abbildung 2 Auswirkung der Shuntfraktion auf den arteriellen PO <sub>2</sub> und PCO <sub>2</sub> (21) .....	22
Abbildung 3 Fast-flush-Test in einem optimal gedämpften System (A), in einem System mit Unterdämpfung (B) und einem System mit Überdämpfung (C) (36) .....	32
Abbildung 4 Zeiträume der Datenextraktion aus den unterschiedlichen Datenquellen .....	34
Abbildung 5 Einsatztypisierung. Grün hinterlegte Felder markieren Einsätze, die in die Auswertung eingeschlossen wurden. (*Prozent von der Gesamtzahl dokumentierter Protokolle, n=10.037) .....	39
Abbildung 6 Flowchart zur Identifikation von Einsätzen mit arterieller Punktion .....	40
Abbildung 7 Schnittmengen nach Dokumentationsquelle .....	42
Abbildung 8 absolute Häufigkeit der arteriellen Punktion nach Jahren im Vergleich zur Anzahl der Einsätze .....	43
Abbildung 9 Verteilung des NACA-Score von 2014-2018 .....	43
Abbildung 10 Links: Alterspyramide nach Geschlecht alle Einsätze (n= 7.813); Rechts: Alterspyramide nach Geschlecht, Einsätze mit arterieller Punktion (n=606), x-Achse spiegelt absolute Zahlen wider .....	44
Abbildung 11 Verteilung des NACA-Scores nach Altersgruppen und Geschlecht .....	45
Abbildung 12 Verteilung der NACA Score bei Einsätzen ohne bzw. mit arterieller Punktion (n=7.813).....	45
Abbildung 13 Verteilung der 606 Einsätze mit arteriellen Punktionen auf die Art des diagnostischen Tests .....	47
Abbildung 14 Einsätze mit nicht invasiver oder invasiver Beatmung .....	47
Abbildung 15 Einsätze mit Narkoseeinführungen .....	47
Abbildung 16 Punktionsgrund bei Einsätzen mit Reanimation.....	48
Abbildung 17 Fachgruppenverteilung der Notärztinnen und Notärzte aufgesplittet nach Einsätzen mit oder ohne arterielle Punktion .....	48
Abbildung 18 PatientInnenversorgungszeit kategorisiert nach arterieller Punktion .....	49
Abbildung 19 Häufigkeiten der aus den BGAs abgeleiteten Säure-Basen-Störungen .....	49
Abbildung 20 Verteilung der Säure-Basen-Störungen bei Einsätzen mit dokumentierter Reanimation (n=95).....	50

Abbildung 21 Verteilung der Säure-Basen-Störung bei Einsätzen mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen (ohne CPR, n=67).....	51
Abbildung 22 Verteilung der Säure-Basen-Störungen bei Einsätzen mit Erkrankungen des Respirationstraktes (n=67) .....	52
Abbildung 23 Verteilung der Säure-Basen-Störungen bei Fällen mit Erkrankungen des ZNS (n=40).....	52
Abbildung 24 Natriumwerte bei arteriellen Blutgasanalysen. A) Verteilung der Natriumwerte in Hypo-/Normo-/Hypernatriämien nach Verdachtsdiagnose. Verteilung der Natriumwerte bei B) Reanimationen, C) Herz-Kreislaferkrankungen (ohne CPR), D) Erkrankungen des Respirationstraktes, E) Erkrankungen des ZNS.....	55
Abbildung 25 Kaliumwerte bei arteriellen Blutgasanalysen. A) Verteilung der Kaliumwerte in Hypo-/Normo-/Hyperkaliämien nach Verdachtsdiagnose. Verteilung der Kaliumwerte bei B) Reanimationen, C) Herz-Kreislaferkrankungen (ohne CPR), D) Erkrankungen des Respirationstraktes, E) Erkrankungen des ZNS.....	56
Abbildung 26 Laktatwerte bei arteriellen Blutgasanalysen. A) Verteilung der Laktatwerte in physiologische und erhöhte Werte nach Verdachtsdiagnose. Verteilung der Laktatwerte bei B) Reanimationen, C) Herz-Kreislaferkrankungen (ohne CPR), D) Erkrankungen des Respirationstraktes, E) Erkrankungen des ZNS.....	58
Abbildung 27 Häufigkeitsanalyse der IBP-Befunde .....	59

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 NACA-Score (in Anlehnung an (11)) .....	17
Tabelle 2 Überblick über die Störungen des Säure-Basen-Haushaltes .....	27
Tabelle 3 Häufigkeit der Verdachtsdiagnosen bei allen Einsätzen (gesamt) und Einsätzen mit arterieller Punktion. ....	46
Tabelle 4 Häufigkeiten von Elektrolytstörung nach Klassifizierung .....	53
Tabelle 5 Variablendefinition mit Suchort in den Datenquellen, Suchkriterien und deren Verknüpfung; Reanimationsregister (RR) Grün: Datenquelle, Orange: Abschnitte im MEDEA; Grau: Unterkategorien. kursiv: Suchvariable wird zur Erstellung einer anderen Variable verwendet. Codierung: 0= nicht durchgeführt, 1= durchgeführt. v = oder. $\wedge$ = und. $\neg$ = nicht.....	66

## Formelverzeichnis

Formel 1 Ficksches Diffusionsgesetz (20) .....	21
Formel 2 Sauerstoffangebot in [ml/min] .....	23
Formel 3 Sauerstoffgehalt des Blutes in [ml O <sub>2</sub> /dl] .....	23
Formel 4 Berechnung des pH-Wertes .....	24
Formel 5 Zentrale Gleichung des Säure-Basen-Haushalts .....	24
Formel 6 Allgemeine Gleichung für das Säure-Basen-Gleichgewicht .....	25

## Zusammenfassung

**Hintergrund:** Im intensivmedizinischen Bereich sind arterielle Punktionen, ob für Blutgasanalysen (BGA) oder invasive kontinuierliche Blutdruckmessungen (IBP), eine alltägliche unersetzbare Praxis. Durch den personalstarken Aufbau des Grazer Notfallsystems ist es möglich, diese Form des Monitorings auch in der Präklinik anzuwenden. Ziel dieser Diplomarbeit ist es aus verschiedenen Datenquellen einen Datensatz zu aggregieren und daraus die tatsächliche Häufigkeit der Anwendung von arteriellen Punktionen im Notarzteinsätzen und die Häufigkeit von pathologischen Befunden darzustellen.

**Methoden:** Im Rahmen einer retrospektiven Datenanalyse wurden alle dokumentierten Alarmierungen des NEF am LKH Universitätsklinikum Graz vom Zeitraum des 01.01.2014 bis zum 31.12.2018 ausgewertet. Die Datengewinnung erfolgte aus 2 verschiedenen Datenbanken mit manueller Dokumentation, sowie aus dem Gerätespeicher des Point-of-Care-Testing-Gerätes (POCT-Gerät) zur Blutgasanalyse mit automatischer Aufzeichnung. Einsatzdaten aus dem Grazer Reanimationsregister, sowie aus dem POCT-Gerät, wurden entsprechenden Einsätzen in der Notarztdokumentation (MEDEA) zugeordnet. Die Identifikation relevanter Einsätze mit arterieller Punktion erfolgte mittels Verknüpfung von Text- und Suchfunktionen in Microsoft Excel 2016.

**Ergebnis:** Aus 10.037 Alarmierungen des NEF am LKH Univ. Klinikums Graz konnten 606 Einsätze (6%) mit dokumentierter arterieller Punktion identifiziert werden. Diesen arteriellen Punktionen liegen 394 Einsätze mit BGA-Messungen und 419 Einsätze mit IBP zugrunde. Die Dokumentation des IBP ist weitgehend kongruent über das Grazer Reanimationsregister und MEDEA, allerdings wurden 31,5% der arteriellen Blutgasanalysen nicht im MEDEA erfasst. Auf die arterielle Punktion wurde vor allem in Einsätzen mit Reanimationen Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Erkrankungen des Respirationstraktes und Erkrankungen des ZNS zurückgegriffen. In 76,5% der auswertbaren Blutgasanalysen konnte eine Störung des Säure-Basen-Haushaltes festgestellt werden. Zusätzlich traten in 79,5% aus 202 Blutgasanalysen mit Elektrolytwerten, pathologische Werte in zumindest einem oder mehr Parametern auf.

**Diskussion:** Die Ergebnisse legen nahe, dass die arterielle Punktion am Notarztstützpunkt Graz Ost bereits fest in die klinische Routine etabliert ist. Als problematisch präsentierte

sich aber die Dokumentation des arteriellen Monitorings. Trotz digitaler Dokumentation mussten redundante Systeme genutzt werden, um ein vollständigeres Bild zur Verwendung des arteriellen Monitorings zu erhalten. So treffen auf diese Arbeit alle Limitationen einer retrospektiven Analyse zu. Diese Studie bietet die Grundlage für die Planung weiterer, unter anderem prospektiver, Studien zum arteriellen Monitoring und dessen Indikation sowie Nutzen im präklinischen Rahmen. Eine Verbesserung der Datenqualität durch weitere Digitalisierung und automatische Übertragung von Befunden ist erstrebenswert.

## **Abstract**

**Introduction:** Arterial puncture, whether for blood gas analysis or invasive blood pressure measurement (IBP), are an irreplaceable part of everyday practice at the intensive care unit. Due to the structure of the prehospital emergency care system in Graz, the application of this type of monitoring is also possible in the preclinical phase. This paper analyses the actual frequency of arterial punctures in the emergency physician's practice and the frequency of pathological findings, as well as their documentation in different data sources.

**Methods:** Within the scope of a retrospective data analysis, all documented alarms of the NEF at the LKH university hospital Graz from the period of 01.01.2014 to 31.12.2018 were evaluated. The data got extracted from 2 different databases with manual documentation and from the device analyzing the ABG: Data from the Graz resuscitation registry, as well as from the ABG device, were assigned to corresponding data in the emergency physicians manual documentation system (MEDEA). The identification of relevant cases with an arterial puncture was enabled by linking text and search functions in Microsoft Excel 2016.

**Results:** From 10,037 alarms of the NEF at the university hospital Graz, 606 cases with documented arterial puncture could be identified. These arterial punctures are based on 394 cases with ABG measurements and 419 cases with IBP. The documentation of IBP is largely consistent via the Graz Resuscitation Registry and MEDEA, but 31.5% of ABG analyses were not recorded in MEDEA. Arterial puncture is mainly used in patients undergoing resuscitation or patients with cardiovascular disease, respiratory tract disease or disease of the CNS. 76.5% of the evaluable ABG showed a disturbance of the acid-base balance. In addition, pathological values in at least one or more electrolyte values occurred in 79.5% of 202 blood gas analyses.

**Discussion:** This work shows that the arterial puncture is already well established at the emergency medical department of the university hospital Graz. There is no consistent documentation over all three data sources. Therefore, despite combining different databases, it is assumed that there is an unreported number of arterial punctures, which we were not able to identify. This study provides the basis for planning further prospective studies on arterial monitoring and its indication and benefit in the preclinical setting. An improvement in data quality through automatic transfer of diagnostic findings from devices is desirable.

# 1 Einleitung

Im Notarzteinsatz müssen tagtäglich schwerwiegende Entscheidungen über strategische, diagnostische und therapeutische Vorgehensweisen getroffen werden. Unter der Betrachtung der notärztlichen Versorgung als „verlängerter Arm der Klinik“ beginnt mit diesen Entscheidungen eine Behandlungskette, die der Patientin/ dem Patienten den höchstmöglichen Versorgungsstandard gewährleisten soll. (1)

Allerdings stellt ein aufwendiges medizinisches Verfahren für den, gegenüber dem innerklinischen Bereich, ressourcenlimitierten Notarzteinsatz eine möglicherweise erhebliche Belastung dar, die einer strengen Indikationsstellung bei gegebener, therapeutischer Relevanz bedarf. Zu hinterfragen ist hierbei, ob Goldstandards der Klinik auch immer die besten Optionen in der Präklinik darstellen.

Im intensivmedizinischen Bereich sind arterielle Punktionen, ob für Blutgasanalysen oder kontinuierliche Blutdruckmessungen, eine alltägliche unersetzbare Praxis. Zwar ist der nicht invasive gemessene Blutdruck in einem Großteil der Patientinnen und Patienten ein ausreichendes Diagnosemittel, dennoch ist die invasive arterielle Blutdruckmessung (IBP) beim kritischen Kranken nicht verzichtbar. Besonders bei diesem Patientengut ist die Schlag-für-Schlag-Beurteilung des Blutdruckes und die somit verbesserte Kontrolle einer Katecholamin-Therapie eine unverzichtbare Methode. (2) Ebenso ermöglicht die arterielle Blutgasanalyse, als Point-of-Care-Testing (POCT), Entscheidungen über weitere Therapieverläufe unmittelbar und ohne Verzögerung neben der Patientin/ dem Patienten. Auch hier zeigt die weniger invasive Methode der venöse Blutgasmessung eine gute Korrelation zu arteriellen Werten bei der Beurteilung des pH-Wertes, pCO<sub>2</sub>, Bicarbonat und Laktat. Dennoch ist hier eine Annäherung venöser an arterielle Werte wiederum beim kritisch Kranken, durch die pathologisch veränderte Physiologie, nicht mehr möglich. (3) Dass Überlegungen zur Implementierung dieser Methode sinnvoll sind, zeigen auch die Leitlinien des European Resuscitation Council von 2015 zur Herz-Lungen-Wiederbelebung (CPR), die die invasive kontinuierliche Messung des arteriellen Blutdruckes bei Eintritt einer spontanen Zirkulation nach Herzdruckmassage, als anzustrebende Methode des Monitorings ansieht. (4)

Aber auch abseits der Reanimation ist das arterielle Monitoring bei kritisch kranken Patientinnen und Patienten ein unerlässliches diagnostisches Verfahren, sind gravierende Störungen des Säure Basen- bzw. Gashaushalts in diesem Patientengut doch sehr häufig. Zwar kann die Genauigkeit der Diagnosestellung präklinisch nicht verbessert werden, aber

dennoch führt die präklinische arterielle Blutgasanalyse zu einer Verbesserung der Therapie von Notfallpatientinnen und -patienten. (5)

Durch Prause et al. konnte bereits gezeigt werden, dass eine Implementierung der arteriellen Kanülierung während des Einsatzes im personalstarken Grazer Notarztsystem ohne Verzögerung der Patientenversorgung möglich ist. (6) Die vorliegende Arbeit soll analysieren, inwiefern dieses diagnostische Tool mit seinen zwei Einsatzmöglichkeiten, nämlich der arteriellen Blutgasanalyse und der invasiven Blutdruckmessung, im Zeitraum von Jänner 2014 bis Dezember 2018 am Notarztstützpunkt „Graz Ost“ tatsächlich zum Einsatz kam.

## **1.1 Grazer Notarztsystem**

Die notärztlichen Einsätze im Grazer Stadtgebiet werden aufgeteilt zwischen den Stützpunkten „Graz West“ am UKH Graz/ LKH Graz Südwest und „Graz Ost“ am LKH Universitätsklinikum Graz, an denen nicht nur Notartzeinsatzfahrzeuge und Rettungswagen zur Verfügung stehen, sondern auch jeweils ein Notfallwagen (Jumbo-Ost und -West), welcher besetzt wird durch einen Verbund aus freiwilligen Medizinstudierenden mit Zusatzausbildung, dem Medizinercorps.

Im Wesentlichen basiert das bodengebundene Notarztsystem in Österreich auf den Sanitätsdienst auf der einen Seite und auf den notärztlichen Dienst auf der anderen Seite, der bei Überschreitung der sanitätshilflichen Kompetenzen hinzugezogen wird. Eine Ausnahme zu diesem System bildet das, in den frühen 90er Jahren etablierte, 3-Stufen-Modell des Rettungsdienstes in Graz. Durch die Integrierung des Medizinercorps als Zwischenstufe kann eine individuell spezifischere Betreuung der Notfallpatientinnen und -patienten gewährleistet werden, ohne eine weitere Belastung des, von Personalmangel geprägten, Notarztsystems darzustellen. Im Falle einer eindeutigen vitalen Bedrohung der Patientin/ des Patienten, wird von der zentralen Leitstelle gleichzeitig ein RTW bzw. der Jumbo und ein NEF alarmiert. Bei noch unklaren Situationen wird ein RTW bzw. in manchen Fällen auch direkt der Jumbo entsandt, wodurch dann eine primäre Einschätzung durch das Personal vor Ort erfolgt. Übersteigt der Notfall die Kompetenzen der jeweils vor Ort anwesenden Helferinnen und Helfer, wird die nächsthöhere Instanz zu Hilfe gerufen. Durch die vom Medizinercorps gebildete Zwischenstufe kann die nicht bedarfsgerechte Alarmierung von Notärztinnen und Notärzte vergleichsweise in Graz niedriger gehalten werden als in Wiener Neustadt. So weist die Einsatzstatistik in Graz signifikant weniger Stornierungen und Todesfeststellungen, wie auch weniger basismedizinische Maßnahmen,

wie das Legen einer intravenösen Leitung, Infusionstherapie und Analgosedierungen auf, als in Wiener Neustadt. (7)

### **1.1.1 Einsatzstufen**

- 1. Stufe: RettungssanitäterIn
  - Besatzung des RTW: 2 RettungssanitäterIn
- 2. Stufe: RettungsmedizinerIn
  - Besatzung des Jumbos: 1 RettungsmedizinerIn, 3 JumbohelferInnen
- 3. Stufe: Notärztin/-arzt
  - Besatzung des NAW: 1 Notärztin/Notarzt, 1 NotfallsanitäterIn, 1 EinsatzfahrerIn
  - Besatzung des NEF: 1 Notärztin/Notarzt, 1 NotfallsanitäterIn

### **1.1.2 Stützpunkt Graz Ost**

Der Stützpunkt Ost liegt am Universitätsklinikum LKH Graz, von dem auch die Notärztinnen/-ärzte aus den Disziplinen Anästhesie, Innere Medizin und Chirurgie gestellt werden. Insgesamt lässt sich das Einzugsgebiet für Rettungsmittel auf diesem Standort auf ungefähr 200.000 Einwohner begrenzen. Die Methode der Wahl bei Einsätzen ist hier das Rendezvoussystem, bei dem sich das Rettungsfahrzeug außerhalb des Krankenhauses mit dem Notarzt, transportiert im NEF, trifft. (8)

### **1.1.3 Kompetenzniveau**

Mit einer Ausbildung von 260 Stunden (100h Theorie, 160h Praxis) sind des Großteiles freiwilligen Rettungssanitäterinnen und -sanitäter vor allem befähigt zur erweiterten Ersten Hilfe und der Verwendung eines (S)AED (semiautomatischer Defibrillator). Eine Weiterbildung zur Notfallsanitäterin bzw. zum Notfallsanitäter mit unterschiedlichen Kompetenzstufen erfolgt in weiteren 1.400 Ausbildungsstunden, wobei die höchste Ausbildungsstufe Notfallsanitäterin / -sanitäter mit Befähigung zur Intubation (NKI) darstellt, allerdings ist dies nur mancherorts auch die Praxis. Als weitere Instanz ist für Studierende der medizinischen Universität Graz, nach abgeschlossenem 2. Studienjahr, die Weiterbildung zum Rettungsmediziner über den Medizinercorps<sup>1</sup> möglich. Insgesamt beträgt der Umfang dieser Ausbildung 3.160h, welche die Ausbildung zur/zum NKI,

---

<sup>1</sup> Aus der Not des Ärztemangels von Studierenden der Medizin gegründet, besteht der Medizinercorps auch noch 130 Jahre danach weiter. Durch die tieferegehende Ausbildung stehen die Rettungsmedizinerinnen und-mediziner heute auf freiwilliger Basis bei Notfällen zur Verfügung, die die Kompetenzen des Rettungsdienstes überschreiten. (7)

Praktika am Jumbo unter Supervision als Jumbohelfer und weitere Famulaturen in einschlägigen Fachrichtungen, wie Anästhesie, Innere Medizin und Chirurgie, enthält.(7) Durch die umfangreiche Ausbildung besitzen die Rettungsmediziner umfangreichere praktische Fähigkeiten eigenständig therapeutische Interventionen durchzuführen, wie z.B. der Anlage eines intravenösen Zuganges, Verabreichung gewisser Medikamente und Durchführung einer Intubation. (9)

## 1.2 NACA-Score

Entwickelt vom National Advisory Committee of Aeronautics ist der NACA-Score ein Scoring-System, um die Schwere von Verletzungen, Erkrankungen oder Vergiftungen in der Medizin zu beschreiben. Mittels Schweregradbeurteilung der Verletzungen von Patienten soll die zu erwartete Morbidität und Mortalität eingeschätzt werden. Vor allem aber dient der Score auch zur demographischen Beschreibung des Patientengutes für retrospektive Studien. Zu Beginn und Ende eines Notarzteeinsatzes wird der Zustand der Patientin/ des Patienten beurteilt und einem der 7 Schweregrade zugeordnet. (10, 11)

Schweregrad	Nichttraumatologisch	Traumatologisch
0	Keine Erkrankung	Keine Verletzung
1	Geringe Funktionsstörung (leichte Dyspnoe)	Geringfügige Verletzung (Prellung, Abschürfung)
2	Mäßig schwere Funktionsstörung (Asthma)	Mäßig schwere Verletzung (periphere geschlossene Fraktur)
3	Schwere, aber nicht bedrohliche Störung einer Vitalfunktion (Angina pectoris, Kreislaufkollaps)	Schwere, aber nicht gefährliche Verletzung einer Körperregion (Schädel-Hirn-Trauma 1. Grades, geschlossene Femurfraktur)
4	Schwere, aber nicht lebensbedrohliche Störung der Vitalfunktion (Herzinsuffizienz mit schwerer Dyspnoe)	Schwere, aber allein nicht gefährliche Verletzung mehrerer Körperregionen (Schädel-Hirn-Trauma 2. Grades, offene Frakturen)
5	Schwere, lebensbedrohliche Störung der Vitalfunktion (Vergiftung mit Bewusstlosigkeit, bedrohlicher Asthmaanfall)	Schwere, gefährliche Verletzung einer Körperregion (Beckenfraktur, manifester hämorrhagischer Schock, Verbrennung bis 30%)
6	Schwere, akut lebensbedrohliche Störung der Vitalfunktion (Herzinfarkt mit Kammerflimmern)	Schwere, gefährliche Verletzungen mehrerer Körperregionen (Polytrauma)
7	Primär tödliche Erkrankung	Primär tödliche Verletzung

Tabelle 1 NACA-Score (in Anlehnung an (11))

### **1.3 Die arterielle Leitung**

Gegenwärtig findet die arterielle Leitung vor allem Gebrauch auf Intensivstationen und in Operationssälen zum Monitoring von kritisch kranken Patienten, wohingegen sie im präklinischen Bereich noch kaum Anwendung findet. (12)

#### **1.3.1 Indikationen**

Die Indikationsstellung erfolgt meist mit Hintergrund der engmaschigen Kontrolle des Blutdruckes und der arteriellen Blutgase. (12-14)

- Zur kontinuierlich invasiven Blutdruckmessung („beat-to-beat“-Monitoring) bei
  - hämodynamisch instabilen PatientInnen
  - kreislaufinstabilen PatientInnen mit möglicher Entgleisung des Blutdruckes
  - kreislaufinstabilen PatientInnen, die vasoaktive Substanzen erhalten
  - PatientInnen im Schock
- Zur vereinfachten Gewinnung von mehreren arteriellen Blutproben
  - Bei PatientInnen mit Respiratorischer Insuffizienz
  - Zur Überprüfung der Ventilation und Perfusion bei assistierter oder maschineller (Be-)Atmung
- Zur Beurteilung des intravasalen Flüssigkeitshaushaltes mittels Pulsdruckamplitudenvariation

#### **1.3.2 Kontraindikationen**

Kontraindikationen gegen das Anlegen einer arteriellen Kanüle können sowohl spezifisch für den Punktionsort als auch generalisiert bedingt sein, weswegen immer mehrere mögliche Punktionsorte in Betracht gezogen werden sollten.

Kontraindikationen(15):

- Pathologischer Allen-Test
- Lokale Infektionen, Thromben oder veränderte Anatomie durch vorangegangene Eingriffe oder Traumata
- Vaskuläre Erkrankungen der zu punktierenden Arterie (z.B. Vaskulitiden)
- Eine relative Kontraindikation besteht bei Patientinnen und Patienten mit Blutgerinnungsstörungen und medikamentöser Antikoagulation.

#### **1.3.3 Punktionsorte**

Zur Punktion werden gewisse Arterien aufgrund ihrer Lokalisation oder Anatomie bevorzugt, wobei allerdings unter bestimmten Voraussetzungen beinahe jede Arterie mit palpablem Puls punktiert werden kann. Zu bedenken ist, dass jeweils die spezifischen Vor-

und Nachteile der Punktionsstellen im Zweifelsfall gegeneinander abgewogen werden müssen. Bei der Wahl des Punktionsortes ist die Lokalisation der Arterie bezüglich möglicher Lagebeziehungen zu gefährdeten Strukturen, wie Nerven, sowie bezüglich der geeigneten Zugangsmöglichkeit für die Medizinerin/ den Mediziner zu beachten. Es zeigt sich, dass bei Punktionen ohne Ultraschallunterstützung vor allem oberflächliche und leicht palpable, sowie auch größere Arterien von Vorteil sind. Aus diesen Überlegungen und der praktischen Anwendung heraus ergeben sich vor allem die Arteria radialis, sowie die Arteria femoralis als primär bevorzugte Punktionsorte. (12)

### **1.3.4 Vorgehensweise**

Mit der Auswahl des Punktionsortes beginnen auch die Vorbereitungen für die Punktion, wobei es mehrere Techniken zur Anlage einer arteriellen Leitung gibt. Die Grundvoraussetzung zur Minimierung von möglichen Komplikationen ist immer die Arbeit unter sterilen Bedingungen. Nach der Vorbereitung des Punktionsortes und des Bestecks, kann zwischen einer direkten Punktion mit der Kanüle oder der Punktion mithilfe eines Führungsdrahtes (Seldinger Technik) gewählt werden. (13)

*Direkte Punktion.* Nach der Desinfektion des ausgewählten Punktionsortes wird die Arterie mit der nicht dominanten Hand palpiert. Die dominante Hand führt derweil die Nadel mit dem Katheter in einem 30 bis 45 Grad Winkel ein. Der Mandrin wird so lange vorgeschoben, bis beim geschlossenen System hellrotes pulsierendes Blut in die Indikatorkammer strömt. Der Katheter wird weiter in die Arterie vorgeschoben und die Nadel wird entfernt. Abschließend wird der Katheter fixiert, steril abgedeckt und an die invasive Druckmessung angeschlossen bzw. Blutproben gewonnen. (13)

*Seldinger Technik.* Nach der Desinfektion des ausgewählten Punktionsortes wird die Arterie mit der nicht dominanten Hand palpiert. Die dominante Hand führt derweil die Punktionskanüle in einem 30 bis 45 Grad Winkel in die Arterie. Die Nadel wird wiederum so lange vorgeschoben, bis beim geschlossenen System hellrotes pulsierendes Blut in die Indikatorkammer strömt. Dann wird ein flexibler Draht über die Kanüle eingeführt und die Punktionskanüle entfernt. Es folgt die Erweiterung des Stichkanals über den Draht mittels eines Plastikbougies, worauf der Katheter über den Draht in das Lumen der Arterie eingebracht und der Draht entfernt wird. Abschließend wird der Katheter fixiert, steril abgedeckt und an die invasive Druckmessung angeschlossen, worauf auch eventuell benötigte Blutproben entnommen werden können. (13)

### **1.3.5 Komplikationen**

Die Häufigkeit für das Auftreten von Komplikation ist abhängig von der jeweiligen Punktionsstelle. Dennoch ist die arterielle Katheterisierung als relativ sichere Intervention anzusehen, da generell in unter 1 % der Fälle, Komplikationen auftreten (16). Nach einer Studie im Bereich der Klinik von Nuttall et al. konnten aus einer Gruppe von 57.787 PatientInnen mit arterieller Katheterisierung nur 21 Fälle mit aufgetretenen Komplikationen identifiziert werden. (17)

## **1.4 Blutgase und pulmonaler Gasaustausch**

Durch die arterielle Blutgasanalyse können Aussagen über die Blutgase und den pulmonalen Gasaustausch, den Säure-Basen-Haushalt und den Elektrolythaushalt einer Patientin/ eines Patienten getroffen werden. Durch die physiologisch enge Verknüpfung dieser Teilbereiche ist es kaum möglich sie getrennt voneinander zu beurteilen.

### **1.4.1 Pulmonaler Gasaustausch**

Die Effektivität des Gasaustausches, aus welchem die messbaren Partialdrücke in der Alveole und im arterialisierten Blut resultieren, ist bestimmt durch ein dynamisches Zusammenspiel von Ventilation (V), Perfusion (Q), sowie Diffusion. Ein optimaler Gasaustausch kann bei einem V/Q-Ratio von 1 stattfinden, welches jedoch selbst beim Gesunden nicht über die gesamte Lunge zu finden ist. Durch hydrostatische Druckdifferenzen zwischen der Lungenspitze und -basis wird die Lunge apikal schlechter perfundiert als basal. Ähnliches gilt für die Ventilation der Lunge, die basal eine größere Kapazität zur inspiratorischen Ausdehnung besitzt und somit wiederum basal besser belüftet wird. Da sich diese Unterschiede nicht in gleichem Ausmaß verändern, kann die Lunge anhand dieser Inhomogenität in 3 Zonen nach West eingeteilt werden. Apikal herrscht eine bessere Belüftung relativ zur Perfusion, woraus sich ein V/Q-Ratio  $>1$  ergibt. In Zone 2 findet sich ein V/Q-Ration von ca. 1, welches basal durch die bessere Perfusion relativ zur Ventilation auf Werte kleiner 1 sinkt. Aus dieser Inhomogenität resultieren, trotz Erreichung des Diffusionsgleichgewichts in den Alveolen, leichte Unterschiede in den alveolären Sauerstoff-/ Kohlenstoffdioxidpartialdrücken ( $PAO_2 / PACO_2$ ) sowie in den arteriellen Partialdrücken ( $PaO_2 / PaCO_2$ ), woraus sich die alveolär- arterielle- Sauerstoff - (Kohlenstoffdioxid-) Differenz ( $AaDO_2 / AaDCO_2$ ) berechnen lässt. Die  $AaDO_2$  (bzw.  $AaDCO_2$ ) bietet eine Möglichkeit zur qualitativen Beurteilung des Gasaustausches. Falls nur der  $PaO_2$  bekannt ist, kann auch der Oxygenierungsindex (Horovitz-Quotient) als Beurteilungsparameter des pulmonalen Gasaustausches herangezogen werden, wobei der

arterielle O<sub>2</sub>-Partialdruck in Relation zum inspiratorischen Sauerstofffraktion (FiO<sub>2</sub>) gesetzt wird. (18, 19)

Die Diffusion, sprich die pro Zeiteinheit über die Membran transportierte Stoffmenge ( $\dot{V}_{Gas}$ ), ist abhängig von der Differenz der Partialdrücke im Alveolarraum (P1) und in der Kapillare (P2), der Durchtrittsfläche (A), der Membrandicke (d) und dem Diffusionskoeffizienten (D), welcher die Löslichkeit und das Molekulargewicht des Gases enthält. Die genaue Berechnung erfolgt durch das Fick'sche Diffusionsgesetz. (20)

$$\dot{V}_{Gas} = (P1 - P2) * \frac{A}{d} * D$$

Formel 1 Ficksches Diffusionsgesetz (20)

Da in der Lunge eine 23-mal größere Diffusionsleitfähigkeit für CO<sub>2</sub> zu finden ist, wirken sich respiratorische Störungen zuerst auf den arteriellen O<sub>2</sub>-Partialdruck aus (partielle Insuffizienz). Der arterielle CO<sub>2</sub>- Partialdruck wird erst bei schwerwiegenderen Störungen pathologisch (globale Insuffizienz). (20, 21)

#### **1.4.1.1 Störung der Perfusion**

Eine Störung der Perfusion führt zur sogenannten Totraumventilation. Durch eine erhöhte Ventilation relativ zur Perfusion nimmt das V/Q-Ratio Werte größer 1 an. Ursachen können sein ein geringer Blutfluss durch kardiales Versagen, eine zerstörte Kontaktfläche zwischen Alveole und Kapillare durch ein Emphysem, eine Pulmonalarterienembolie oder überblähte Alveolen während Überdruckbeatmung. Der Schweregrad der Veränderung der Blutgase ist proportional zur Ausprägung des Totraumes. In der Blutgasanalyse zeigt sich früh eine Hypoxie. Konsekutiv zu einer Totraumventilation größer als 50% der gesamten Ventilation ist eine Hyperkapnie messbar. (18, 20, 21)

#### **1.4.1.2 Störung der Ventilation**

Bei erhöhter Perfusion relativ zur Ventilation nimmt die V/Q-Ratio Werte kleiner 1 an. Ein Teil des durch die Lunge zirkulierenden Blutes nimmt nicht mehr am Gasaustausch teil, wodurch es zur venösen Beimischung zum arteriellen Blut kommt. Der Anteil des Blutes, welcher nicht am Gasaustausch teilnimmt, wird auch als Shuntvolumen bezeichnet. Weiters unterteilt man in obstruktive und restriktive Ventilationsstörung. Ursächlich für eine obstruktive Ventilationsstörung sind zum Beispiel unter anderem eine Schwellung der Bronchialschleimhaut bei Asthma bronchiale oder eine Zerstörung des peribronchialen Halteapparates bei einem Emphysem. Restriktive Ventilationsstörungen können aus einer

Insuffizienz der Atemmuskulatur, Einschränkungen der Thoraxbeweglichkeit bei Rippenfrakturen oder einer verminderten Dehnbarkeit der Lunge bei Lungenfibrose resultieren. Die Veränderung der Blutgase in Abhängigkeit vom Anteil des Shuntvolumens am kardialen Output ist in Abbildung 2 dargestellt. Es zeigt sich, dass der  $O_2$ -Partialdruck bereits bei geringerem Shuntvolumen beeinflusst wird im Vergleich zum  $CO_2$ -Partialdruck. (20-22)

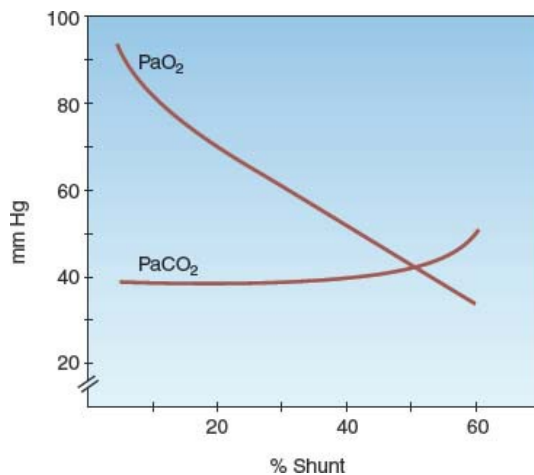


Abbildung 2 Auswirkung der Shuntfraktion auf den arteriellen  $PO_2$  und  $PCO_2$  (21)

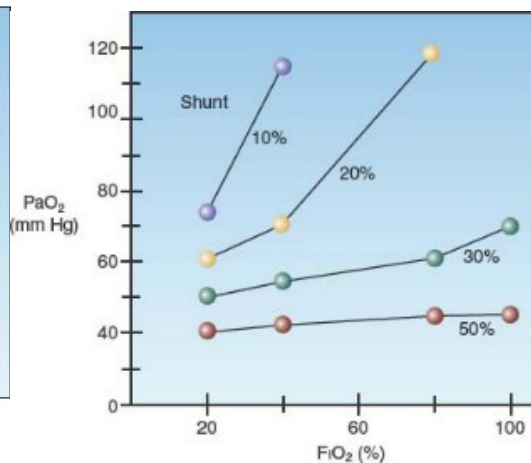


Abbildung 1 Auswirkung des  $FiO_2$  auf den arteriellen  $PO_2$  bei gegebener Shuntfraktion (21)

Generell bietet der  $O_2$ -Partialdruck nur geringe diagnostische Aussagekraft über die Oxygenierung und den alveolären Gasaustausch. In gemeinsamer Interpretation mit der inspiratorischen Sauerstofffraktion ( $FiO_2$ ) durch den Oxygenierungsindex, kann eine ungefähre Abschätzung der Lungenschäden und unter anderem der Shuntausprägung getroffen werden. Der therapeutische Nutzen liegt hierbei in der möglichen Senkung der inspiratorischen Sauerstofffraktion unter toxische Spiegel ( $FiO_2 < 60\%$ ). Wie in Abbildung 1 gezeigt, kommt es bei großen Shuntvolumina zu keiner weiteren Beeinflussung des  $PO_2$  durch Veränderungen der  $FiO_2$ . (21, 22)

### 1.4.1.3 Störung der Diffusion

Gemäß dem Fick'schen Diffusionsgesetz treten Diffusionsstörungen bei veränderter Diffusionsstrecke und Diffusionsfläche (siehe Störung der Perfusion und Störung der Ventilation) auf. Die Diffusionsstrecke kann zum Beispiel bei einem Lungenödem durch die Verdickung der Alveolarwände vergrößert sein. (18)

### 1.4.2 Gastransport im Blut

Nach erfolgter Diffusion ins Blut wird Sauerstoff vor allem chemisch an Hämoglobin gebunden, sowie physikalisch gelöst, weitertransportiert. Da allerdings die Löslichkeit von

Sauerstoff sehr gering ist, werden weniger als 2% der gesamten Sauerstoffmenge physikalisch gelöst transportiert. Erst bei schweren Anämien gewinnt dieser Transportmechanismus an Bedeutung. Die Menge an Sauerstoff, die den Organen schlussendlich zur Verfügung steht, wird beschrieben als Sauerstoffangebot ( $DO_2$ ) und setzt sich aus dem Herzzeitvolumen (HZV) und dem Sauerstoffgehalt ( $C_aO_2$ ) des Blutes zusammen. (23)

$$DO_2 = C_aO_2 * HZV$$

Formel 2 Sauerstoffangebot in [ml/min]

Der gesamte Sauerstoffgehalt des Blutes ( $CaO_2$ ), ist abhängig von der Sättigung des Hämoglobins ( $SaO_2$ ), der Hämoglobinkonzentration (Hb), der Sauerstoffbindungsfähigkeit des Hämoglobins (ausgedrückt durch die Hüfner-Zahl= 1,34 ml  $O_2$  pro Gramm Hämoglobin, und der gelösten Sauerstoffmenge ( $PO_2 * 0,0031$ ). (20, 23)

$$C_aO_2 = (S_aO_2 * Hb * 1,34) + (PO_2 * 0,0031)$$

Formel 3 Sauerstoffgehalt des Blutes in [ml  $O_2$ /dl]

Der Großteil des in den Zellen angefallenen Kohlenstoffdioxids wird chemisch gebunden im Blut als Bicarbonat und Carbamat zurück zur Lunge transportiert. Trotz sehr guter physikalischer Löslichkeit liegen nur ca. 4% des Kohlenstoffdioxids in gelöster Form vor. Die Hydratation von  $CO_2$  findet vor allem in den Erythrozyten, durch die dort vorliegende Carboanhydrase II (CAII), statt. Durch die vorliegende CAII kann die Bildung von  $HCO_3^-$  stark beschleunigt werden und es findet ein dauerhafter Einstrom von  $CO_2$  statt, wodurch zwischen Erythrozyten und Plasma ein Konzentrationsgefälle für  $HCO_3^-$  entsteht. Im Austausch mit Chlorid gelangt  $HCO_3^-$  über den Anionentransporter Band-3-Protein ins Plasma. Dieser Prozess verläuft in der Lunge in entgegengesetzter Richtung. (20, 24)

### **1.5 Säure-Basen-Haushalt**

Durch den Metabolismus von Kohlenhydraten und Proteinen fallen täglich Säuren ( $CO_2$ ,  $H^+$ ,  $NH_4^+$  und Harnstoff) in unserem Körper an. Um die Funktionsfähigkeit von zahlreichen Proteinen, Stoffwechselkreisläufen zu garantieren, muss der pH-Wert konstant innerhalb enger Grenzen gehalten werden. Erreicht wird dies durch ein Zusammenspiel von Puffersystemen im Blut und über die Ausscheidung von sauren Valenzen über Lunge und Niere. (25, 26)

### 1.5.1 pH-Wert

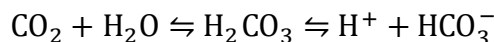
Der pH-Wert ist eine dimensionslose Größe und wird definiert als der negative dekadische Logarithmus der H<sup>+</sup>-Konzentration.

$$pH = -\log_{10}[H^+]$$

Formel 4 Berechnung des pH-Wertes

Aus der Formel kann geschlossen werden, dass sich der pH-Wert gegensätzlich zur H<sup>+</sup>-Konzentration ändert und nicht in einer linearen Verbindung dazu steht. Der physiologische Bereich des pH-Wertes liegt zwischen 7,35 und 7,45. Bei pH-Werten von >7,45 besteht eine Alkalose, bei Werten von <7,35 eine Azidose. Störungen des Säure-Basenhaushaltes können entsprechend ihrer Ursache weiters in metabolisch und respiratorisch unterteilt werden. (25, 27)

Da die Bildung von H<sup>+</sup> und HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> nicht an die Verfügbarkeit von Energie in Form von ATP gebunden ist, hängt die Konzentration der Produkte nur von der Konzentration der Edukte (CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O) ab. Der Reaktionsweg wird nachfolgend durch die zentrale Gleichung des Säure-Basen Haushaltes beschrieben. Die Hydratation von CO<sub>2</sub> erfolgt hierbei, wie bereits erwähnt, in den Erythrozyten durch das Enzym Carboanhydrase. (24, 25, 27)



Formel 5 Zentrale Gleichung des Säure-Basen-Haushalts

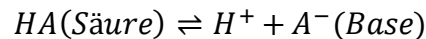
### 1.5.2 Bicarbonat

Wenn vom Bicarbonat gesprochen wird, muss unterschieden werden zwischen der aktuell im Blutplasma der Patientin/ des Patienten vorliegenden HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> Konzentration und dem Standardbicarbonat. Das Standardbicarbonat ist diejenige HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> Konzentration, die sich in einer Blutprobe bei 37°C, einer Sauerstoffsättigung von 100% und unter einem PCO<sub>2</sub> von 4 mmHg einstellt. Das Standardbicarbonat ist bei metabolischen Störungen des Säure-Basenhaushaltes verändert. Bei einer metabolischen Alkalose kommt es zu einer Erhöhung und bei einer metabolischen Azidose kommt es zu einer Erniedrigung der Standardbicarbonatwerte. Bei isoliert respiratorischen Störungen des Säure-Basenhaushaltes sind keine Veränderungen zu sehen. (25, 26)

### 1.5.3 Regulation des Säure-Basen Haushaltes durch Puffersysteme

Puffersysteme bieten die schnellste -fast ohne Verzögerung- Möglichkeit zum Abfangen von Änderungen der H<sup>+</sup>-Konzentration. Ein Puffer besteht immer aus einem korrespondierendem Säure-Basen-Paar. Je nach Dissoziationskonstante, welche die

„Stärke“ der Säure widerspiegelt, liegt das Säure-Basen-Paar in unterschiedlichen Konzentrationen vor.



Formel 6 Allgemeine Gleichung für das Säure-Basen-Gleichgewicht

Unterschieden wird in offene und geschlossene Puffersysteme. Geschlossene Puffersysteme (Protein- und Phosphat-Puffer) sind dadurch gekennzeichnet, dass die größte Kapazität an einen für das Säure-Basen-Paar spezifischen pH-Wert gekoppelt ist. Offene Puffersysteme (Bicarbonat- und Ammonium-Puffer) sind unabhängig von bestimmten pH-Werten, da die Konzentration der jeweiligen Reaktionspartner durch Lunge und Niere aktiv beeinflusst werden kann. (25)

*Bicarbonat-Puffer.* Als korrespondierendes Säure-Basen-Paar fungiert  $\text{CO}_2$  und  $\text{HCO}_3^-$ . Der Bicarbonatpuffer trägt ca. 50% zur Gesamtpufferkapazität im Blut bei. Die Pufferkapazität erhöht sich mit steigendem pH-Wert, weshalb vor allem ein Schutz vor Alkalose geboten wird. (25)

*Ammonium-Puffer.* Die Funktion dieses Puffersystems liegt hauptsächlich in der renalen Ausscheidung von Säuren, der De-novo-Synthese von  $\text{HCO}_3^-$  und in der intrazellulären Pufferung. (25)

*Protein-Puffer.* Der Proteinpuffer trägt ca. 50% zur Gesamtpufferkapazität im Blut bei. Generell können alle Proteine im Plasma als Puffer agieren, die größte Bedeutung besitzen allerdings Albumin und Hämoglobin. (25)

*Phosphat-Puffer.* Der Phosphatpuffer spielt hauptsächlich eine Rolle in der intrazellulären Pufferung, sowie in der Ausscheidung von freien  $\text{H}^+$ -Ionen in der Niere. (25)

### **1.5.3.1. Base Excess**

Der Base Excess (BE) ist ein essenzieller Parameter in der Beurteilung von Blutgasanalysen. Bezeichnend steht er für diejenige Konzentration an Säure bzw. Base, die zur Erreichung des physiologischen pH-Wertes (pH=7,4) zu einer Blutprobe unter Standardbedingungen ( $\text{pCO}_2= 40$  mmHg,  $\text{O}_2$ -Sättigung,  $37^\circ\text{C}$ ) hinzugefügt werden muss. Der Normbereich liegt zwischen -3 und +3. Mittels des BE kann eine weitere Beurteilung der kompensatorischen Antwort in der Blutgasanalyse durchgeführt werden. (26)

### **1.5.4 Regulation des Säure-Basen Haushaltes durch die Lunge**

Durch eine Veränderung der Atemmechanik entsprechend den  $\text{PCO}_2$  -Werten, die an Chemosensoren gemessen werden, greift die Lunge regulierend in den Säure-Basen-

Haushalt ein. Im Falle einer metabolischen Azidose kommt es zur Hyperventilation und somit zur vermehrten  $\text{CO}_2$ -Abatmung. Kompensatorisch zur metabolischen Alkalose setzt eine Hypoventilation ein mit verminderter  $\text{CO}_2$ -Abatmung. Voraussetzung für eine respiratorische Kompensation ist, dass die primäre Störung metabolischen Ursprungs ist. Eine erste Kompensation durch die Atmung erfolgt bereits nach wenigen Minuten. Der volle Umfang des Kompensationsmechanismus wird allerdings erst nach einigen Stunden ausgeschöpft. Entsprechend der zentralen Gleichung des Säure-Basen-Haushalts führt eine Erhöhung der  $\text{H}^+$ -Konzentration ( $\text{pH}\downarrow$ , Azidose) zu einer Erhöhung der  $\text{CO}_2$ -Konzentration. Umgekehrt führt ein Abfall der  $\text{H}^+$ -Konzentration ( $\text{pH}\uparrow$ , Alkalose) zu einem Abfall der  $\text{CO}_2$ -Konzentration. (25)

### **1.5.5 Regulation des Säure-Basen Haushaltes durch die Nieren**

Die Kompensation von primär respiratorischen Störungen erfolgt über die Regulation der  $\text{NH}_4^+$ -Produktion und -Ausscheidung, sowie über die  $\text{HCO}_3^-$ -Ausscheidung. Die Wirkung der renalen Kompensationsmechanismen tritt nach einigen Stunden ein, ihr volles Ausmaß erreichen sie erst nach mehreren Tagen. Im Falle einer respiratorischen Azidose kommt es zu einer Erhöhung der  $\text{NH}_4^+$ -Produktion und -Ausscheidung. Durch die erhöhte Produktion von  $\text{NH}_4^+$  können mehr  $\text{HCO}_3^-$ -Ionen generiert und dem Körper als Pufferbase zugeführt werden. Zur Kompensation einer respiratorischen Alkalose wird die Ausscheidung von  $\text{HCO}_3^-$ -Ionen durch verminderte Reabsorption erhöht. (25)

### **1.5.6 Störungen des Säure-Basen-Haushaltes**

Wie bereits beschrieben werden Störungen des Säure-Basen-Haushaltes anhand ihres Ursprungs im metabolischen oder respiratorischen System und nach der Richtung der pH-Abweichung eingeteilt. Die sekundäre Antwort dient zur Limitation der Konzentrationsänderung der  $\text{H}^+$ -Ionen und erfolgt immer in dieselbe Richtung der primären Störung. Einen Überblick über die Störungen mit veränderten Messwerten und die sekundäre Antwort gibt Tabelle 2. Zusätzlich dazu können allerdings auch kombinierte Störungen auftreten, in denen sich die metabolische und respiratorische Störung addieren und somit die Azidose/Alkalose verstärkt wird.

	Azidose		Alkalose	
	Primäre Veränderung	Sekundäre Antwort	Primäre Veränderung	Sekundäre Antwort
respiratorisch	pH: ↓	pH: normal/ ↓	pH: ↑	pH: normal/ ↑
	PCO <sub>2</sub> : ↑	PCO <sub>2</sub> : ↑	PCO <sub>2</sub> : ↓	PCO <sub>2</sub> : ↓
	BE: normal	BE: positiv	BE: normal	BE: positiv
metabolisch	pH: ↓	pH: normal/ ↓	pH: ↑	pH: normal/↑
	PCO <sub>2</sub> : normal	PCO <sub>2</sub> : ↓	PCO <sub>2</sub> : normal	PCO <sub>2</sub> : ↑
	BE: negativ	BE: negativ	BE: positiv	BE: positiv
kombiniert	pH: ↓		pH: ↑	
	PCO <sub>2</sub> : ↑		PCO <sub>2</sub> : ↓	
	BE: negativ		BE: positiv	

Tabelle 2 Überblick über die Störungen des Säure-Basen-Haushaltes

*Respiratorische Azidose.* Die zugrundeliegende Störung einer respiratorischen Azidose ist immer eine Hypoventilation, sprich im Stoffwechsell entsteht mehr CO<sub>2</sub> als abgeatmet werden kann. Verursacht wird diese unter anderem durch eine Ventilations-/Perfusionsstörung, eine verminderte Diffusionskapazität oder eine Lähmung des Atemzentrums. Die zusätzlich entstandenen H<sup>+</sup>-Ionen werden vor allem durch Pufferbasen des Nichtbicarbonat-Puffers abgefangen. So sinkt zwar die Konzentration der Nichtbicarbonat-Pufferbasen, jedoch steigt die Konzentration von Bicarbonationen im gleichen Verhältnis an und somit die Konzentration der Gesamtpufferbasen konstant bleibt. (25, 26)

*Respiratorische Alkalose.* Eine respiratorische Alkalose entsteht stets durch Hyperventilation, unter anderem in Folge von psychischem Stress, Angst oder Hypoxie. Dementsprechend wird insgesamt mehr CO<sub>2</sub> abgeatmet, als im Stoffwechsel entsteht. Das Reaktionsgleichgewicht der zentralen Gleichung des Säure-Basen-Haushaltes (Formel 5) verschiebt sich in Richtung CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O, wodurch vermehrt H<sup>+</sup>-Ionen durch Dissoziation von Nichtbicarbonat-Puffern nachgebildet werden müssen. Die Konzentration der Gesamtpufferbasen bleibt auch hier konstant. (25, 26)

*Metabolische (nichtrespiratorische) Azidose.* Um von einer metabolischen Azidose sprechen zu können, muss ausgeschlossen werden, dass die Ursache der Störung ein Abfall des PCO<sub>2</sub> ist. Demnach kann dann eine metabolische Azidose entweder durch einen Überschuss an Säure, z.B. bei Laktatazidosen, oder einen Mangel an Basen, z.B. durch einen gastrointestinalen Verlust von HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> bei Durchfall. Somit kommt es bei einer metabolischen Azidose zu einer Erniedrigung der Gesamtkonzentration der Pufferbasen. Besonders die Laktatazidose ist ein wichtiger Teil dieser Säure-Basen-Störungen. Laktat

entsteht beim intrazellulären Glukoseabbau unter  $O_2$ -Mangel und wird über die Extrazellulärmatrix schlussendlich weiter an das Blut abgegeben. Der Abbau erfolgt größtenteils in der Leber über die Gluconeogenese oder über den Citratzyklus in  $CO_2$  und  $H_2O$ . Ursächlich am Laktatüberschuss ist meist eine Minderdurchblutung des Gewebes infolge von unter anderem Hypovolämie, Schock oder Herz-Kreislaufstillstand. (25, 26, 28)

*Metabolische (nichtrespiratorische) Alkalose.* Um von einer metabolischen Alkalose sprechen zu können, muss ausgeschlossen werden, dass die Ursache der Störung ein Anstieg des  $PCO_2$  ist. Als primäre Ursache kann zwischen einem Verlust von Säuren (z.B. durch Erbrechen) oder einem Anstieg von Basen (z.B. durch verminderte renale Ausscheidung von  $HCO_3^-$ - bei Niereninsuffizienz) differenziert werden. Auch in diesem Fall kommt es zu einer Veränderung der Gesamtkonzentration der Pufferbasen. (25, 26)

*Kombinierte Säure-Basen-Störungen.* Zur Ergänzung seien hier auch noch kombinierte Säure-Basen-Störungen erwähnt. Diese können zum einen mit normalem pH erscheinen - zum Beispiel bei einer Intoxikation durch Acetylsalicylsäure mit dem Auftreten einer respiratorischen Alkalose, bei gesteigerter zentraler Stimulation der Atmung, und dem Auftreten einer nichtrespiratorischen Azidose. (25) Zum anderen kann durch die Kombination von respiratorischer und nichtrespiratorischer Säure-Basen-Störung auch eine verstärkte pH-Wert-Abweichung auftreten, so unter anderem bei der nichtrespiratorischen und respiratorischen Azidose in der Reanimationssituation. (28)

## **1.6 Elektrolythaushalt**

Ein Großteil unseres Körpers besteht aus Wasser mit einer Vielzahl an Elektrolyten. Um die Funktion der Zellen zu gewährleisten, muss ein empfindliches Gleichgewicht im Wasser- und Elektrolythaushalt gehalten werden. Elektrolytverschiebungen können eine Vielzahl an Symptomen hervorrufen und sind klinisch schwer zu diagnostizieren. Mithilfe einer Blutgasanalyse kann eine schnelle Differenzierung erfolgen.

### **1.6.1 Natrium, $Na^+$**

Vor allem Natrium ist sehr eng mit dem Wasserhaushalt verknüpft. Meist ist die Ursache einer Natrium-Entgleisung eine Verdünnung oder Konzentrierung, seltener ein echter Verlust von Natrium (durch Diuretika, Diarrhö, Erbrechen) oder eine Natriumbelastung durch vermehrte Zufuhr. Sowohl Hypo- als auch Hybernatriämien äußern sich mit neurologischen Symptomen und sind somit, ohne eine Messung der Natriumkonzentration, nicht zu unterscheiden. Symptome einer Natriumentgleisung können Kopfschmerzen,

Erbrechen und Übelkeit sowie Krampfanfälle oder Bewusstlosigkeit sein. Die physiologische Natriumkonzentration im Plasma beträgt 135-145 mmol/L.(28, 29)

### **1.6.2 Kalium, K<sup>+</sup>**

Kalium ist das wichtigste intrazelluläre Kation und spielt eine bedeutende Rolle für die Erregbarkeit der Zelle. Hypokaliämien können entstehen durch renale oder gastrointestinale Verluste, geringe Zufuhr mit der Nahrung oder eine Umverteilung aus dem Intrazellulärraum (Alkalose, Insulintherapie, Katecholamine, Hypomagnesiämie). Hyperkaliämien können Folge einer Bilanzstörung (renale Ausscheidungsstörung, Übermäßige Zufuhr, erhöhte Kaliumfreisetzung bei Zellzerfall) oder ebenfalls einer Umverteilung aus dem Intrazellulärraum (Azidose, Coma diabeticum) sein. Betont werden muss hier, dass Kalium immer unter Beachtung des aktuellen pH-Wertes beurteilt werden muss. Eine Azidämie bewirkt einen sekundären Ausstrom von Kalium aus der Zelle in den Extrazellulärraum und umgekehrt strömt Kalium im Austausch mit H<sup>+</sup> durch eine Alkalämie in die Zelle. Genauer spezifiziert bedeutet dies, pro pH-Veränderung um 0,1 kann eine gegengleiche Veränderung der plasmatischen K<sup>+</sup>-Konzentration um 0,5 mmol/L angenommen werden. (30) Bei Abweichungen der plasmatischen Kaliumkonzentration von physiologischen Normwerten führen sowohl Überschuss als auch Mangel, zu ähnlichen Symptomen. Klinische Zeichen können Lethargie, Muskelkrämpfe oder kardiale Störungen sein. Eine rasche Therapie ist vor allem bei auftretenden Herzrhythmusstörungen lebensrettend. Die physiologische Kaliumkonzentration im Plasma beträgt 3,5-5,0 mmol/L (28, 31)

### **1.6.3 Kalzium, Ca<sup>++</sup>**

Der Kalziumhaushalt wird durch zahlreiche Organe und Hormone beeinflusst (Knochen, Darm, Nieren, Leber, Haut, Nebenschilddrüse, Vitamin D3, Parathormon und Calcitonin). Kalzium kommt im Körper zu 99% gebunden als Kalziumphosphat im Knochen vor, wobei es allerdings nur in freier Form an Stoffwechselprozessen und Signaltransduktionskaskaden teilnimmt. Eine Hyperkalzämie kann mit unterschiedlichsten Symptomen, z.B. Herzrhythmusstörungen, Obstipation, Paresen, Muskelschwäche, einhergehen. Im Falle einer Hypokalzämie treten Symptome auf wie Kribbelparästhesien, Herzrhythmusstörungen, Krampfanfälle und die typische Pfötchenstellung. Die physiologische Kalziumkonzentration im Plasma beträgt 1,15-1,35 mmol/l.(28, 32)

## 1.7 Arterielle Blutgasanalyse

Als Point-of-Care-Test ermöglicht die arterielle Blutgasanalyse patientennahe, schnelle diagnostische und therapeutische Folgerungen zu treffen. Durch diese Eigenschaften scheint die arterielle Blutgasanalyse auch für den präklinischen Bereich prädestiniert zu sein. So wird suspektiert, dass vor allem Patientengruppen mit schweren, bzw. lebensbedrohenden Krankheitsbildern (Sepsis, Inhalation von toxischen Substanzen, exazerbierte COPD, Herz-Kreislauf-Versagen, usw.) von einer frühestmöglichen Blutgasanalyse profitieren könnten. (33)

Die Anforderung des Tests und Auswertung der Ergebnisse muss gewissenhaft im klinischen Kontext passieren. Bei stabilen Patienten kann die Pulsoxymetrie, sowie die Kapnographie, die Anzahl der invasiven arteriellen Blutgasanalysen senken. Jedoch ist die invasive Messung der Blutgase bei instabilen Patientinnen/ Patienten bis dato nicht ersetzbar, da bei kritisch Kranken  $\text{PaCO}_2$  und  $\text{etCO}_2$  nicht mehr ausreichend korrelieren. (34, 35)

Für die Indikationsstellung gibt es sehr grob formulierte Richtlinien zur Orientierung (s.u. aus(22)). Vor der Blutgasanalyse muss hinterfragt werden, welche Antworten man sich durch die Messungen von klinischen Fragestellungen erwarten kann.

Beispiele für Indikationsstellungen:

- Während oder nach endotrachealer Intubation und/oder mechanischer Beatmung (invasiv/ nicht invasiv)
- Zur diagnostischen Evaluierung eines akuten Lungenversagen
- Bei akutem Kreislaufversagen
- Zum Management von Säure-Basen-Störungen

### 1.7.1 Fehlerquellen:

Nach Gewinnung der Blutprobe aus einer arteriellen Leitung oder einer direkten arteriellen Punktion muss die sofortige Auswertung erfolgen. Um Missinterpretationen oder falsche Ergebnisse zu vermeiden, gilt es ein Augenmerk auf folgende mögliche Fehlerquellen zu legen. (15, 22)

*Antikoagulation.* Ein Überschuss an Heparin in den Kanülen zur Probengewinnung kann  $\text{PCO}_2$ ,  $\text{PO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  und den Base Excess, aber nicht den pH-Wert, beeinflussen. (15, 22)

*Verzögerung in der Auswertung.* Durch die Fortsetzung von metabolischen Vorgängen in den Blutzellen, wird auch nach Probengewinnung noch Sauerstoff verbraucht und Kohlenstoffdioxid produziert. Um die Verfälschung der Messwerte zu verhindern muss die Probe bei Lagerung unter Raumtemperatur innerhalb von 15 Minuten und unter Kühlung innerhalb von 2 Stunden ausgewertet werden. (15, 22)

*Fehler in der Probenentnahme.* PO<sub>2</sub> kann falsch erhöht und PCO<sub>2</sub> kann falsch erniedrigt sein, wenn sich nach Blutabnahme Luftbläschen in der Probenkanüle befinden. Dieser Fehler kann durch leichtes Beklopfen der Kanüle und durch rasche Probenauswertung vermindert werden. (15, 22)

*Hypothermie.* Bei hypothermen Patientinnen und Patienten muss beachtet werden, dass die Auswertung der Probe ebenfalls in Körpertemperatur der Patientin/ des Patienten erfolgt. Durch die veränderte Löslichkeit der Blutgase in aufgewärmten Proben würden PO<sub>2</sub> und PCO<sub>2</sub> überschätzt und der pH-Wert unterschätzt werden. (15, 22)

## **1.8 Invasives Blutdruckmonitoring**

Anstelle der nicht-invasiven Blutdruckmessung (NIBP) dient die invasive Blutdruckmessung (IBP) zur Intensivierung des Monitorings. Vor allem bei hämodynamisch instabilen Patientinnen und Patienten bzw. bei Applikation von vasoaktiven Substanzen (Narkoseeinleitung) wird die invasive Blutdruckmessung bevorzugt. Über die arterielle Leitung und ein flüssigkeitsgespültes Schlauchsystem wird Kontakt hergestellt zwischen Gefäßlumen und Messwandler bzw. Druckaufnehmer (Transducer), wodurch die Pulswelle aus dem Gefäßlumen über die Flüssigkeitssäule zum Transducer übertragen werden kann. Der Messwandler übersetzt mechanische Druckschwankungen an einer Membran in elektrische Signale, welche wiederum am Monitor als Druckkurve dargestellt werden. Somit kann eine „Schlag-für-Schlag“-Beurteilung des systolischen, diastolischen und mittleren arteriellen Druckes sowie der Form der Pulswelle erfolgen. (14, 36)

### **1.8.1 Kalibrierung**

Für die korrekte Messung des Blutdruckes muss ein Nullwertabgleich des Systems erfolgen. Der Druckaufnehmer wird dem atmosphärischen Druck ausgesetzt und abgeglichen. Dieser Nullabgleich muss immer auf die Lage der Patientin/des Patienten abgestimmt werden und bei Lagerungswechsel, sofern der Messwandler nicht am Patienten selbst befestigt wurde, erneut durchgeführt werden. Der Nullabgleich, und somit die Platzierung des Messwandlers, muss auf Höhe des rechten Atriums der Patientin/des Patienten erfolgen. Topografisch ist dieser Punkt im Schnittpunkt der mittleren axillären Linie (frontale Ebene) mit einer Linie im 4. Interkostalraum (transversale Ebene).

Fällt der Messwandler unter den Punkt des Nullabgleiches, so können falsch erhöhte Blutdruckwerte angezeigt werden. Wird der Messwandler über den Punkt des Nullabgleiches gehoben, zeigt der Monitor falsch niedrige Blutdruckwerte. (14)

### 1.8.2 Probleme

Eine weitere Fehlerquelle des Monitorings liegt in der Natur der arteriellen Leitung. Das flüssigkeitsgefüllte Schlauchsystem zur Blutdruckmessung ist ein schwingungsfähiges System und kann spontan oszillieren, wodurch die Morphologie der Blutdruckkurve verändert wird. Schwingende Systeme werden vor allem maßgeblich bestimmt durch ihre Resonanzfrequenz und die Dämpfung bzw. den Dämpfungsfaktor. So werden Messwerte unter anderem beeinflusst durch die Länge des Katheters, den Durchmesser und die Compliance des Schlauchsystems. Das System beginnt verstärkt zu schwingen bei einer Signalaufnahme in der gleichen Frequenz wie die Resonanzfrequenz bzw. einem ganzzahligen Vielfachen davon. Die Oszillationen des Schlauchsystems werden dem Signal addiert und es kommt somit zur Überschätzung des systolischen und zur Unterschätzung des diastolischen Blutdruckes. In einem solchen System spricht man von Unterdämpfung. Wird die Resonanz erniedrigt oder unterliegt das flüssigkeitsgefüllte System Störungen (Luftblasen, Thromben) so wird der systolische Blutdruck unterschätzt und der diastolische Blutdruck überschätzt. In diesem System herrscht Überdämpfung. (2, 12, 14, 36)

Zur Überprüfung der Resonanz und der Dämpfung des Systems kann der „Fast-flush“-Test herangezogen werden. Mittels einer schnellen Spülung des Systems aus der Druckinfusion wird der anschließende Druckverlauf nach schlagartiger Beendigung der Spülung analysiert. (36)

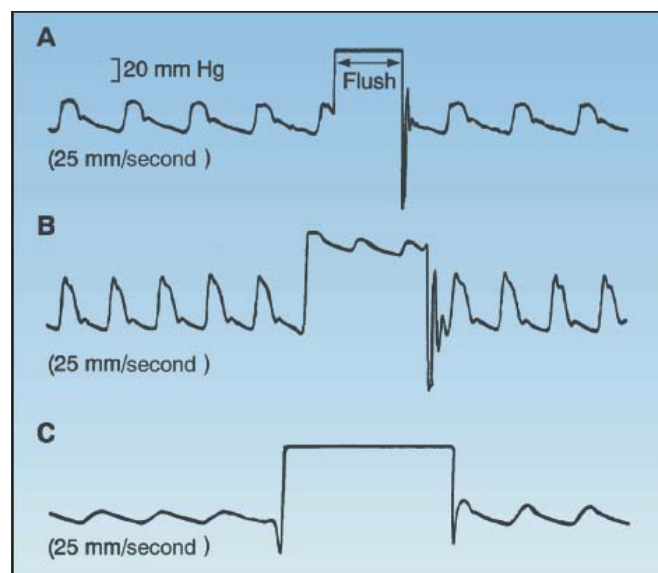


Abbildung 3 Fast-flush-Test in einem optimal gedämpften System (A), in einem System mit Unterdämpfung (B) und einem System mit Überdämpfung (C) (36)

In Abbildung 3 sind die Kurvenverläufe von Systemen mit unterschiedlicher Dämpfung gezeigt. Unter A ist die normale Kurvenform mit einer runden systolischen Druckspitze und

der Inzisur bei Schluss der Aortenklappen zu sehen. Bei der Durchführung des „Fast-flush“-Tests kommt es zu hochfrequenten Oszillationen nach Ende der Spülung. Ein System mit zu niedriger Dämpfung wird in B dargestellt. Es zeigt sich eine ausgeprägte Druckspitze in der Systole sowie eine enge Amplitude der Druckkurve. In diesem Fall kommt es zu einer niedrigfrequenten Reaktion des Systems auf den „Fast-flush“-Test. Ein überdämpftes System zeigt sich wie in C mit einer gedämpften Druckspitze sowie einer geringen Differenz zwischen systolischem und diastolischem Blutdruck. (36)

## 2 Material und Methoden

Für diese Studie in der vorliegenden Form wurde ein positives Votum (33-235 ex 20/21) der Ethik-Kommission der Medizinischen Universität Graz gewährt.

### 2.1 Datenquellen

Das PatientInnengut wird gebildet durch PatientInnen, die im Zeitraum vom 1.1.2014-31.12.2018 durch das NEF am LKH Univ. Klinikum Graz versorgt wurden, wobei keine Trennung durch Alter und/oder Geschlecht durchgeführt wurde. Zur Analyse wurden PatientInnen- und Einsatzdaten aus 3 verschiedenen, teilweise redundanten, Quellen herangezogen. Hauptquelle der Daten bildet das während des Einsatzes geführte elektronische Dokumentationssystem MEDEA. Dieser Grundstock an Daten wurde ergänzt und validiert durch Daten aus dem Grazer Reanimationsregister, ein nach dem Einsatz händisch ausgefülltes Protokoll, und dem Gerätespeicher des POCT-Gerätes am NEF, welches für Blutgasanalysen während des Einsatzes verwendet wird. Eine vollständige Übereinstimmung der Zeiträume der erhobenen Daten war, aus unten genannten Gründen, nicht möglich, wodurch sich eine Überschneidung der Datenquellen am Zeitstrahl (Abb. 4) ergibt.

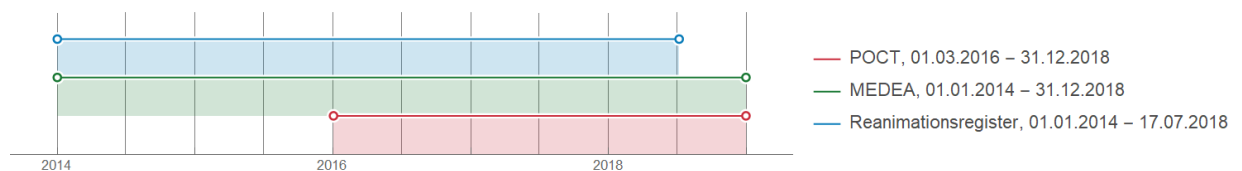


Abbildung 4 Zeiträume der Datenextraktion aus den unterschiedlichen Datenquellen

#### 2.1.1 MEDEA

MEDEA ist ein elektronisches Dokumentationssystem, welches durch das iLogs Klagenfurt und die medizinische Universität Graz entwickelt wurde. Während des Einsatzes werden hier alle relevanten Informationen zur Patientin/zum Patienten und zum Einsatz am mitgeführten Computer eingetragen und an das jeweilige Transportziel versendet. Teilweise ist eine automatische Schnittstelle mit Datenübertragung, zum Beispiel beim „Lifepak 15“ zur invasiven Blutdruckmessung, vorhanden. Für die Analyse wurden Daten zu allen Einsätzen des NEF am LKH Univ. Klinikum Graz im Zeitraum zwischen 01.01.2014 - 31.12.2018 in eine Exceltabelle exportiert.

Die MEDEA-Datenbank bzw. die Datentabelle ist unterteilt in die Abschnitte Admin, Erstbefund, Endbefund, Erstdiagnose, Maßnahmen und Ergebnis mit jeweilig weiteren Unterkategorien.

Im Abschnitt „Admin“ werden basale Einsatzdaten wie Datum, Uhrzeiten, Besetzung und eine kurze Einsatzbeschreibung sowie Patientendaten, wie Name, Alter, Geschlecht dokumentiert.

Die Abschnitte „Erstbefund“ und „Endbefund“ enthalten die strukturelle Statuserhebung der Patientin/des Patienten zu Einsatzbeginn und -ende und die Statusbeurteilung mittels NACA-Scores und Glasgow Coma Scale (GCS).

Die Verdachtsdiagnosen werden unter „Erstdiagnose“ eingetragen. Dieser Abschnitt ist in Unterkategorien grob nach Organsystemen, Kategorie für pädiatrische Einsätze, Verbrennungen/Verbrühungen und Intoxikationen unterteilt und enthält auch eine Beurteilung des Gesamtverletzungsgrades. Die Notärztin/Der Notarzt kann in diese Unterkategorien mittels Freitext eine Verdachtsdiagnosen eintragen, woraus sich für die weitere Analyse der Verdachtsdiagnosen ein Mehrfachantwortset nach Organsystemen, entsprechend den Unterkategorien, ergeben hat.

Der Abschnitt „Maßnahmen“ enthält Informationen zur Intensität und Invasivität des Monitorings, gesetzten Maßnahmen wie Gefäßzugänge, Daten zu (Be-)Atmung, Befunde eventueller Blutgasanalysen, Blutdruckmessungen (invasiv und nicht invasiv), Medikamentenapplikationen und sonstigen Maßnahmen. Die Möglichkeiten zum Ausfüllen des Formulars sind hier sehr divers. Zum einen kann die Art des Gefäßzuganges durch einfaches Ankreuzen markiert werden, weiters sich durch Einträge zu Ergebnissen der Blutgasanalysen auf Punktionen schließen und zusätzlich werden hier Medikamentenapplikationen und sonstigen Maßnahmen in Form von Freitexteingaben ohne nähere Vorgaben eingetragen.

Der Abschnitt „Ergebnis“ enthält noch individuelle Bemerkungen zum Einsatz und Informationen zu Reanimationen oder Todesfeststellungen.

### **2.1.2 Grazer Reanimationsregister**

Das Grazer Reanimationsregister entstand 2013 durch eine Zusammenarbeit mit der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin aus dem „German Resuscitation Registry“ (GRR). Ziel der Zusammenarbeit war die Anpassung des Registers an lokale Unterschiede im Rettungs- und Notarztwesen. Im Grazer Reanimationsregister werden alle Einsätze des am LKH-Universitätsklinikum stationierten NEFs erfasst, bei denen Reanimationen oder Todesfeststellungen durchgeführt wurden. Das Register wird von Notärztinnen und Notärzten zusätzlich zum Einsatzprotokoll (MEDEA) separat handschriftlich ausgefüllt, wodurch sich, je nach Ermessen der Notärztin/des Notarztes, bestenfalls eine doppelte Dokumentation von Einsätzen mit Reanimationen ergibt. Für die

Analyse in dieser Arbeit konnten vor allem Ja/Nein-Aussagen betreffend arterieller Leitungen, invasiven Blutdruckmonitorings und Blutgasanalysen bei Reanimationen aus dem Zeitraum 01.01.2014- 17.07.2018 exportiert werden. Ein Export bis Ende 2018 war durch eine Umstellung des Registers nicht möglich.

### **2.1.3 epoc® Blood Analysis System**

Als POCT- Gerät wird im NEF das epoc® Blood Analysis System von Siemens mitgeführt. Vom Gerätespeicher konnten Blutgasanalysen aus dem Zeitraum vom 01.03.2016- 31.12.2018 exportiert werden. Da es noch keine Schnittstelle zwischen dem Gerät und der Einsatzdokumentation gibt, werden die Befunde von den Notärztinnen und Notärzten während des Einsatzes händisch im MEDEA ergänzt. Häufig werden nur pathologische Werte, welche für das weitere Vorgehen relevant sind, und nicht die gesamte Analyse übertragen. Im Grazer Notfallsystem ist nicht nur das NEF, sondern auch der Großraumrettungswagen (Jumbo), mit einem POCT-Gerät ausgestattet. Im Rendezvous-System kann es so vorkommen, dass bei einem Einsatz das Gerät des Jumbos anstelle des Gerätes aus dem NEF verwendet wurde, wodurch nachfolgend auch kein Zugriff auf die elektronisch gespeicherten Messwerte besteht.

## **2.2 Datenverarbeitung**

Zur Verarbeitung und Zusammenführung der Daten wurde Exporte aus den 3 Datenquellen in „Microsoft Excel 2016“ erstellt.

Folgend wurde zuerst das Excel-Arbeitsblatt aus MEDEA zur Erstellung relevanter Variablen gesichtet. Zur Suche bzw. Generierung der Variablen wurde der Freitext in den jeweiligen aussagekräftigen Unterkategorien nach bestimmten Stichworten und deren Verknüpfung systematisch mit Hilfe der Funktionen „SUCHEN“ und „FINDEN“ durchsucht. Zuerst wurden Einsätze, welche in weiterer Folge automatisiert identifiziert werden sollten, händisch und durch Zufall aus den Daten ausgewählt. Danach erfolgte, anhand dieser ausgewählten Einsätze, die Auswahl und Verknüpfung der Stichworte ebenso, dass diese Fälle bei der automatisierten Suche wieder angezeigt wurden. Stichprobenartige wurde die diese Suche an nicht zuvor ausgewählten Einsätzen getestet und durch das händische Auslesen des entsprechenden Notarztprotokolls auf die Richtigkeit bezüglich der Variablenerstellung geprüft.

Die bereits am Institut vorgenommene Zuweisung der Einsatznummer aus dem MEDEA zu dokumentierten Reanimationen im Reanimationsregister mit Hilfe von PatientInnennamen

und Geburtsdatum ermöglichte die Verknüpfung der Excel-Tabellen und die Zusammenführung gewünschter Parameter durch die Funktion „SVERWEIS“.

Zur weiteren Verarbeitung der Daten aus dem POCT-Gerät wurden zunächst unvollständige oder ungültige Analysen, sowie Analysen aus venösem Blut entfernt. Daraufhin erfolgte zuerst die automatisierte Zuordnung von Analysen zu Einsatznummern im MEDEA nach Uhrzeiten. Folgend wurden noch unklare Mehrfachzuordnungen oder Analysen ohne klare Zuordnung anhand des Zeitpunkts und ihrer Plausibilität der Zuordnung zu einem Einsatz im MEDEA händisch mit Einsatznummern verbunden. Die endgültige Verknüpfung des MEDEA- Datensatzes und dem Datensatz des POCT-Gerätes erfolgte wiederum über die in Excel gebotene Funktion „SVERWEIS“.

Folgende Variablen wurden für die Auswertung ausgewählt bzw. generiert: Geschlecht, Einsatzart, Fachgruppe der Notärztin/des Notarztes (Innere Medizin, Chirurgie, Anästhesie, nicht registrierte NotärztInnen), NACA-Score bei Erstbefund, Narkose (ja/nein), Beatmung (ja/nein), CPR (ja/nein), Verdachtsdiagnose, BGA (ja/nein), IBP (ja/nein), arterielle Punktion (ja/nein), PatientInnenversorgungszeit (Abfahrtszeit minus Uhrzeit des Eintreffens am Einsatzortes) und Alter der PatientInnen (Einsatzdatum minus Geburtsdatum). Es folgt eine grobe Darstellung der Variablenzusammensetzung, wobei eine Tabelle mit genauer Angabe der Verknüpfung der Stichworte, sowie deren Suchort, im Anhang beigelegt ist.

Zur Variable IBP zählen dokumentierte arterielle Leitungen, dokumentierte invasive Blutdruckwerte, sowie Vermerke in der Einsatzdokumentation, die auf eine invasive Blutdruckmessung schließen lassen. Für diese Variable wurden MEDEA und das Reanimationsregister als Quelle verwendet.

In der Variable BGA werden Daten zusammengeführt aus dem POCT-Gerät, MEDEA und dem Reanimationsregister.

Beide vorangehenden Variablen definieren die Variable „arterielle Punktion“.

Die Blutdruckwerte der invasiven Messung selbst wurden in der Spalte „Verlauf Blutdruck invasiv“ der Kategorie Maßnahmen im MEDEA von der Notärztin/dem Notarzt eingetragen. Dokumentiert sind jeweils 3 Werte, entsprechend dem diastolischen und systolischen Druck sowie dem mittleren arteriellen Druck (MAD). Der exakte Zeitpunkt dieser Blutdruckmessung, sowie eine Blutdruckkurve über die Zeit des Einsatzes ist nicht dokumentiert.

Für die Definition der Gruppen Hypertensive Entgleisung, Hypertension, physiologischer RR und Hypotension wurden folgende Grenzwerte festgelegt. Bei systolischen Blutdruckwerten von  $\geq 180$  mmHg oder diastolischen Blutdruckwerten von  $\geq 120$  mmHg

erfolgte eine Zuordnung zur Gruppe „Hypertensive Entgleisung“.(37) Systolische Blutdruckwerte  $180 > RR \geq 140$  mmHg wurden definiert als „Hypertonie“.(37) Eine „Hypotonie“ wurde bei systolischen Blutdruckwerten  $< 90$  mmHg oder einem mittleren arteriellen Druck  $< 65$  mmHg festgestellt. (38) Die somit verbleibenden Werte mit einem systolischen Druck zwischen 90 und 140 mmHg wurden als „Physiologischer RR“ definiert. Bei der Auswertung der Befunde von arteriellen Blutgasanalysen wurden Werte aus dem POCT-Gerät, aufgrund der Datenqualität, bevorzugt. Händisch eingegebene BGA-Werte im MEDEA werden automatisch mittels Zeitstempel gespeichert, wodurch mittels Berechnung von Zeitdifferenzen eine Identifizierung von wiederholten Blutgasanalysen erfolgte und diese, aufgrund eventueller Vermischung inkompletter Befunde durch die automatische Auswertung, von der Befundanalyse ausgeschlossen wurden.

Die Analyse von Störungen des Säure-Basenhaushaltes erfolgte nur, bei vollständiger Dokumentation von pH-Wert,  $PCO_2$  und BE.

Weiters wurde Kalium auf den dokumentierten pH-Wert normiert. Wobei eine Änderung des pH-Wertes um 0,1 eine Änderung des Kaliumwertes um 0,5mmol/L in die entgegengesetzte Richtung bedeutet. (30)

Zur Identifizierung von Narkosen wurde nach relevanter Medikation -Esmeron, Propofol, Ketanest und Midazolam- in Verbindung mit dokumentierter invasiver Beatmung unter dem Ausschluss von Reanimationen gesucht.

Die Auswertung der Verdachtsdiagnosen erfolgte über die Generierung eines dichotomen Mehrfachantwortsets, wobei jede Eintragung unter der entsprechenden Unterkategorie eine Diagnose in dieser Unterkategorie bedeutet.

Die statistische Auswertung erfolgte mittels „IBM SPSS Statistics 26“, wobei Aussagen und Vergleiche, durch die in SPSS gebotenen Funktionen und deskriptive Statistik getätigt werden. Die Daten werden gegebenenfalls wiedergegeben als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung oder Median (IQA, [Minimum, Maximum]).

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Häufigkeit der arteriellen Punktion bei Einsätzen des NEF Graz Ost

Aus insgesamt 10.037 MEDEA-Protokollen im Zeitraum von 01.01.2014 bis 31.12.2018 wurden 35 Protokolle, durch fehlende Dokumentation, 2.166 Protokolle wegen Stornierungen ohne Patientenkontakt und 23 Protokolle auf Grund Verweigerung der Untersuchung, von der Analyse ausgeschlossen. Somit wurden 7.813 Einsätze mit PatientInnenkontakten und erfolgter Untersuchung zur Auswertung herangezogen (Abbildung 5).

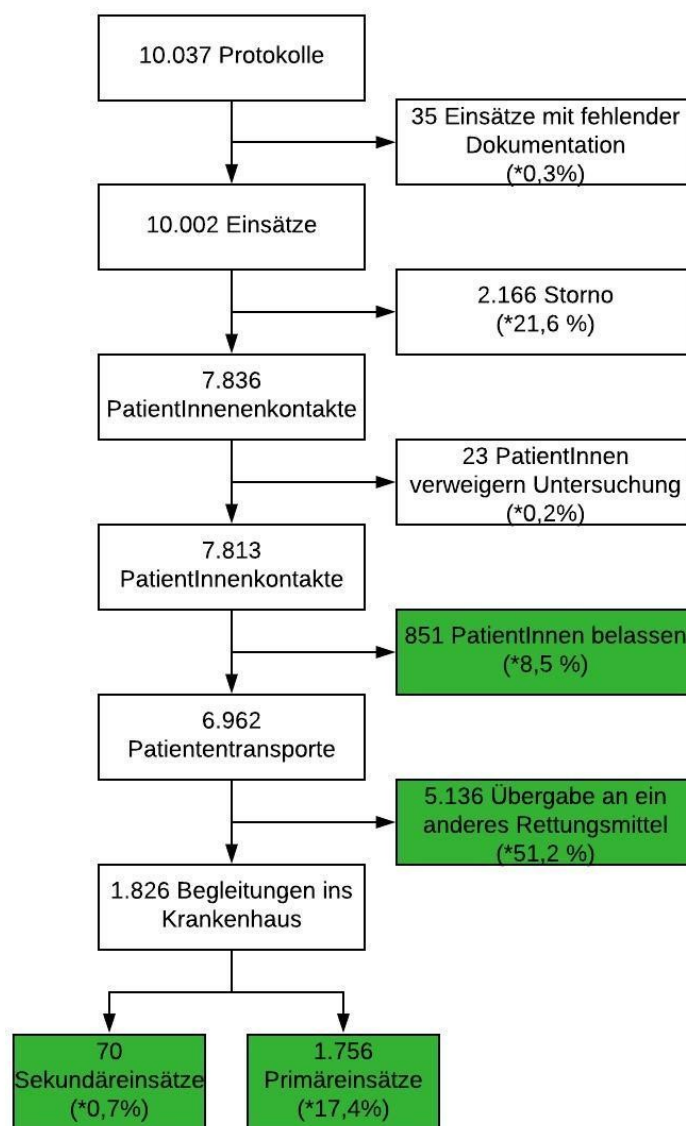


Abbildung 5 Einsatztypisierung. Grün hinterlegte Felder markieren Einsätze, die in die Auswertung eingeschlossen wurden. (\*Prozent von der Gesamtzahl dokumentierter Protokolle, n=10.037)

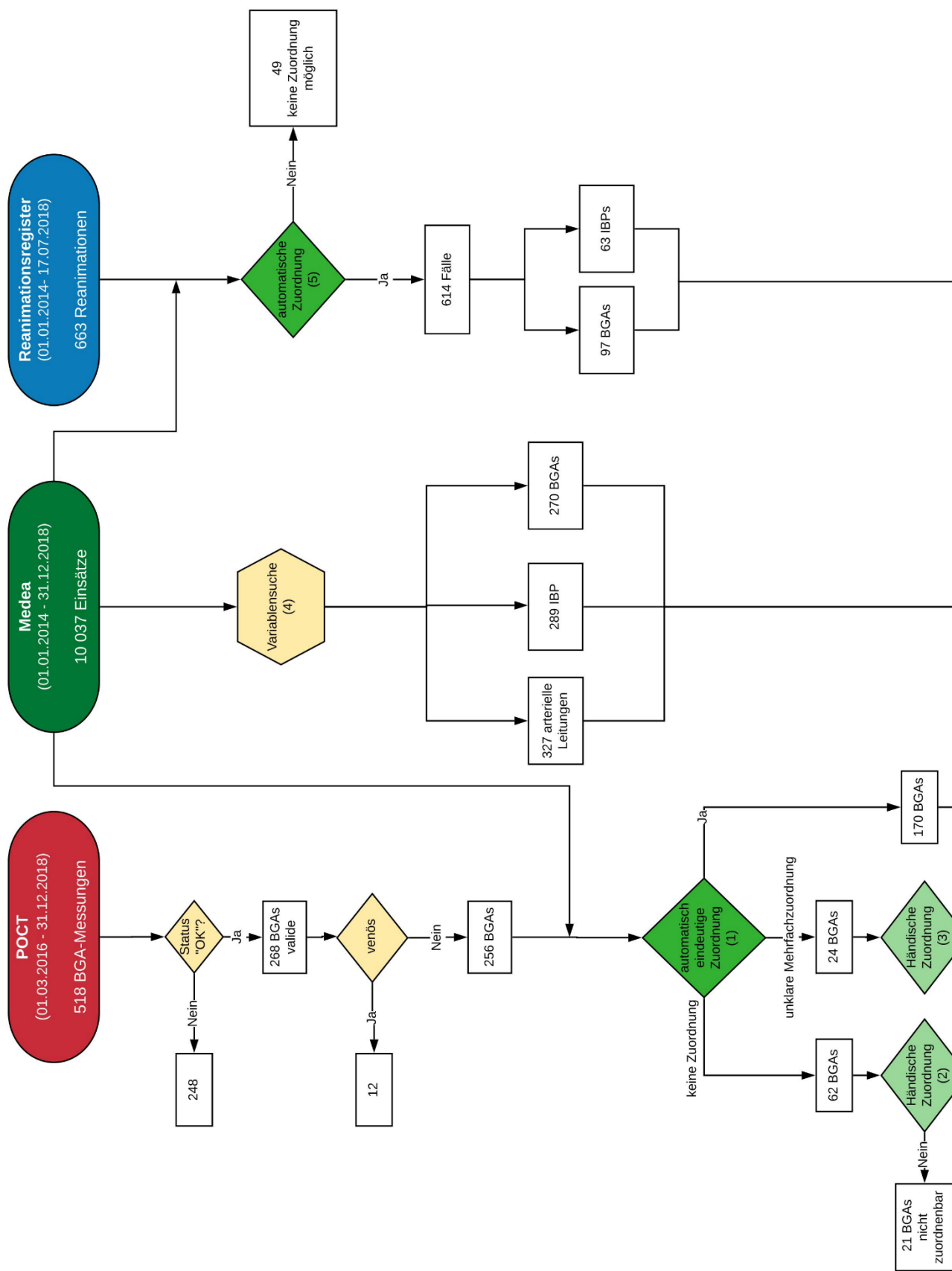
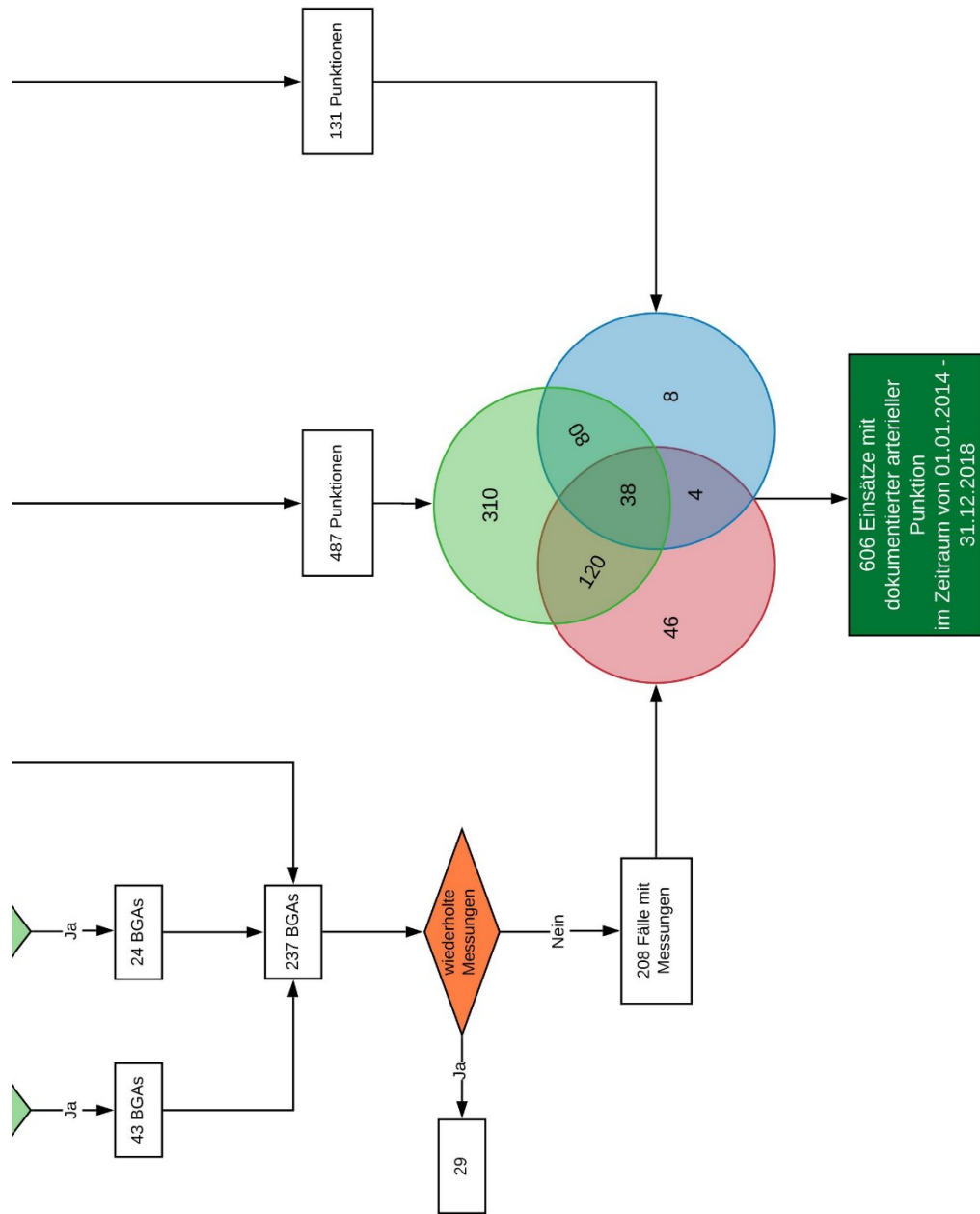


Abbildung 6 Flowchart zur Identifikation von Einsätzen mit arterieller Punktion



- (1) automatische Zuordnung: nach Uhrzeit
- (2) händische Zuordnung: Messungen wurden vorzugsweise mit Fällen verbunden, bei denen eine entsprechende Dokumentation (sprich: BGA vorhanden) im Medea bei entsprechendem Datum und Uhrzeit vorlag. Ansonsten wurden die BGA zeitlich (+/- 30 min vor Ankunft oder nach Abfahrt) gemacht.
- (3) händische Zuordnung: Beim definitiven Matching von BGAs mit Mehrfachzuordnung wurde fallweise bevorzugt nach entsprechender Dokumentation (BGA vorhanden) im Medea und ansonsten nach bester zeitlicher Option entschieden.
- (4) Variablendefinition und Suchkriterien: siehe Anhang
- (5) automatische Zuordnung: nach PatientInnenname.

Wie in Abbildung 6 ersichtlich, konnten aus dem Zeitraum von 01.03.2016-31.12.2018 insgesamt 518 BGA-Messungen aus dem epoc® Blood Analysis System exportiert werden. 248 gerätedefiniert unvollständige Messungen, sowie weitere 12 venöse Messungen wurden von der Analyse ausgeschlossen. Weiters erfolgte die automatische Zuordnung von 170 Messungen zu Protokollen im MEDEA nach Einsatz- und Testuhrzeit. Zusätzliche 24 Messungen mit unklarer Mehrfachzuordnung, sowie 43 Messungen ohne automatische Zuordnung, wurden händisch mit MEDEA-Fällen, anhand vorhandener Dokumentation im MEDEA bzw. nach Uhrzeiten, verknüpft. Aus diesen 237 zugeordneten BGA-Messungen konnten 29 Mehrfachmessungen identifiziert werden, wodurch aus der Verknüpfung der epoc® Blood Analysis System und MEDEA- Daten schlussendlich 208 Einsätze mit zumindest einer BGA-Messung resultieren.

Im Reanimationsregister sind 663 Reanimation im Zeitraum von 01.01.2014-17.07.2018 dokumentiert. 614 Fälle aus dem Reanimationsregister konnten über Patientennamen zu Fällen im MEDEA zugeordnet werden, wovon in 131 Fällen arterielle Punktionen dokumentiert wurden.

Unter Beachtung von unterschiedlicher, sowie möglicher redundanter Dokumentation konnten 606 Einsätze mit dokumentierter arterieller Punktion im Zeitraum von 01.0.2014-31.12.2018 zur weiteren Analyse identifiziert werden.

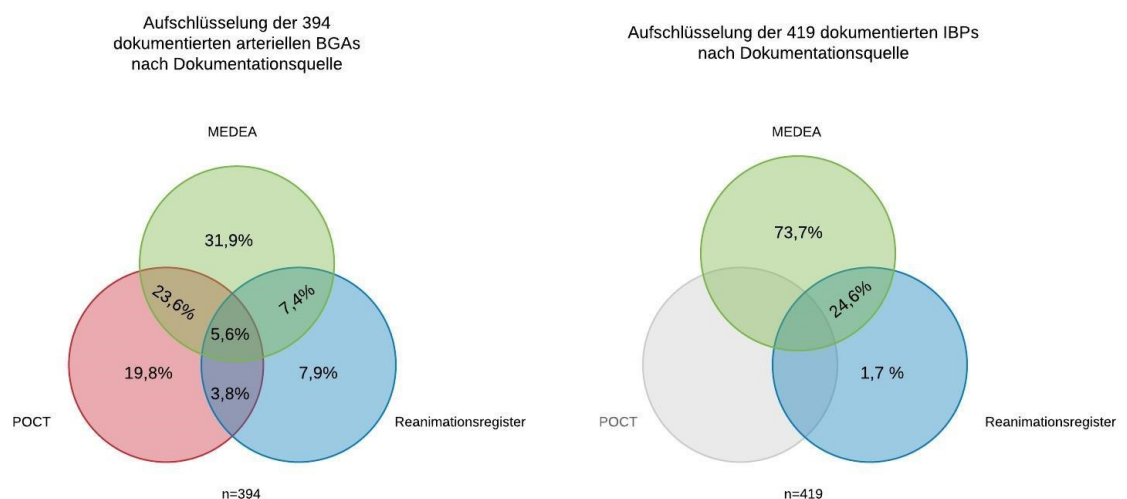


Abbildung 7 Schnittmengen nach Dokumentationsquelle

Im MEDEA wurden insgesamt 487, im Reanimationsregister 131 und im POCT-Gerät 208 Einsätze mit arterieller Punktion dokumentiert. Diesen 606 Einsätzen mit arterieller Punktion liegen 394 Einsätze mit zumindest einer BGA-Messung und 419 Einsätze mit IBP-

Monitoring zugrunde. Die Schnittmenge der Einsätze mit arterieller BGA oder IBP, Abbildung 7, ergibt keine vollständige parallele Dokumentation der arteriellen Leitung über alle drei Dokumentationsquellen. Für die arteriellen Blutgasanalysen bedeutet dies, dass 124 von 394 (31,5%) nicht im MEDEA erfasst sind wohingegen 103 der 110 IBPs aus dem Reanimationsregister auch im MEDEA verzeichnet sind.

Die Anzahl der NEF-Einsätze nahm von 2014 (1.172 Einsätze) bis 2018 (1.743 Einsätze) um 48,7% zu, wobei der prozentuelle Anteil der arteriellen Punktionen (Abbildung 8) bis zum Jahr 2017 gleich blieb. Der prozentuelle Anteil an arteriellen Leitungen in Bezug auf die Gesamtzahl der Einsätze im entsprechenden Jahr bleibt von 2014 bis 2018 konstant zwischen 6,7 und 7,8%. Das Jahr 2017 zeigt sich mit einer erhöhten relativen Zahl an arteriellen Punktionen in 9% aller Einsätze. Simultan zu dieser

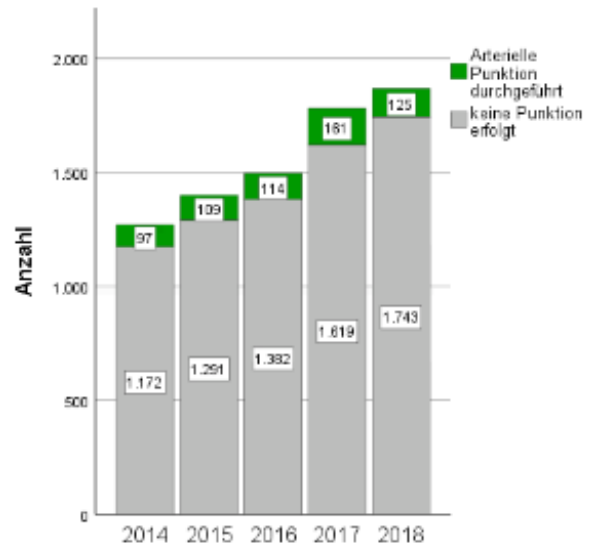


Abbildung 8 absolute Häufigkeit der arteriellen Punktion nach Jahren im Vergleich zur Anzahl der Einsätze

Entwicklung stieg im Jahr 2017 die Zahl der Einsätze mit einem Verletzungsgrad entsprechend NACA 4 stark an (Abbildung 9). Dieser Anstieg ist auch im Jahr

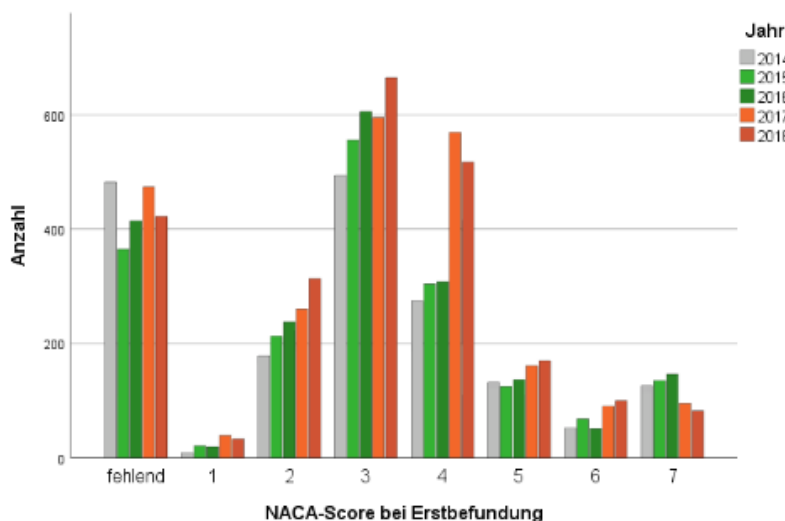


Abbildung 9 Verteilung des NACA-Score von 2014-2018

2018, trotz geringerer Anzahl an Einsätzen mit arterieller Punktion zu sehen. Generell ist eine Zunahme der Einsatzzahlen von 2014 bis 2018 über alle NACA-Scores zu sehen mit Ausnahme eines leichten Rückganges bei Einsätzen mit NACA 7.

## 3.2 Alterspyramide und Verletzungsschwere

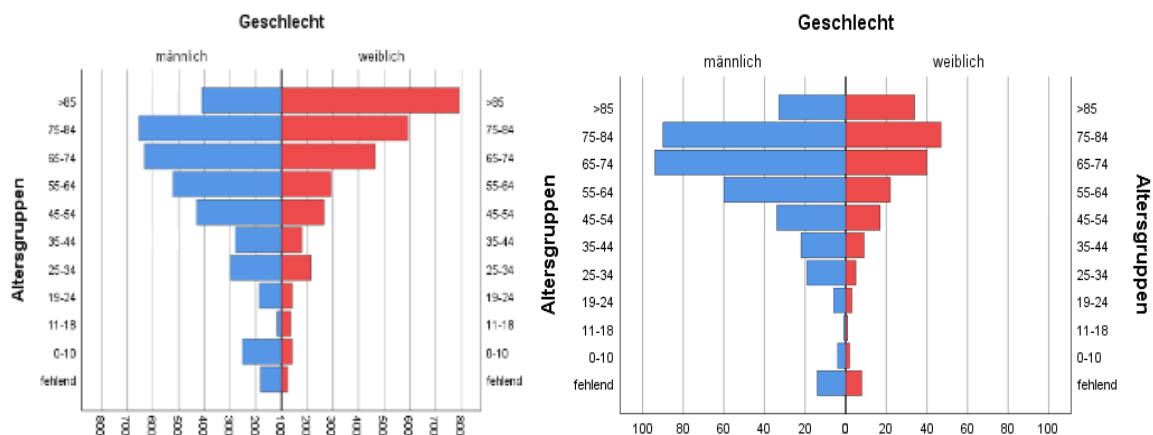


Abbildung 10 Links: Alterspyramide nach Geschlecht alle Einsätze (n=7.813); Rechts: Alterspyramide nach Geschlecht, Einsätze mit arterieller Punktion (n=606), x-Achse spiegelt absolute Zahlen wider

Die Geschlechter der 7.813 PatientInnen verteilen sich auf 42,9% weiblich und 50,7% männlich, wobei in 6,4% der Einsätze Daten zum Geschlecht fehlen. Die Altersverteilung zeigt bei beiden Geschlechtern eine Zunahme der Einsätze mit steigendem Alter (Abbildung 10), wobei bei Männern eine Tendenz zu mehr Einsätzen mit Notarztbedarf in bereits jüngerem Alter zu sehen ist. Der Altersmedian für Frauen im Gesamtpatientengut liegt bei 70 Jahren (40, [0,105]), wohingegen der Altersmedian bei Männern bei 61 Jahren (38, [0,100]) liegt. Entsprechend der höheren Lebenserwartung von Frauen finden sich in der Altersgruppe >85 Jahren mehr Einsätze bei Frauen als bei den Männern.

Bei differenzierter Betrachtung der Alterspyramide von Patientinnen und Patienten mit arterieller Punktion sticht vor allem die größere Anzahl von Männern über beinahe alle Altersgruppen (Ausnahme: >85 Jahre) ins Auge (Abbildung 10). Die prozentuale Verteilung der Einsätze über die Geschlechter verändert sich bei Einsätzen mit arterieller Punktion dahingehend, dass Männer einen wesentlich größeren Anteil des Patientengutes darstellen (62,2% Männer vs. 31% Frauen). Dementsprechend verändert sich der Median des Alters bei isolierter Betrachtung von PatientInnen mit dokumentierter arterieller Punktion. Bei Frauen steigt der Median auf 74 (23, [3,95]) und bei Männern auf 69 Jahre (22, [0,94]). Konsistent dazu waren schwerere Verletzungsgrade (NACA 5 und vor allem NACA 6) bei Männern bereits früher und auch häufiger anzutreffend. (Abbildung 11).

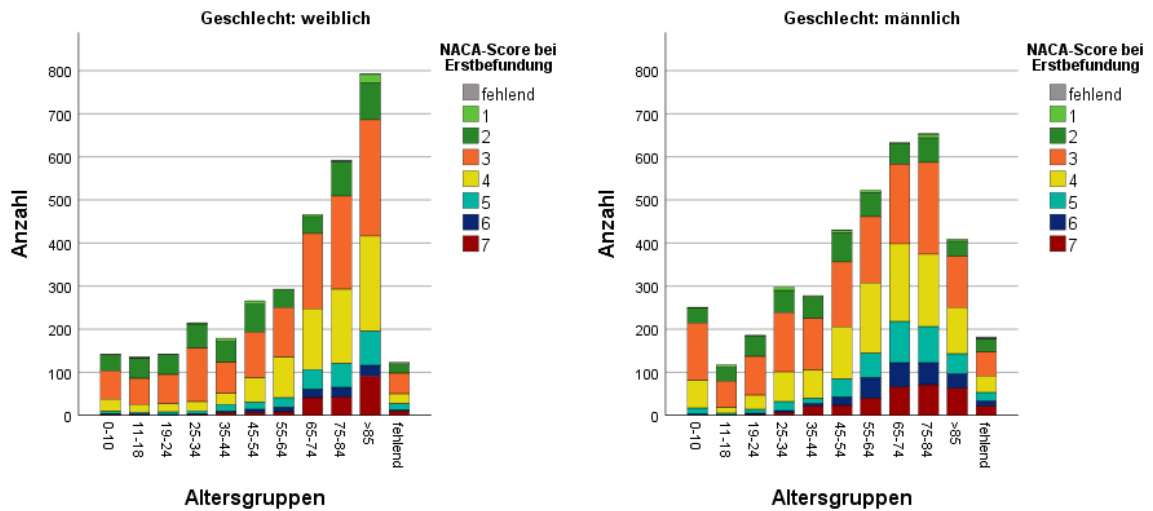


Abbildung 11 Verteilung des NACA-Scores nach Altersgruppen und Geschlecht

Generell lag einem Großteil der notärztlichen Einsätze ein NACA Score von 3 (37%) oder 4 (25,1 %) zu Grunde. Am häufigsten, in 53,6% (n=361) der Fälle, wurden arterielle Punktionen allerdings bei Patientinnen und Patienten mit einem NACA Score 6, entsprechend einer Reanimationssituation, durchgeführt. (Abbildung 12)

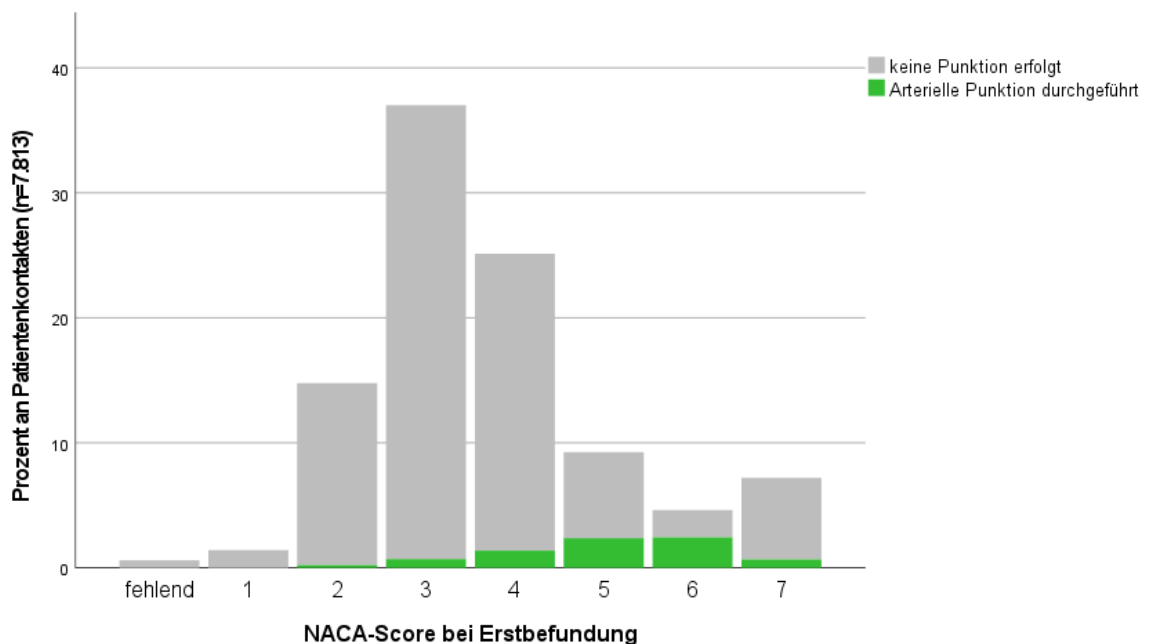


Abbildung 12 Verteilung der NACA Score bei Einsätzen ohne bzw. mit arterieller Punktion (n=7.813)

### 3.3 Verdachtsdiagnosen

Verdachtsdiagnosen werden von der jeweiligen Notärztin/jeweiligen Notarzt in entsprechende Spalten im MEDEA mit genauerer Spezifizierung eingetragen. Grob entsteht hier somit ein Mehrfachantwortset, mit der Möglichkeit mehrere Verdachtsdiagnosen zu unterschiedlichen Organsystemen anzugeben. Am häufigsten fiel die Verdachtsdiagnose auf Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems (ohne Reanimation), Erkrankungen des ZNS sowie Erkrankungen des Respirationstraktes sowie Herz-Kreislaufstillstand (Reanimation). Anteilsmäßig wurden arterielle Punktionen am häufigsten bei Herz-Kreislauf-Wiederbelebungen (28,89%), Erkrankungen des Respirationstraktes (12,95%), Erkrankungen des Stoffwechsels (7,95%) und bei Verdacht auf Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems (ohne CPR, 4,58%) durchgeführt. (Tabelle 3)

Verdachtsdiagnose	Gesamt	Fälle mit arterieller Punktion	Anteil von Fällen mit arterieller Punktion an der Häufigkeit der Verdachtsdiagnose
	N (Prozent)	N (Prozent)	Prozent
Reanimationen	831 (9,4%)	240 (34,3%)	28,89%
Erkrankungen des Respirationstraktes	942 (10,7%)	122 (17,4%)	12,95%
Erkrankung des Herz-Kreislaufsystems (ohne CPR)	2530 (28,8%)	116 (16,6%)	4,58%
Erkrankungen des ZNS	1349 (15,3%)	87 (12,4%)	6,45%
fehlend	1349 (15,3%)	48 (6,9%)	3,56%
Intoxikationen	362 (4,1%)	26 (3,7%)	7,19%
Erkrankungen des Stoffwechsels	264 (3,0)	21 (3,0%)	7,95%
Psychiatrische Erkrankungen	356 (4,0%)	13 (1,9%)	3,65%
Erkrankungen des Gastrointestinaltraktes	262 (3%)	12 (1,7%)	4,58%
weitere Erkrankungen	310 (3,5%)	12 (1,7%)	3,87%
Pädiatrie	158 (1,8%)	2 (0,3%)	1,26%
Gynäkologie	86 (1%)	1 (0,1%)	1,16%
Gesamt	8799 (100%)	700 (100%)	

Tabelle 3 Häufigkeit der Verdachtsdiagnosen bei allen Einsätzen (gesamt) und Einsätzen mit arterieller Punktion.

### 3.4 Die arterielle Punktion in der Diagnostik

Insgesamt verteilten sich die Anteile der durchgeführten Tests an der Anzahl der Punktionen annähernd gleichmäßig. So wurden bei 606 Einsätzen mit arteriellen Punktionen in 34,98% nur invasive Blutdruckmessungen, in 34,16% invasive Blutdruckmessungen und eine arterielle BGA und in 30,86% nur arterielle BGAs durchgeführt. (Abbildung 13)

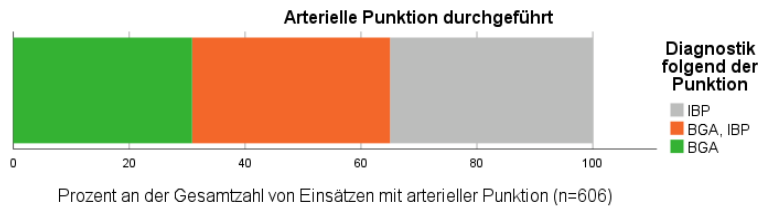


Abbildung 13 Verteilung der 606 Einsätze mit arteriellen Punktionen auf die Art des diagnostischen Tests

Bei Einsätzen mit nicht invasiver Beatmung war ein Großteil der Punktionen auf die alleinige Durchführung einer BGA zurückzuführen, wobei die invasive Blutdruckmessung im Gegenzug dazu bei invasiv beatmeten Patientinnen und Patienten eine größere Rolle spielte. (Abbildung 14) Ein ähnliches Muster ist bei Patientinnen und Patienten zu sehen, bei denen eine Narkoseeinleitung während des Einsatzes durchgeführt wurde. (Abbildung 15)

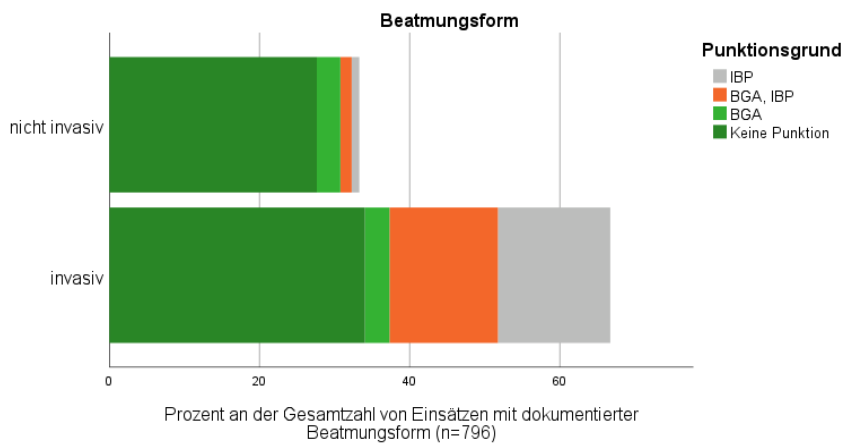


Abbildung 14 Einsätze mit nicht invasiver oder invasiver Beatmung

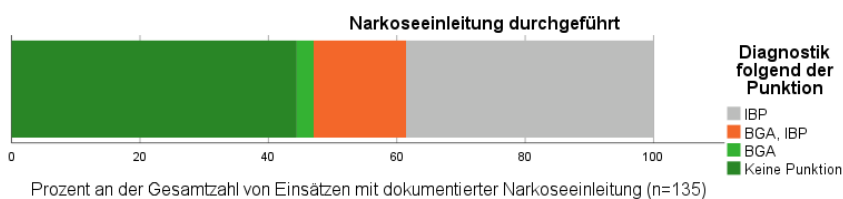


Abbildung 15 Einsätze mit Narkoseeinleitungen

Bei arteriellen Punktionen unter Herz-Druck-Massage wurde sowohl eine arterielle Blutgasanalyse als auch eine invasive Blutdruckmessung durchgeführt (Abbildung 16). So wurden bei 16,4% der Einsätze mit Reanimation eine arterielle Leitung zur IBP- und BGA-Messung etabliert, verglichen mit 8,8% der Einsätze mit alleiniger Durchführung einer IBP-Messung und 3,7% der Einsätze mit alleiniger Durchführung einer BGA-Messung.

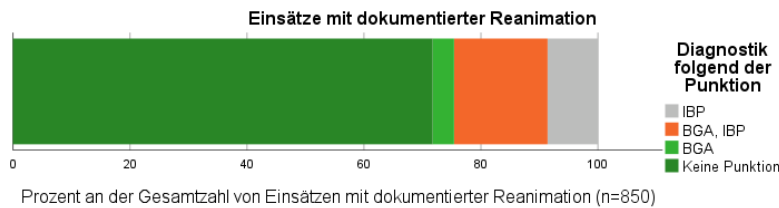


Abbildung 16 Punktionsgrund bei Einsätzen mit Reanimation

### 3.5 Fachgruppenverteilung der Notärztinnen und Notärzte

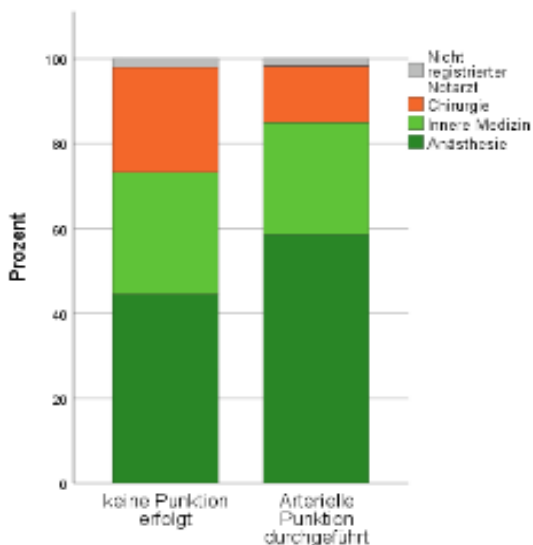
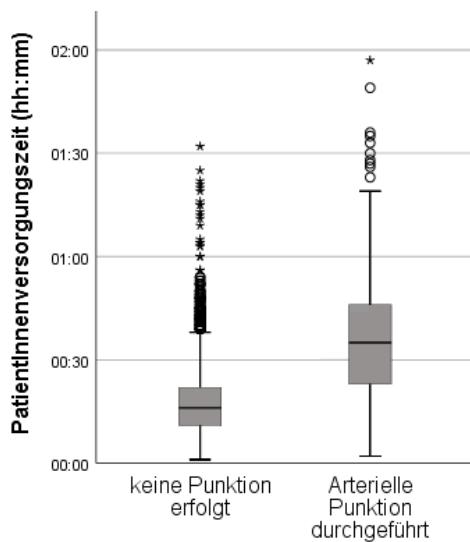


Abbildung 17 Fachgruppenverteilung der Notärztinnen und Notärzte aufgesplittet nach Einsätzen mit oder ohne arterielle Punktion

Insgesamt wurden 45,5% der Einsätze von Fachärztinnen/Fachärzten der Anästhesie, Intensiv- und Notfallmedizin gefahren. Weiters fielen 26,8% der Einsätze auf Notärztinnen und Notärzte mit Facharzt der Inneren Medizin und 23,9% auf Notärztinnen und Notärzte mit Facharzt der Chirurgie. Deutlich aus der Abbildung 17 ersichtlich ist allerdings, dass bei den 606 Einsätzen mit arterieller Punktion häufiger Notärztinnen und Notärzte aus der Anästhesie, Intensiv- und Notfallmedizin die Einsatzleitung innehatten (58,58% verglichen mit 26,4% bzw. 13,2%).

### 3.6 PatientInnenversorgungszeit



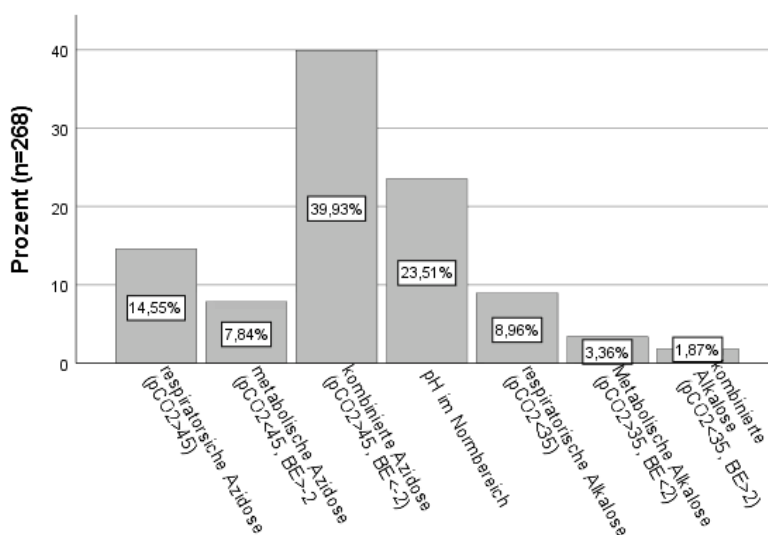
Bei isolierter Betrachtung der PatientInnenversorgungszeit in Einsätzen ohne dokumentierte arterielle Punktion (Abbildung 18) lag der Median der PatientInnenversorgungszeit bei 16 min (11min, [1 min, 1h 32min]). Die Versorgungszeit von Patientinnen und Patienten bei Einsätzen mit arterieller Punktion ist deutlich höher bei einem Median von 35 min (23 min [2min, 1h 57min]).

Abbildung 18 PatientInnenversorgungszeit kategorisiert nach arterieller Punktion

### 3.7 Auswertung der Blutgasanalysen

#### 3.7.1 Häufigkeit und Verteilung von Störungen des Säure-Basen-Haushaltes

Insgesamt konnten aus 394 Blutgasanalysen 268 bezüglich Säure-Basen-Haushalt auswertbare Befunde aus Protokollen im MEDEA, sowie aus dem POCT-Gerät, gewonnen werden. Bei 63 Analysen (23,5%) liegt der pH-Wert im Normbereich. Auffällig ist der große Anteil (38,8%) kombinierter Azidosen, jedoch ist auch generell ein größerer Teil der BGAs in Richtung Azidämie (62,3%) als in Richtung Alkalämie (14,2%) verschoben. Weiters ist



ersichtlich, dass respiratorische Störungen, unabhängig von der Richtung der pH-Wert-Abweichung, mit 25% häufiger vorkamen als metabolische Störungen mit 11,2%. (Abbildung 19)

Abbildung 19 Häufigkeiten der aus den BGAs abgeleiteten Säure-Basen-Störungen

### 3.7.2 Analyse der Säure-Basen-Störungen in ausgewählten Verdachtsdiagnosen

Im Streudiagramm (Abbildung 20) zur Verteilung von Säure-Basen-Störungen bei Einsätzen mit Reanimation liegen vermehrt kombinierte Azidosen (n=82; 86,3%) als Resultat der Blutgasanalyse vor, welche auch eine größere Ausprägung der pH-Wert Abweichung aufzeigen als in Einsätzen mit anderen Verdachtsdiagnosen (Erkrankungen des ZNS, Respirationstraktes oder Herz-Kreislauf-Systems). Vereinzelt sind isolierte respiratorische bzw. metabolische Azidosen zu sehen. Bei keiner der 95 Blutgasanalysen bei Einsätzen mit Reanimation konnte ein pH-Wert im physiologischen Bereich gemessen werden. Weiters wurde bei nur einem Einsatz eine metabolische Alkalose festgestellt. Der niedrigste gemessene pH-Wert betrug 6,6 der höchste 7,45. Auch das gemessene pCO<sub>2</sub> variiert stark von 34,2 mmHg als kleinsten gemessenen Wert, bis hin zu einem Maximalwert von 168,4 mmHg. Die berechneten Werte für den Base Excess befinden sich zwischen Werten von -29,2 bis 16,3 mit einem Median von -12,1.

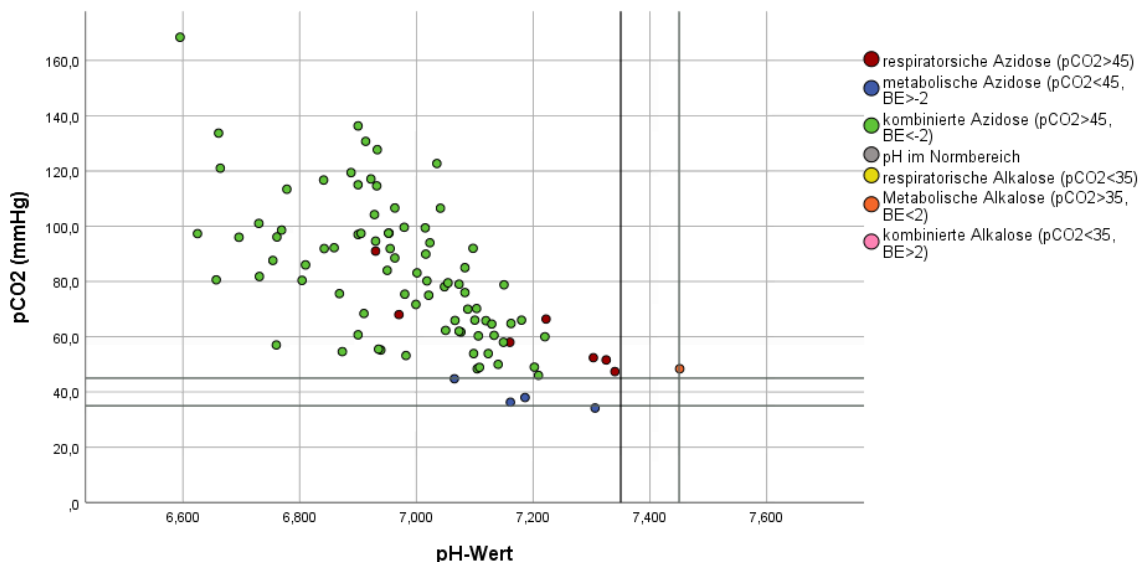


Abbildung 20 Verteilung der Säure-Basen-Störungen bei Einsätzen mit dokumentierter Reanimation (n=95)

Bei Einsätzen mit Verdachtsdiagnose auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen (ohne CPR, Abbildung 21) wurden zu beinahe gleichen Teilen Azidosen (n=23), Alkalosen (n=23) sowie pH-Werte im Normbereich (n=21) gefunden werden. Es zeigt sich hier ein diverses Bild der Störungen, wobei die Gruppe der respiratorischen Alkalosen mit n=14, die größte Gruppe bildet. Die pH-Werte reichen von minimal 6,73 bis maximal 7,667, mit pCO<sub>2</sub>-Werten zwischen 15,2 mmHg bis 126,8 mmHg. Der Base Excess reicht von -21,5 bis 16,8, mit einem Median von 0,1.

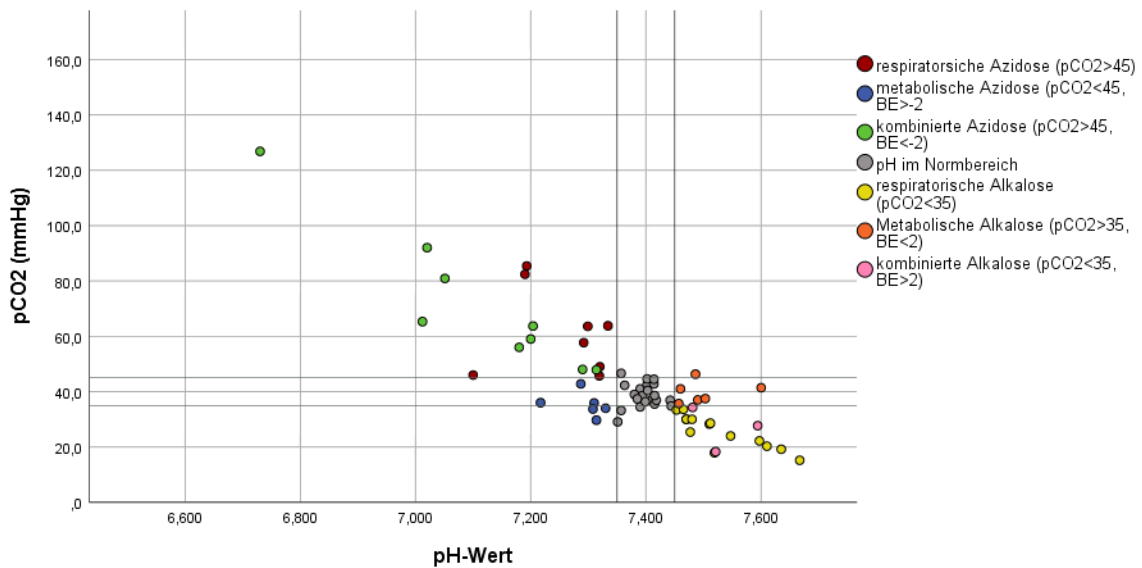


Abbildung 21 Verteilung der Säure-Basen-Störung bei Einsätzen mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen (ohne CPR, n=67)

Auch bei Einsätzen mit der Verdachtsdiagnose auf Erkrankungen des Respirationstraktes (Abbildung 22) ist eine breite Streuung der pH-Werte sichtbar (Minimum= 6,595, Maximum= 7,68). Am häufigsten sind Azidosen (n=43) im Vergleich zu physiologischen Blutgasanalysen (n=14) und Alkalosen (n=10) zu diagnostizieren, wobei kombinierte Azidosen (n=19) in ausgeglichenem Verhältnis zu respiratorischen Azidosen (n=22) auftreten.  $p\text{CO}_2$ -Werte schwanken zwischen 7,3 mmHg und 197 mmHg. Bei der Berechnung der Werte für den Base Excess findet sich ein Minimum von -24,3 und ein Maximum von 14,3 mit einem Median von -1,1.

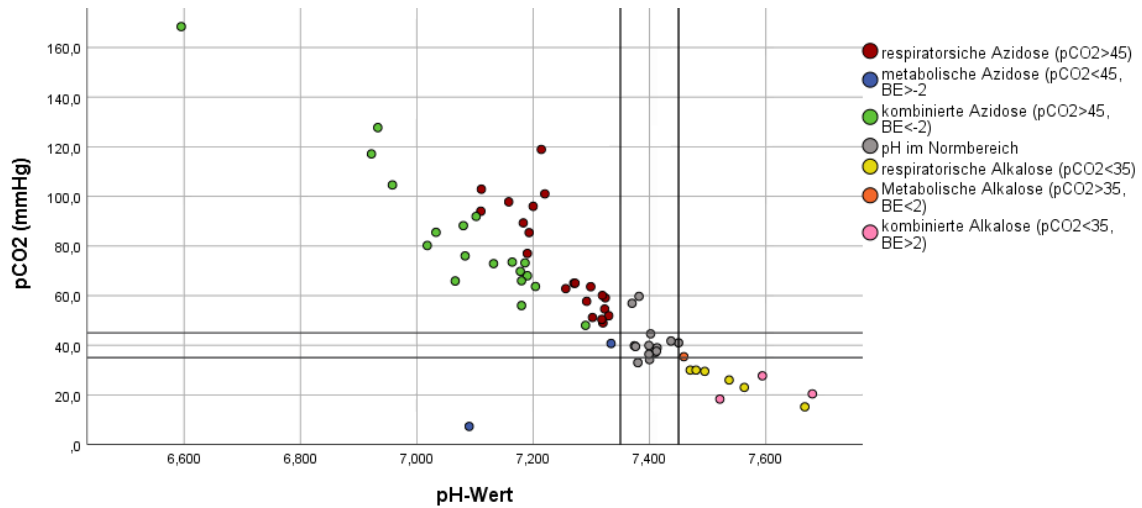


Abbildung 22 Verteilung der Säure-Basen-Störungen bei Einsätzen mit Erkrankungen des Respirationstraktes (n=67)

In der Verteilung von Säure-Basen-Störungen bei Einsätzen mit Erkrankungen des ZNS (Abbildung 23) zeigen sich vor allem schwächer ausgeprägte Störungen als bei Einsätzen mit Reanimationen, Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems oder des Respirationstraktes. So zeigt sich ein Minimum der pH-Werte bei 7,062 und ein Maximum bei 7,547. Weiters lassen sich 14 Azidosen und 7 Alkalosen diagnostizieren, sowie 19 Blutgasanalysen mit pH-Werten im Normbereich. Die gemessenen  $pCO_2$ -Werte schwanken zwischen 18,3 mmHg und 106,3 mmHg mit Werten des Base Excesses zwischen -11,8 und 7 und einem Median von -0,3.

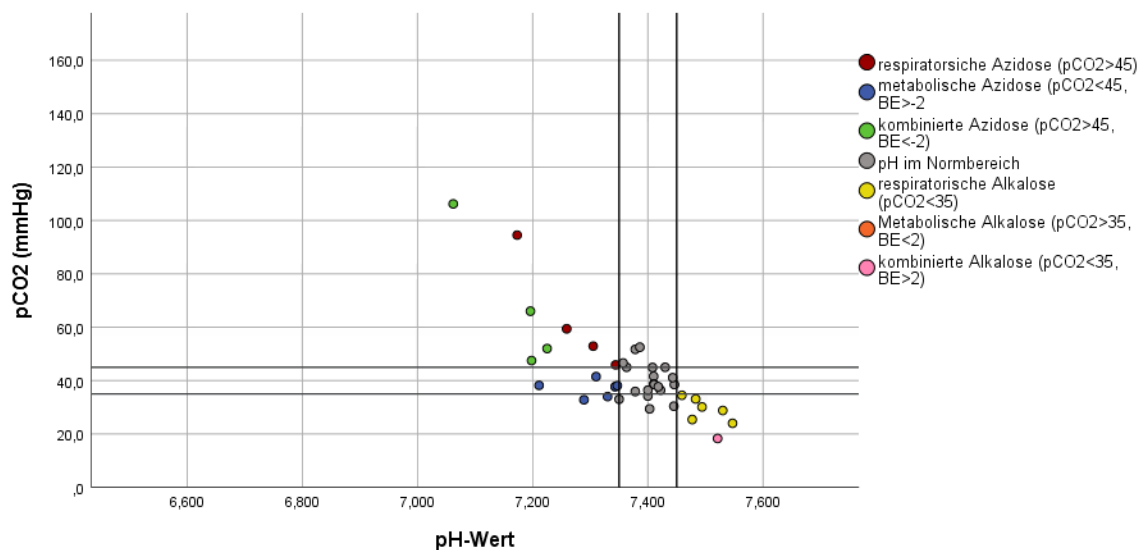


Abbildung 23 Verteilung der Säure-Basen-Störungen bei Fällen mit Erkrankungen des ZNS (n=40)

### 3.7.3 Häufigkeit und Verteilung von Elektrolyt- und Laktatstörungen

Aus dem POCT-Gerät und MEDEA konnten 394 Einsätze identifiziert werden, bei welchen eine arterielle Blutgasanalyse durchgeführt wurde. In 302 von diesen Einsätzen wurden auch explizite Elektrolyt- oder Laktatwerte dokumentiert. Diesen dokumentierten Blutgasanalysen liegen wiederum 241 (79,8%) Analysen mit einfach oder mehrfach abweichenden Elektrolyt- oder Laktatwerten zugrunde.

In Tabelle 4 dargestellt zeigt sich die Verteilung der Abweichung von Elektrolyt- und Laktatwerten. Die am häufigsten gemessenen Elektrolytstörungen sind Hyponatriämien (n=127), Hyperkaliämien (n=108%) und Hyperkalzämien (n=203%). Auffallend ist auch, dass bei fast jedem 2. gemessenen Laktatwert eine Erhöhung des Wertes vorliegt.

	gültig	Erniedrigt Anzahl (Prozent)	Normbereich Anzahl (Prozent)	Erhöht Anzahl (Prozent)
Na <sup>+</sup> (138-146 mmol/L)	273	127 (46,5%)	133 (48,7%)	13 (4,8%)
K <sup>+</sup> (pH-korrigiert; 3,5-5,0 mmol/L)	211	9 (4,3%)	94 (44,5%)	108 (51,2%)
Cl <sup>-</sup> (96-110 mmol/L)	298	21 (7%)	233 (78,2%)	44 (14,8%)
Ca <sup>++</sup> (2,2-2,65mmol/L)	298	2 (0,7%)	93 (31,2%)	203 (68,1%)
Lac (0,55-2,2 mmol/L)	297	-	158 (53,2%)	139 (46,8%)

Tabelle 4 Häufigkeiten von Elektrolytstörung nach Klassifizierung

### 3.7.4 Natrium

Aus der Häufigkeitsanalyse von Hypo-, Hyper-, Normonatriämien über die häufigsten Verdachtsdiagnosen ergeben sich keine deutlichen Unterschiede. Wie bereits in der allgemeinen Häufigkeit von Natriumstörungen (Tabelle 4) festgestellt, zeigt sich auch bei differenzierterer Betrachtung (Abbildung 24A) in beinahe 50% (44,83%-54,76%) der Blutgasanalysen eine Normonatriämie. Prozentual gesehen kommen Hyponatriämien am seltensten bei Einsätzen mit Verdacht auf Erkrankungen des ZNS und am häufigsten bei Einsätzen mit Verdacht auf Erkrankungen des Respirationstraktes vor. Hypernatriämien

finden sich erneut am seltensten bei Einsätzen mit Verdacht auf Erkrankungen des ZNS und am häufigsten bei Einsätzen mit Reanimation. Auch bei Betrachtung der Boxplots (Abbildung 24 B-E) sind keine gravierenden Unterschiede der Natriumwerte sichtbar. Als Unterscheidungsmerkmale zeigen sich hier vor allem die Ausreißer bei Einsätzen mit Reanimation, Verdacht auf Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems und des ZNS.

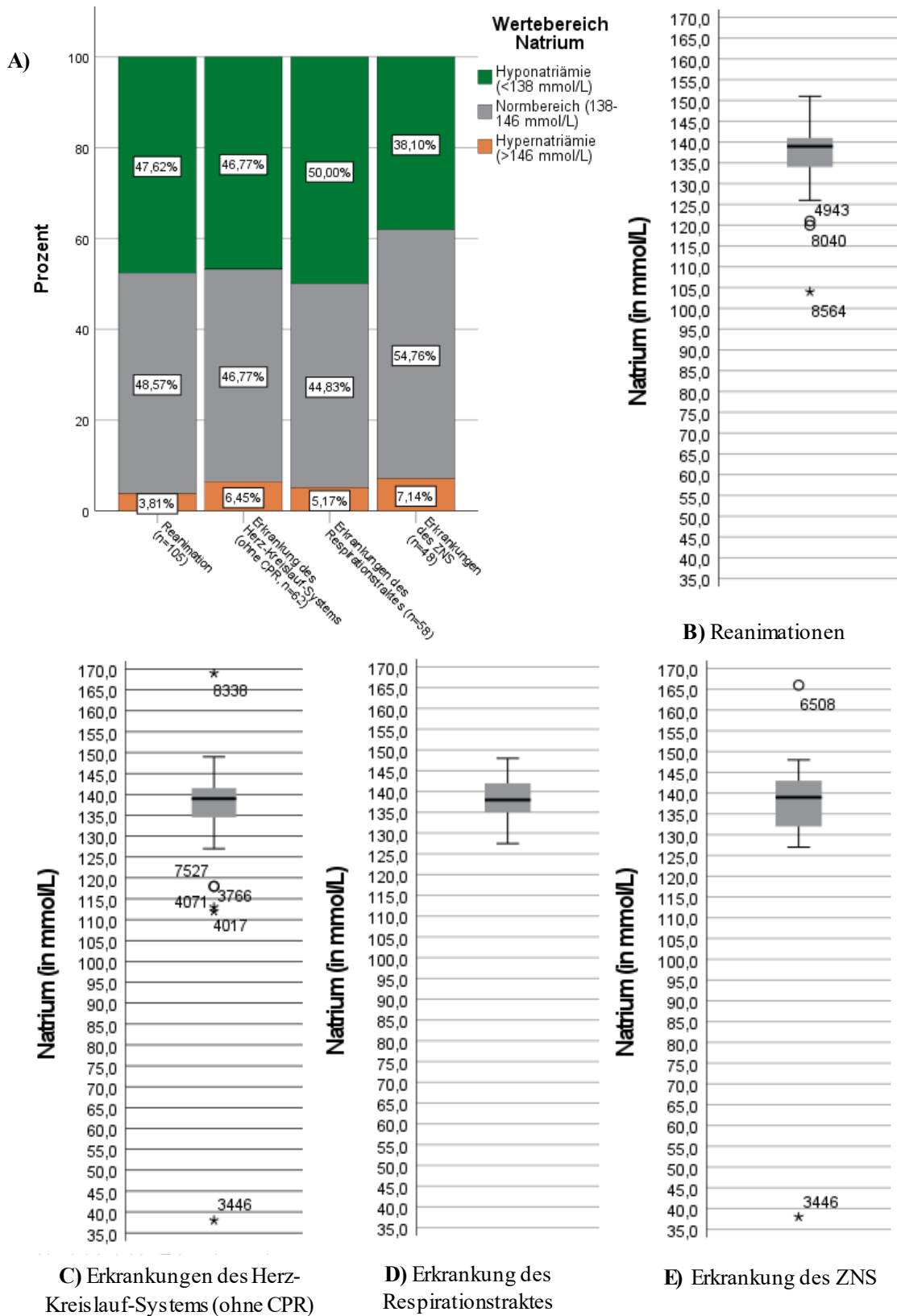


Abbildung 24 Natriumwerte bei arteriellen Blutgasanalysen. A) Verteilung der Natriumwerte in Hypo-/Normo-/Hypernaträmien nach Verdachtsdiagnose. Verteilung der Natriumwerte bei B) Reanimationen, C) Herz-Kreislauf-erkrankungen (ohne CPR), D) Erkrankungen des Respirationstraktes, E) Erkrankungen des ZNS

### 3.7.5 Kalium

Die Häufigkeit von Störungen der Kaliumkonzentration variiert, trotz pH-Korrektur, stark bei gruppenweiser Betrachtung nach den häufigsten Verdachtsdiagnosen (Abbildung 25A)

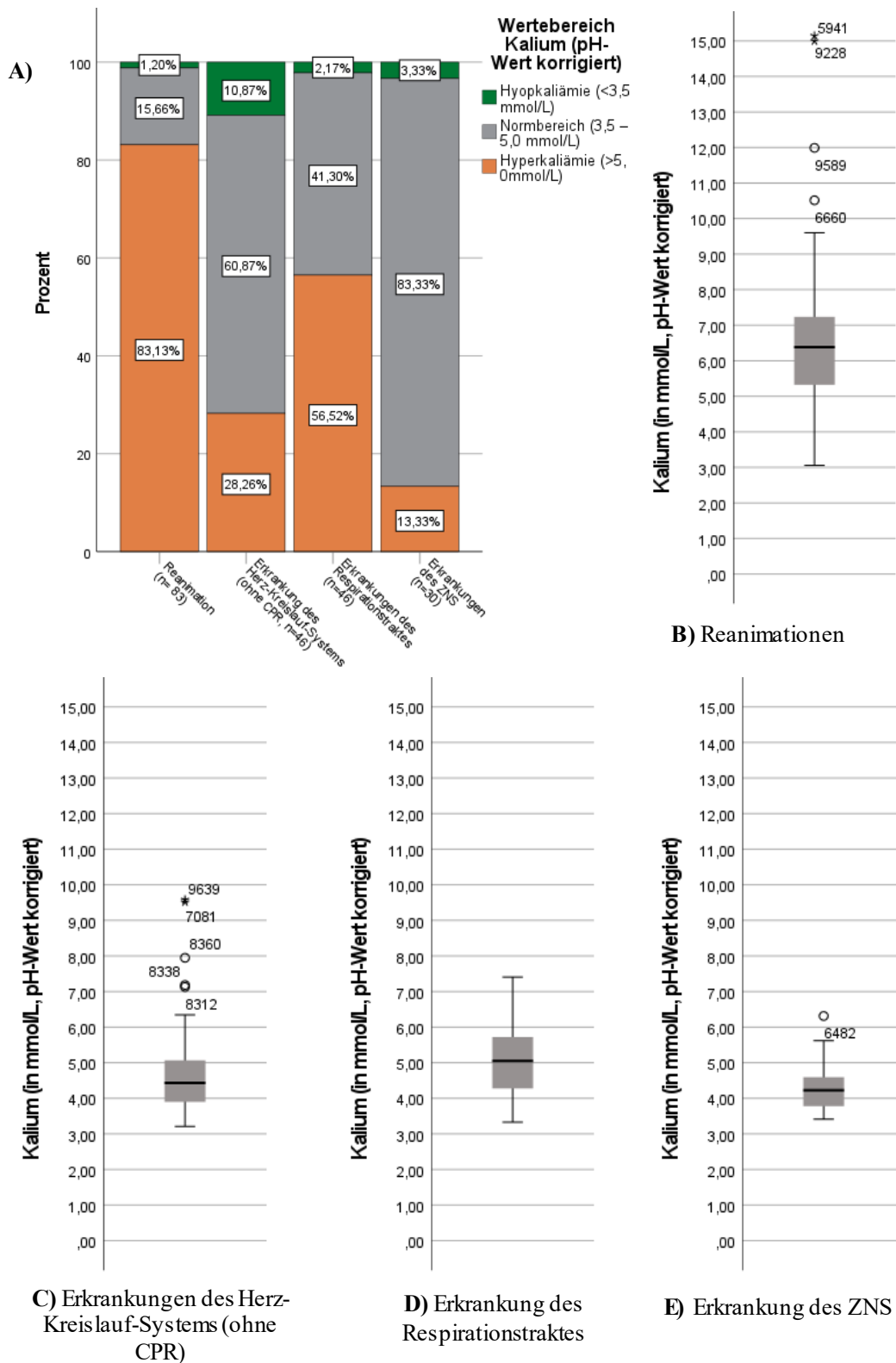
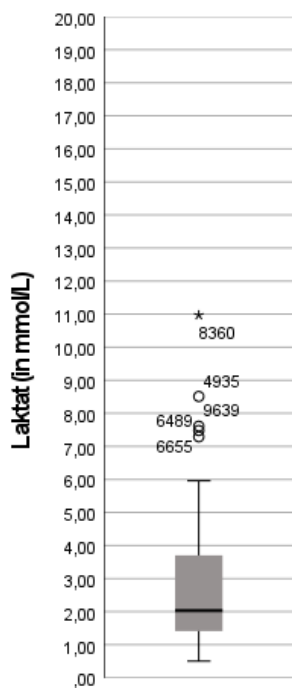
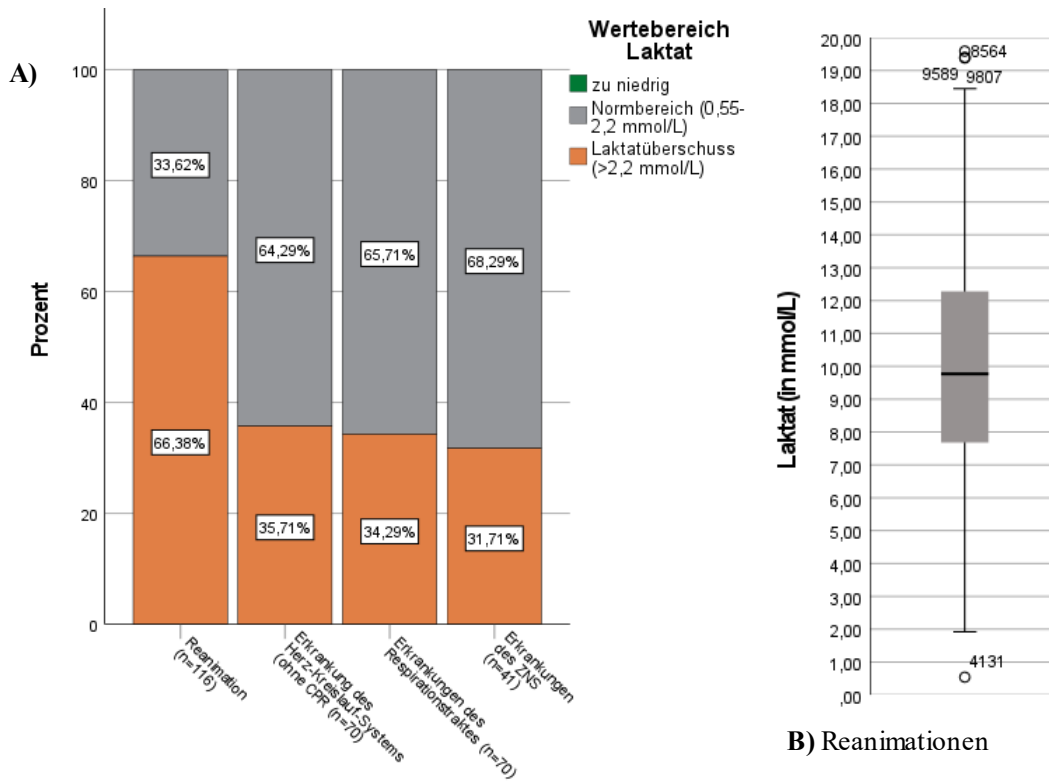


Abbildung 25 Kaliumwerte bei arteriellen Blutgasanalysen. A) Verteilung der Kaliumwerte in Hypo-/Normo-/Hyperkaliämien nach Verdachtsdiagnose. Verteilung der Kaliumwerte bei B) Reanimationen, C) Herz-Kreislauf-erkrankungen (ohne CPR), D) Erkrankungen des Respirationstraktes, E) Erkrankungen des ZNS

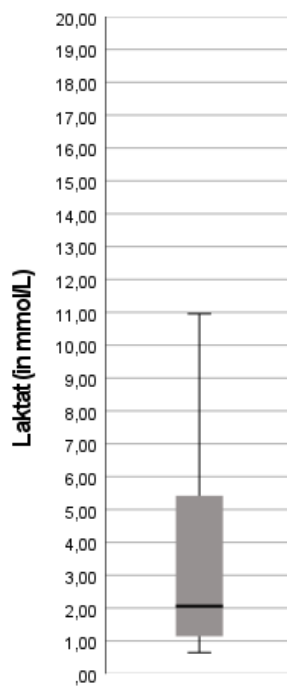
Demnach sind Hyperkaliämien am häufigsten (83,13%) bei Reanimationen zu finden. Bei diesen Einsätzen sind auch die statistischen Kennwerte wie Median (6,385 mmol/L) und Maximum (15,15 mmol/L) im Vergleich zu den anderen Verdachtsdiagnosen (Median zwischen 4,32-5,05 mmol/L und Maxima zwischen 6,32 – 9,59 mmol/L) deutlich erhöht. Am seltensten (13,33%) treten Hyperkaliämien bei Verdacht auf Erkrankungen des ZNS auf. Im Gegensatz dazu konnten Hypokaliämien am häufigsten (10,87%) bei Einsätzen mit Verdacht auf Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems festgestellt werden. Physiologische Kaliumwerte finden sich vor allem in Befunden bei Einsätzen mit Erkrankungen des ZNS (83,33%). Der Median der Kaliumwerte bei Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems liegt bei 4,435 mmol/L, bei Erkrankungen des Respirationstraktes bei 5,05 mmol/L und bei Erkrankungen des ZNS bei 4,32 mmol/L.

### **3.7.6 Laktat**

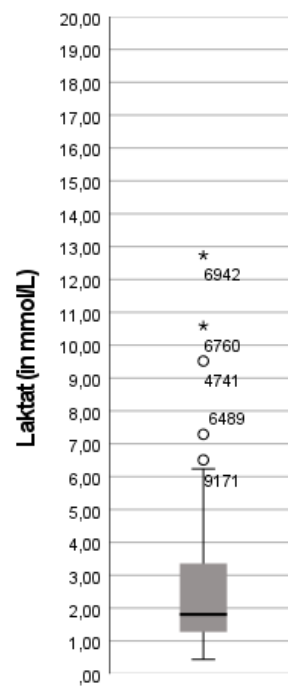
Die prozentuale Häufigkeit pathologischer Laktatwerte ist bei Einsätzen mit Verdacht auf Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems, des Respirationstraktes oder des ZNS annähernd gleich (31,71% - 35,71%;Abbildung 26A). Vor allem bei Reanimationen finden sich sowohl in prozentualer Häufigkeit als auch in der Ausprägung deutliche Laktatämien. So zeigen Blutgasanalysen bei Einsätzen mit Reanimationen in 66,38% erhöhte Laktatwerte mit einem Median von 9,77 mmol/L und einem Maximum von 19,59 mmol/L (Abbildung 26B). Zum Vergleich: Mediane von Einsätzen mit Verdacht auf Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems, des Respirationstraktes oder des ZNS befinden sich zwischen 1,81 mmol/L und 2,03 mmol/L mit Maxima zwischen 10,96mmol/L bis 12,74 mmol/L (Abbildung 26 B-C).



**C) Erkrankung des Herz-Kreislauf-Systems (ohne CPR)**



**D) Erkrankung des Respirationstraktes**



**E) Erkrankung des ZNS**

Abbildung 26 Laktatwerte bei arteriellen Blutgasanalysen. A) Verteilung der Laktatwerte in physiologische und erhöhte Werte nach Verdachtsdiagnose. Verteilung der Laktatwerte bei B) Reanimationen, C) Herz-Kreislauf-erkrankungen (ohne CPR), D) Erkrankungen des Respirationstraktes, E) Erkrankungen des ZNS

### 3.8 Auswertung des invasiven Blutdruckmonitorings

In 129 aus 419 Einsätzen mit angelegter invasiver Blutdrucküberwachung, konnten zusätzlich auch explizite Blutdruckwerte extrahiert werden. In der Auswertung der Blutdruckwerte zeigt sich vor allem, dass hypertensive Krisen mit 67 aus 129 (51,9%) Fällen am häufigsten vorkamen. Hypertensive Blutdrücke konnten in 27 von 129 (20,9%) Einsätzen und physiologische Blutdrücke in 22 von 129 (17,1%) Einsätzen mit Daten zur invasiven Blutdruckmessung festgestellt werden. Am seltensten wurde eine Hypotonie, nämlich in nur 13 von 129 (10,1%) Einsätzen aufgezeichnet (Abbildung 27). Die Kriterien zur Einteilung der Gruppen finden sich in Kapitel 2.2 Datenverarbeitung.

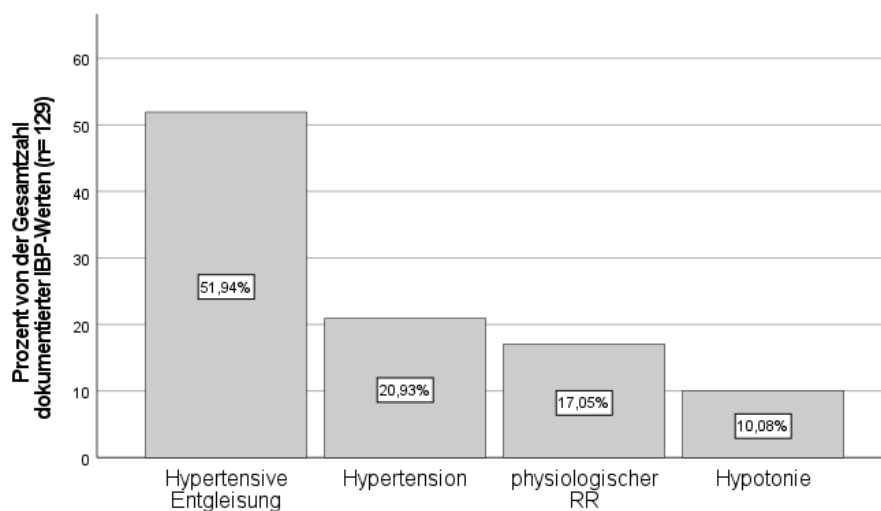


Abbildung 27 Häufigkeitsanalyse der IBP-Befunde

## 4 Diskussion

Primäres Ziel dieser Arbeit war die quantitative Beschreibung der arteriellen Punktion im Notarztwesen am Stützpunkt Graz Ost in den Jahren 2014 bis 2018 durch die Verknüpfung von drei, teilweise redundanten, Datenquellen. So ist es gelungen aus insgesamt 7.813 Patientenkontakten, 606 Einsätze (7,76%) mit arterieller Punktion zu identifizieren. Diesen 606 Einsätzen mit arterieller Punktion liegen 419 Einsätze mit invasiver Blutdruckmessung und 394 Einsätze mit zumindest einer dokumentierten arteriellen Blutgasanalyse. Auffallend ist hierbei, dass die Dokumentation von invasiven Blutdruckmessungen durch die automatische Koppelung des „Lifepak 15“ an die notärztliche Einsatzdokumentation konsistenter ist und somit nur 1,7 % der Punktionen zusätzlich aus dem Reanimationsregister stammen. Im Gegensatz dazu wurden durch das Auslesen des POCT-Gerätes und des Reanimationsregisters 31,5% der arteriellen Punktionen identifiziert. Eine Erklärung für die schlechtere Dokumentation der arteriellen Blutgasanalyse könnte das Fehlen einer unmittelbar automatisierten Einspielung der Analysen ins MEDEA sein. Grundsätzlich sollten die Dokumentation im MEDEA allumfassend sein, wodurch es zu keiner weiteren Identifikation von arteriellen Leitungen durch eine Verknüpfung der Datensätze kommen dürfte.

Vor allem Patientinnen und Patienten mit bestimmten Erkrankungen profitieren von dieser Art der erweiterten präklinischen Diagnostik. In einer Studie von Mikkelsen et al. wurde vor allem ein Benefit der arteriellen Blutgasanalyse für Patientinnen und Patienten in septischen Zuständen, mit Inhalation von toxischen Substanzen, Erkrankungen des Respirationstraktes und intubierte Patientinnen und Patienten beschrieben.(33) Bei Prause et al. lag die Indikationsstellung für die arterielle Punktion bei Einsätzen während und nach CPR, bei Patientinnen und Patienten mit respiratorischer Insuffizienz, Bewusstlosigkeit und Herz-Kreislaufstörungen.(6) Es zeigt sich, dass Notärztinnen und Notärzte in Graz die arterielle Punktion in Einsätzen mit diesen Indikationsstellungen auch außerhalb des prospektiven Studiendesigns als unerlässlich ansehen. So zeigt diese Arbeit, dass die arterielle Punktion in der alltäglichen Praxis vor allem bei Reanimationen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Erkrankungen des Respirationstraktes und Erkrankungen des ZNS angewendet werden.

Eventuelle Bedenken zur Implementierung der arteriellen Kanülierung im präklinischen Bereich liegen in der scheinbar verursachten Verzögerung des Patiententransportes durch die Diagnostik. Zwar steigt die Patientenversorgungszeit deutlich bei Einsätzen mit

arterieller Punktion und einem Median von 35 min (23min, [2min, 1h 57 min]) im Vergleich zu Einsätzen ohne arterielle Punktion mit einem Median von 16 min (11min [1min, 1h 32min]), dennoch muss beachtet werden, dass es sich hier häufig um ein kritisch krankes Patientengut handelt, unter anderem beschrieben durch die höheren NACA-Scores. Demnach muss beachtet werden, dass diesen Patientinnen und Patienten bereits vor Ort mehr diagnostische und therapeutische Interventionen zur Stabilisierung für den sicheren Transport zugetragen werden müssen. In einer Studie von Prause et. al konnte gezeigt werden, dass es durch die arterielle Punktion selbst zu keiner Verzögerung in der weiteren notfallmedizinischen Versorgung kommt. (6)

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen auch, dass durchaus ein großer Teil der arteriellen Blutgasanalysen pathologische Werte aufzeigen, womit in weiterer Instanz eine Einleitung oder Anpassung der Therapie erfolgen kann. In 76,5% der auswertbaren Blutgasanalysen konnte eine Störung des Säure-Basen-Haushaltes festgestellt werden. Zusätzlich traten in 79,5% aus 202 Blutgasanalysen mit Elektrolytwerten, pathologische Werte in zumindest einem oder mehr Parameter (Natrium, Kalium, Chlorid, Kalzium, Laktat) auf. Zwisler et al. konnten ihrer Studie auch zeigen, dass durch die Verwendung von Blutgasanalysen in der Präklinik eine Verbesserung der Therapie erzielt werden konnte.(5) Es bleibt allerdings noch fraglich, wie sich diese Art der Therapieverbesserung auf das tatsächliche Outcome der Patientinnen und Patienten auswirken kann.

#### **4.1 Limitationen**

Hauptlimitation der vorliegenden Arbeit ist die fehlende Kongruenz der Datensätze und die fehlende konsistente Dokumentation über alle 3 Datenbanken. Trotz bereits vorliegender Standardisierungsmaßnahmen der Dokumentation im MEDEA bleibt den einzelnen Notärztinnen und Notärzten noch Spielraum durch Freitexteingaben und unterschiedliche Interpretation der Zugehörigkeit von Informationen zu bestimmten Unterkapiteln. Dadurch bleibt immer die Möglichkeit, dass gewisse Einsätze mit Punktionen nicht identifiziert werden konnten. Somit muss von einer Unterschätzung der Fallzahlen ausgegangen werden. Da es sich in Notfallmedizin im Großteil der Fälle nur um Verdachtsdiagnosen und nicht endgültige Diagnosen handelt, ist eine Einteilung des Patientengutes und die Erstellung von Vergleichen anhand der Diagnosen nur eingeschränkt möglich. Das Vorliegen von mehreren Verdachtsdiagnosen führt zusätzlich zu Überschneidungen in den Gruppen und demnach zu einer Minderung der Aussagekraft.

Eine weitere und für die statistische Auswertung maßgebende Limitation ist die fehlende Dokumentation von genauen Zeitpunkten der arteriellen Punktion im Einsatz. Retrospektiv ist nicht mehr nachzuvollziehen, ob die arterielle Punktion zu Therapiebeginn oder unter bereits laufender Therapie durchgeführt wurde. Dadurch mindern fehlende Messzeitpunkte in diesem Zusammenhang die Aussagekraft der gemessenen Parameter und der Einfluss dieses Monitorings auf die Therapieentscheidung ist durch eine retrospektive Studie nicht eindeutig ermittelbar.

In diesem Zusammenhang ist auch eine fachlich relevante Auswertung der IBP-Werte nicht möglich. So können keine Aussagen getroffen werden, zu welchem Zeitpunkt und somit unter welcher vasoaktiven Therapie der Blutdruck gemessen wurde. Für weitere Auswertungen ist vor allem von Interesse, wie sich der kontinuierliche invasive Blutdruck über den Verlauf des Einsatzes und unter Therapie verändert.

## **4.2 Conclusio**

Soweit bekannt handelt es sich bei dieser Arbeit um die erstmalige Aufarbeitung und Darstellung der tatsächlichen Anwendung der arteriellen Punktion im Notarztwesen und die Betrachtung der präklinischen BGA sowie des präklinischen IBP-Monitorings in differenziertem Patientengut. Es zeigt sich, dass die arterielle Punktion am Notarztstützpunkt am Universitätsklinikum LKH Graz bereits etabliert ist und auch gezielt und routiniert in 606 Einsätzen aus 7.813 Patientenkontakten, also in 7,6% aller Patientenkontakte, eingesetzt wurde.

Allgemein ermöglicht die Entwicklung von Prozeduren zur automatisierten Variablenextraktion mittels Stichworten, die Generierung eines reproduzierbaren und reliablen Ergebnisses und erlaubt auch eine Analyse der Folgejahre zur weiteren Beobachtung der Fallzahlentwicklung

Zur genaueren Evaluierung der Auswirkung einer präklinischen arteriellen Punktion auf die Therapie und das Patientenoutcome bedarf es weiterer prospektiver Studien mit längerer Betrachtung der Patientenhistorie sowie einer, vor allem zeitlich, genaueren Dokumentation des Notarzteinsatzes.

Im Rahmen dieser Arbeit stellte sich heraus, dass für folgende Studien insbesondere eine Verknüpfung der Datenbanken und vor allem ein automatischer Übertrag der Befunde aus dem Blutgasanalyse-Geräte zur Patientenakte ins MEDEA essenziell ist, um eine adäquate Datenqualität und somit valide Aussagen bezüglich der arteriellen Punktion und deren Auswirkungen auf Therapie und Patientenoutcome gewährleisten zu können.

## Literaturverzeichnis

1. Madler C, Luiz T. KAPITEL 1 - Von der Notfallmedizin zur Akutmedizin. In: Madler C, Jauch KW, Werdan K, Siegrist J, Pajonk FG, Ackermann F, et al., editors. Akutmedizin (Vierte Ausgabe). Munich: Urban & Fischer; 2009. p. 3-12.
2. Lakhal K, Ehrmann S, Boulain T. Noninvasive BP Monitoring in the Critically Ill: Time to Abandon the Arterial Catheter? *Chest*. 2018;153(4):1023-1039.
3. Bloom BM, Grundlingh J, Bestwick JP, Harris T. The role of venous blood gas in the emergency department: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Emerg Med*. 2014;21(2):81-88.
4. Monsieurs KG, Nolan JP, Bossaert LL, Greif R, Maconochie IK, Nikolaou NI, et al. Kurzdarstellung. Notfall + Rettungsmedizin. 2015;18(8):655-747.
5. Zwisler ST, Zincuk Y, Bering CB, Zincuk A, Nybo M, Mikkelsen S. Diagnostic value of prehospital arterial blood gas measurements - a randomised controlled trial. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2019;27(1):32.
6. Wildner G, Pauker N, Archan S, Gemes G, Rigaud M, Pocivalnik M, et al. Arterial line in prehospital emergency settings - A feasibility study in four physician-staffed emergency medical systems. *Resuscitation*. 2011;82(9):1198-1201.
7. Prause G, Wildner G, Gemes G, Zoidl P, Zajic P, Kainz J, et al. Abgestufte präklinische Notfallversorgung – Modell Graz. *Notfall + Rettungsmedizin*. 2017;20(6):501-508.
8. Oswald S. Geschichte der Grazer Notfallmedizin. Graz: Medizinische Universität Graz; 2009.
9. Prause G, Oswald S, Himler D, Wildner G, Gemes G. The Mediziner corps Graz: a 120-year-old institution of emergency medicine. *Prehosp Emerg Care*. 2013;17(3):416-420.
10. Weiss M, Bernoulli L, Zollinger A. Der NACA-Index: Aussagekraft und Stellenwert des modifizierten NACA-Indexes in der präklinischen Schweregraderfassung von Unfallpatienten. *Der Anaesthetist*. 2001;50(3):150-154.
11. Bein T. Scores- Hilfsmittel zur Risikoeinschätzung. In: Jauch K-W, Werdan K, Madler C, Siegrist J, Pajonk F-G, editors. Akutmedizin - Die ersten 24 Stunden. 4 ed 2009. p. 185-191.
12. Levin PD, Gozal Y. Arterial Cannulation and Invasive Blood Pressure Measurement. 2017. In: *Textbook of critical care* [Internet]. Philadelphia: Elsevier. 7. [e62-e70].
13. Theodore AC, O'Conner MF, Joshi GP, Nussmeier NA, Finlay G. Indications, interpretations and techniques for arterial catheterization for invasive monitoring. UpToDate. 2019 [Available from: <https://www.uptodate.com/contents/indications-interpretation-and-techniques-for-arterial-catheterization-for-invasive-monitoring?search=arterial>]
14. Graf J, Janssens U. KAPITEL 23 - Monitoring. In: Madler C, Jauch KW, Werdan K, Siegrist J, Pajonk FG, Ackermann F, et al., editors. Akutmedizin (Vierte Ausgabe). Munich: Urban & Fischer; 2009. p. 221-247.
15. Theodore AC, Manaker S, Finlay G. Arterial blood gases. UpToDate. 2019 [Available from: <https://www.uptodate.com/contents/arterial-blood-gases?sectionName=INDICATIONS>]
16. Scheer BV, Perel A, Pfeiffer UJ. Clinical review- complications and risk factors of peripheral arterial catheters used for haemodynamic monitoring in anaesthesia and intensive care medicine. *Critical Care*. 2002;6(3):198-204.
17. Nuttall G, Burckhardt J, Hadley A, Kane S, Kor D, Marienau MS, et al. Surgical and Patient Risk Factors for Severe Arterial Line Complications in Adults. *Anesthesiology*. 2016;124(3):590-597.

18. Silbernagl S, Despopoulos jr A, Draguhn A. Atmung. In: Silbernagl S, Despopoulos jr A, Draguhn A, editors. Taschenatlas Physiologie. 9., vollständig überarbeitete Auflage ed: Georg Thieme Verlag; 2018.
19. Theodore AC. Measures of oxygenation and mechanisms of hypoxemia. UpToDate.2020 [Available from: [https://www.uptodate.com/contents/measures-of-oxygenation-and-mechanisms-of-hypoxemia?search=oxygenation&source=search\\_result&selectedTitle=1~150&usage\\_type=default&display\\_rank=1#H8](https://www.uptodate.com/contents/measures-of-oxygenation-and-mechanisms-of-hypoxemia?search=oxygenation&source=search_result&selectedTitle=1~150&usage_type=default&display_rank=1#H8)].
20. Ehmke H. Atmung. In: Behrends J, Bischofberger J, Deutmann R, Ehmke H, Frings S, Grissmer S, et al., editors. Physiologie. 3 ed. Stuttgart: Thieme; 2016. p. 233-272.
21. Marino PL. Hypoxemia and Hypercapnia. Marino's the ICU Book. 4 ed. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins; 2014. p. 391-405.
22. Murat Kaynar A. Arterial Blood Gas Interpretation. In: Fink Mp, Vincent J-L, Abraham E, Moore FA, Kochanek PM, editors. Textbook of critical care. 7 ed. Philadelphia: Elsevier; 2017. p. 167-174.
23. Vincent J-L. Oxygen delivery and Consumption. UpToDate.2019 [Available from: <https://www.uptodate.com/contents/oxygen-delivery-and-consumption?search=oxygen>].
24. Kurtz A. Der Transport von Kohlendioxid im Blut. In: Pape H-C, Kurtz A, Silbernagl S, editors. Physiologie. 9., vollständig überarbeitete Auflage ed: Georg Thieme Verlag; 2019.
25. Ehmke H. Säure-Basen-Haushalt. In: Behrends J, Bischofberger J, Deutmann R, Ehmke H, Frings S, Grissmer S, et al., editors. Physiologie. 3 ed. Stuttgart: Thieme; 2016. p. 275-292.
26. Burckhardt G. Säuren-Basen-Haushalt. In: Pape H-C, Kurtz A, Silbernagl S, editors. Physiologie. 9., vollständig überarbeitete Auflage ed: Georg Thieme Verlag; 2019.
27. Marino PL. Acid-Base Analysis. Marino's the ICU Book. 4 ed. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins; 2014. p. 587-598.
28. Veelken R, Ditting T. Wasser- und Elektrolythaushalt. In: Arastéh K, Baenkler H-W, Bieber C, Brandt R, Chatterjee TT, Dill T, et al., editors. Duale Reihe Innere Medizin. 4., überarbeitete Auflage ed: Georg Thieme Verlag; 2018.
29. Marino PL. Osmotic Disorders. Marino's the ICU Book. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins; 2014. p. 653-672.
30. Alscher MD. Hypokaliämie und Hyperkaliämie. 2015. In: Nephrologie [Internet]. Stuttgart: Georg Thieme Verlag. 6., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. [322 ff.]. Available from: <http://www.thieme-connect.de/products/ebooks/lookinside/10.1055/b-0035-124768>.
31. Marino PL. Potassium. Marino's the ICU Book. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins; 2014. p. 674- 686.
32. Marino PL. Calcium and Phosphorus. Marino's the ICU Book. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins; 2014. p. 701-715.
33. Mikkelsen S, Wolsing-Hansen J, Nybo M, Maegaard CU, Jepsen S. Implementation of the ABL-90 blood gas analyzer in a ground-based mobile emergency care unit. Scand J Trauma Resusc Emerg Med. 2015;23:54.
34. Prause G, Hetz H, Doppler R. Die präklinische Blutgasanalyse. Der Anaesthesist. 1998;47:400-405.
35. 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):852-859.
36. Marino PL. Arterial Pressure Monitoring. Marino's the ICU Book. 4 ed. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins; 2014. p. 123-134.

37. Johnson W, Nguyen ML, Patel R. Hypertension crisis in the emergency department. *Cardiol Clin.* 2012;30(4):533-543.
38. Gaieski DF, Mikkelsen ME. Evaluation of and initial approach to the adult patient with undifferentiated hypotension and shock. *UpToDate.*2021. [Available from: <https://www.uptodate.com/contents/arterial-blood-gases?sectionName=INDICATIONS>

## Anhang

Tabelle 5 Variablendefinition mit Suchort in den Datenquellen, Suchkriterien und deren Verknüpfung; Reanimationsregister (RR) Grün: Datenquelle, Orange: Abschnitte im MEDEA; Grau: Unterkategorien. kursiv: Suchvariable wird zur Erstellung einer anderen Variable verwendet. Codierung: 0= nicht durchgeführt, 1=durchgeführt. v = oder.  $\wedge$  = und.  $\neg$  = nicht.

Suchvariable	Suchort	Suchkriterien
<b>Geschlecht</b>	MEDEA: Admin: Geschlecht	weiblich, männlich
<b>Einsatzart</b>	MEDEA: Admin: Einsatzart, Einsatzablauf	Storno v Leerfahrt v Primäreinsatz v Sekundäreinsatz v belassen v Übergabe
<b>Fachgruppe</b>	MEDEA: Admin: NA	händische Suche nach Nachnamen und Zuweisung des Fachgebietes mittels Medonline
<b>NACA</b>	MEDEA: Erstbefund: NACA	Übernahme der eingetragenen Werte
<b>Narkose</b>	MEDEA: Maßnahmen: Infusion, Invasivität; Endbefund: Bewusstseinslage	(Esmeron v Propofol, Ketanest v Midazolam, v sediert) $\wedge$ Beatmung=0 $\wedge \neg$ CPR=0
<b>Beatmung</b>	MEDEA: Maßnahmen: Invasivität	invasiv v Intubation v non invasive v nicht invasiv
<b>CPR</b>	Kombination aus CPR, Medea und CPR, Reanimationsregister	
	CPR, MEDEA	MEDEA: Ergebnis: Reanimation/Tod; Maßnahmen: Kreislauf
	CPR, RR	RR 1, wenn Fallzuordnung mittels SVERWEIS möglich aus dem RR

<b>Verdachtsdiagnose</b>		<b>MEDEA: Erstdiagnose:</b> Herz/Kreislauf, ZNS, Abdomen, Atmung, Psychiatrie, Gynäkologie, Stoffwechsel, Pädiatrie, Intoxikation, weitere Erkrankungen	Text Ja/Nein
<b>BGA</b>	Kombination aus BGA_MEDEA, BGA_POCT und BGA_RR		
	BGA, MEDEA		
	BGA, arteriell	<b>MEDEA: Maßnahmen:</b> BGA	Übernahme der Werte $\wedge$ $\neg$ venös
	BGA, Freitext	<b>MEDEA: Ergebnis:</b> Reanimation/Tod, Bemerkung; <b>Admin:</b> Anamnese, Befund	(BGA v bga v pH v pCO <sub>2</sub> v Laktat) $\wedge$ $\neg$ venös
	BGA, POCT	<b>POCT</b>	1, wenn Fallzuordnung zu MEDEA mittels SVERWEIS aus POCT- Gerät möglich
	BGA, RR	<b>RR</b>	1, wenn Fallzuordnung zu MEDEA bei Fall mit dokumentierter BGA mittels SVERWEIS möglich
<b>IBP</b>	Kombination aus IBP_RR, IBP_MEDEA, Arterielle Leitung_MEDEA und Arterielle Leitung_RR		
	IBP, RR	<b>RR</b>	1, wenn Zeitpunkt des arteriellen Zugangs oder der IBP-Messung dokumentiert
	IBP, MEDEA	<b>MEDEA: Maßnahmen:</b> Monitoring, Herz-Kreislauf, Maßnahmen, Verlauf Blutdruck invasiv	Invasiv v 1, wenn IBP- Werte dokumentiert

Arterielle Leitung, MEDEA	MEDEA: Maßnahmen: Herz-Kreislauf, Maßnahmen	Arterieller Zugang
Arterielle Leitung, RR	RR	1, wenn Fallzuordnung zu MEDEA bei Fall mit dokumentierter arterieller Leitung mittels SVERWEIS möglich
<b>Arterielle Punktion</b>	Kombination aus den Variablen BGA und IBP	