

Aus der Klinik für Anästhesiologie
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Benedikt Pannen

**Retrospektive Analyse der Prävalenz von Elektrolyt- und Säure-Basen-Entgleisungen
und deren Einfluss auf das Behandlungsergebnis bei kritisch kranker
nicht-traumatologischer Schockraumpatienten**

(ABEL-ED-Studie)

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Asen Stefanov Georgiev

2026

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
gez.

Dekan: Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Prof. Dr. med. Michael Bernhard

Zweitgutachter: Prof. Dr. med. Peter Kienbaum

Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht:

Asen Stefanov Georgiev, Tim Filla, Janina Dziegielewski, Katharina Bandmann, Peter Kienbaum, Jörg Distler, Lennert Böhm, Michael Bernhard and Mark Michael. Acidosis as a promising early indicator of mortality among point-of-care parameters and vital signs in non-traumatic critically ill patients. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2025 May 14;33(1):86. doi: 10.1186/s13049-025-01409-z. PMID: 40369637; PMCID: PMC12080171.

Zusammenfassung

Erkenntnisse zur Prävalenz und zum prognostischen Wert frühzeitig verfügbarer Laborparameter sind bei kritisch kranken, nicht-traumatologischen Patienten, die über den Schockraum einer universitären Zentralen Notaufnahme aufgenommen wurden, als Entscheidungs- und Diagnostikhilfe von hoher Relevanz. Kern der Dissertation war eine retrospektive, monozentrische Analyse kritisch kranker nicht-traumatologischer Schockraumpatienten der Zentralen Notaufnahme am Universitätsklinikum Düsseldorf. Ziel war die Identifikation früher Prädiktoren für die unmittelbare Schockraum mortalität und die 30-Tages-Mortalität. Häufigste Diagnosen waren kardiovaskuläre, neurologische und infektiöse Erkrankungen. Die statistische Auswertung erfolgte mittels Receiver Operating Characteristic (ROC)-Analysen. Ein Ethikvotum lag vor (Heinrich Heine Universität Düsseldorf, Nr. 2023-2535).

Grundlage der Untersuchung sind retrospektive Daten aus den OBSERvE-DUS-Studien mit insgesamt 1.536 erwachsenen Patienten, bei denen innerhalb weniger Minuten nach Aufnahme eine erste Blutgasanalyse (BGA) als Point-of-Care-Testung (POCT) durchgeführt wurde. Erfasst wurden jeweils pH-Wert, Bikarbonat, Kohlendioxidpartialdruck ($p\text{CO}_2$), Laktat, Elektrolyte (Kalium, Natrium, Kalzium), Hämoglobin und Glukose. Diese Labor- und Vitalparameter wurden dann mit dem Behandlungsergebnis der kritisch kranken Schockraumpatienten verglichen.

In der prognostischen Bewertung ergab sich eine klare Hierarchie: Azidose, also ein niedriger pH-Wert, zeigte die höchste prädiktive Güte für die Schockraum- und 30-Tage-Mortalität (kurzzeitprognostisch am stärksten), gefolgt von Veränderungen der Laktat- und Bikarbonatkonzentration als Marker der globalen metabolischen Dekompensation und Hypoperfusion. Demgegenüber wiesen einzelne Elektrolyte, Glukose und Hämoglobin, trotz klinischer Relevanz in Extremwerten, insgesamt eine geringere Trennschärfe auf.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung stützen klinisch die Forderung, eine frühe, standardisierte BGA-basierte Point-of-Care-Test (POCT) inklusive Laktat und Elektrolyten als festen Bestandteil der nicht-traumatologischen Schockraumdiagnostik zu etablieren und ausgeprägte Entgleisungsmuster als zentrale Risikostratifikatoren zu verwenden (z.B. Intensivpflichtigkeit, Eskalation der Therapie, Priorisierung von Diagnostik/Intervention). Limitationen bestehen v.a. im retrospektiven monozentrischen Studiedesign und fehlenden multivariablen Modellen bzw. Dynamik-Analysen (z.B. Laktat-/pH-Clearance). Als Ausblick werden prospektive multizentrische Validierungen, Ätiologie-spezifische Subgruppenanalysen und die Entwicklung eines Notaufnahme-tauglichen Scores, basierend auf den ersten BGA-POCT Ergebnissen, angenommen.

Summary

Findings on the prevalence and prognostic value of early available laboratory parameters are of high relevance as decision-making and diagnostic aids in critically ill, non-traumatological patients admitted via the resuscitation room of a tertiary university emergency department. The core of this dissertation was a retrospective, single-center analysis of critically ill non-traumatological resuscitation room patients treated in the Emergency Department (ED) of Düsseldorf University Hospital. The aim was to identify early predictors of immediate resuscitation room mortality and 30-day mortality. The most frequent diagnoses were cardiovascular, neurological, and infectious diseases. Statistical analyses were performed using receiver operating characteristic (ROC) analyses. Ethical approval was obtained (Heinrich Heine University Düsseldorf, No. 2023-2535).

The study was based on retrospective data from the OBSERvE-DUS studies, comprising a total of 1,536 adult patients in whom an initial blood gas analysis (BGA) was performed within minutes after admission. Recorded parameters included pH, bicarbonate, partial pressure of carbon dioxide ($p\text{CO}_2$), lactate, electrolytes (potassium, sodium, calcium), hemoglobin, and blood glucose. These laboratory and vital parameters were subsequently correlated with clinical outcomes of the critically ill ED resuscitation room patients.

Prognostic evaluation revealed a hierarchy: acidosis—particularly a low pH value—showed the highest predictive accuracy for both resuscitation room mortality and 30-day mortality (strongest short-term prognostic marker), followed by lactate and bicarbonate as indicators of global metabolic decompensation and hypoperfusion. In contrast, individual electrolytes, glucose, and hemoglobin, despite their clinical relevance in extreme values, demonstrated overall lower discriminatory power.

The results clinically support the recommendation to establish early, standardized blood gas analysis–based point-of-care testing (POCT), including increased lactate values and changes of electrolyte values, as a fixed component of non-traumatological resuscitation room diagnostics, and to use pronounced derangement patterns as key risk stratification tools (e.g. need for intensive care, escalation of therapy, prioritization of diagnostics and interventions). Limitations primarily include the retrospective single-center study design and the lack of multivariable models and dynamic analyses (e.g., lactate or pH clearance). Future perspectives include prospective multicenter validation studies, etiology-specific subgroup analyses, and the development of an emergency department–applicable score based on initial BGA-POCT results.

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
Abb.	Abbildung
ABCDE	Airway, Breathing, Circulation, Disability, Exposure – strukturiertes Notfallbeurteilungsschema
ACiLS	Advanced Critical Illness Life Support
AUC	Area Under the Curve (Kennwert aus der ROC-Analyse)
BGA	Blutgasanalyse
BMI	Body-Mass-Index
Ca ²⁺	Kalzium (ionisiert)
COPD	Chronic Obstructive Pulmonary Disease
DGINA	Deutsche Gesellschaft für Interdisziplinäre Notfall- und Akutmedizin
DIVI	Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin
ED	Emergency Department (Notaufnahme)
EKG	Elektrokardiogramm
ESI	Emergency Severity Index
G-BA	Gemeinsamer Bundesausschuss
GCS	Glasgow Coma Scale
Hb	Hämoglobin
HCl	Salzsäure
HCO ₃ ⁻	Bikarbonat

HHU	Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
H ₂ CO ₃	Kohlensäure
H ⁺	Proton
ICU	Intensive Care Unit (Intensivstation)
INZ	Integrierte Notfallzentren
K ⁺	Kalium
KV	Kassenärztliche Vereinigung
MTS	Manchester Triage System
Na ⁺	Natrium
NEF	Notarzteinsatzfahrzeug
OBSERvE	Observational Study of Non-Traumatic Resuscitation Room Patients
OBSERvE-DUS	OBSERvE-Studie am Standort Düsseldorf
OP	Operation / Operationssaal
OR	Odds Ratio
pCO ₂	Kohlendioxid-Partialdruck
pH	Maß für den Säuregrad
pO ₂	Sauerstoffpartialdruck
POCT	Point of Care Testing
PR_E-AUD ² IT	Strukturierter Algorithmus im ACiLS-Konzept
qSOFA	quick Sequential Organ Failure Assessment
ROC	Receiver Operating Characteristic
ROSC	Return Of Spontaneous Circulation

SGB V	Sozialgesetzbuch Fünftes Buch
SOP(s)	Standard Operating Procedure(s)
SOFA	Sequential Organ Failure Assessment
SpO ₂	periphere Sauerstoffsättigung
V2iSiOn	Vasopressor, Ventilation, systolischer Blutdruck, Oxygenation, Neurologie
ZNA	Zentrale Notaufnahme
ZNS	Zentralnervensystem

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	1
1.1 Grundlagen der akutmedizinischen Versorgung in Deutschland.....	1
1.2 Prähospitaler Rettungs- und Notarztdienst.....	3
1.3 Zentrale Notaufnahmen	4
1.4 Strukturierte Abläufe und Ersteinschätzung in Notaufnahmen.....	4
1.5 Versorgung von Patienten im kritischen Zustand in Notaufnahmen.....	5
1.6 Versorgung traumatologischer Schockraumpatienten	5
1.7 Versorgung nicht-traumatologischer Schockraumpatienten.....	6
1.7.1 Definition nicht-traumatologischer Patienten im Schockraum	7
1.7.2 Alarmierungskriterien im nicht-traumatologischen Schockraum	7
1.7.3 Weißbuch „Nicht-traumatologischer Schockraum“	9
1.7.4 Ausstattung des nicht-traumatologischen Schockraums	9
1.7.5 Point-of-Care-Test-Blutdiagnostik im nicht-traumatologischen Schockraum.....	12
1.7.6 Das ACiLS-Konzept im nicht-traumatologischen Schockraum	13
1.8 Aktueller Forschungsstand zum nicht-traumatologischen Schockraum	13
1.8.1 OBSERvE-1 und -2 Studien	14
1.8.2 OBSERvE-DUS-Studie.....	15
1.9 Säure-Basen-Haushalt.....	15
1.9.1 Physiologie des Säure-Basen-Haushalts.....	15
1.9.2 Störungen des Säure-Basen-Haushalts.....	16
1.9.3 Metabolische und respiratorische Azidose	16
1.9.4 Metabolische und respiratorische Alkalose	17
1.9.5 Regulationsmechanismen des Säure-Basen-Haushalts	17
1.10 Blutgasanalyse als Point of Care Test als Lösungsstrategie.....	18
1.10.1 Aufbau und Prinzip des Point of Care Test.....	18
1.10.2 BGA-POCT-Gerät.....	18
1.11 Weitere messbare Parameter mit modernem BGA-POCT-Gerät.....	18
1.11.1 Laktat.....	18

1.11.2 Blutglukose	19
1.11.3 Elektrolyte	19
1.11.4 Hämoglobin	19
1.12 Spezielle Einsatzgebiete der BGA-POCT	20
1.12.1 BGA-POCT in der Intensivmedizin	20
1.12.2 BGA-POCT im traumatologischen Schockraum	21
1.12.3 BGA-POCT im nicht-traumatologischen Schockraum	23
1.12.4 BGA-POCT prähospital	23
1.13 Aktueller Forschungsstand	24
1.14 Ziele der Arbeit	24
1.15 Ethikvotum	25
2 Publierte Originalarbeit	26
3 Weitere Ergebnisse	27
3.1 Prävalenz als wichtiger Faktor der Entscheidungsfindung	27
3.2 Prävalenz der Elektrolytenentgleisungen	28
3.2.1 Kalium	28
3.2.2 Natrium	29
3.2.3 Calcium	29
3.3 Prävalenz von Laktat-, Glukose- und Hämoglobinentgleisungen	30
3.3.1 Laktat	31
3.3.2 Glukose	32
3.3.3 Hämoglobin	32
3.4 Prävalenz der Säure-Basen-Entgleisungen	33
3.4.1 pH-Wert	33
3.4.2 Bikarbonat	34
3.4.3 Kohlendioxidpartialdruck	35
4 Diskussion	37
4.1 Einordnung der Ergebnisse und Charakterisierung des Patientenkollektivs	38
4.2 Prognostische Bedeutung der Elektrolyt- und Säure-Basen-Entgleisungen	40
4.2.1 pH-Wert	40

4.2.2 Laktat	41
4.2.3 Bikarbonat	42
4.2.4 Kohlendioxid-Partialdruck	43
4.2.5 Kalium	44
4.2.6 Natrium.....	45
4.2.7 Ionisiertes Calcium	46
4.2.8 Glukose	47
4.2.9 Hämoglobin	47
4.3 Einordnung die Ergebnisse in den Kontext des nicht-traumatischen Schockraums	48
4.4 Klinische und gesundheitssystemische Implikationen	50
5 Limitationen der Untersuchung.....	51
6 Schlussfolgerung und Ausblick	53
7 Literatur.....	55

1 Einleitung

1.1 Grundlagen der akutmedizinischen Versorgung in Deutschland

Die Notfallversorgung in der Bundesrepublik Deutschland ist ein zentraler Bestandteil des deutschen Gesundheitssystems und bildet die Grundlage für die medizinische Akut- und Notfallbehandlung der Bevölkerung. Die zugrundeliegende Organisation der Notfallversorgung soll sicherstellen, dass Hilfesuchende in akuten gesundheitlichen Notfallsituationen zeitnah und ordnungsgemäß (notfall-)medizinisch versorgt werden. Da die Notfallversorgung sich über mehrere Versorgungsebenen, sog. Sektoren erstreckt und verschiedene Akteure miteinander verknüpft, hat sich bisher ein „Drei-Säulen-Modell“ etabliert, welches die ambulante (kassenärztliche/niedergelassene), die rettungsdienstliche und die stationäre (Krankenhaus-) Notfallversorgung systematisch abbildet und voneinander abgrenzt, wie in **Abbildung 1 (Abb. 1)** dargestellt (1). Die Zusammenarbeit der drei Akteure soll Hilfesuchende je nach Dringlichkeit und Art der Beschwerden in die jeweils passende Versorgungsebene im Gesundheitssystem lenken. In akuten Gesundheitskrisen können Betroffene jede dieser drei Versorgungsebenen/-sektoren direkt in Anspruch nehmen.

Die erste Säule des „Drei-Säulen-Modells“, die ambulante Notfallversorgung, bildet überwiegend der kassenärztliche Bereitschaftsdienst der Kassenärztlichen Vereinigung (KV). Der kassenärztliche Bereitschaftsdienst richtet sich an Hilfesuchende, die außerhalb der regulären Praxiszeiten des niedergelassenen Systems medizinische Hilfe benötigen, jedoch keine lebensbedrohlichen Beschwerden aufweisen. Diese Hilfe erhalten Patienten nachts und am Wochenende/an Feiertagen über die bundesweit einheitliche Rufnummer „116 117“. Hier können Patienten telefonisch Kontakt aufnehmen und erhalten darüber hinaus (zukünftig) eine telefonische Ersteinschätzung, eine (Termin-)Vermittlung an die entsprechende Bereitschaftspraxis und bei Bedarf und geeigneter vorliegender Situation, einen Hausbesuch durch einen aufsuchenden ärztlichen Dienst. Die wesentliche Aufgabe der ambulanten Notfallversorgung ist die Steuerungsfunktion, bei der Patientenströme bedarfsgerecht in einen ambulanten Bereich gelenkt werden. Diese Lenkung soll eine Entlastung von Krankenhausstrukturen ermöglichen. Jedoch ist vielen Bürgern der kassenärztliche Bereitschaftsdienst unbekannt, mit der Folge, dass sich in Zentralen Notaufnahmen auch Hilfesuchende mit weniger dringlichen Beschwerden vorstellen.



Abb. 1: Das "Drei-Säulen-Modell" der Notfallversorgung in der Bundesrepublik Deutschland, bei dem die Notfallversorgung in die Sektoren der ambulanten kassenärztlichen beziehungsweise niedergelassenen kassenärztlichen Versorgung, des Rettungs- und Notarztdienstes, und der stationären Krankenhausversorgung systematisch unterteilt wird [Eigene Abbildung erstellt mit Unterstützung von ChatGPT (Open AI) und einem eigenen Prompt am 24.03.2026].

Die zweite Säule des „Drei-Säulen-Modells“ entspricht dem Rettungs- und Notarztdienst. Dieser Bereich ist für die prähospitalen Versorgung von Patienten mit zeitkritischen und potenziell lebensbedrohlichen Notfällen verantwortlich. Eine Versorgung durch den Rettungs- und Notarztdienst findet außerhalb des Krankenhauses („prähospital“) statt und kann sowohl bodengebundene Rettungsmittel (z.B. Rettungswagen, Notarzteinsatzfahrzeuge), als auch luftgebundene Rettungsmittel (z.B. Rettungshubschrauber) beinhalten. Zuständig für die Durchführung sind die Landkreise oder kreisfreien Städte, die den Rettungs- und Notdienst selbst betreiben oder sog. Hilfsorganisationen (z.B. Deutsche Rote Kreuz, Johanniter-Unfall-Hilfe, Malteser Hilfsdienst). Ein Einsatz des Rettungs- und Notarztdienstes wird eingeleitet, indem Patienten, Angehörige oder Außenstehende über die europaweit einheitliche Notrufnummer „112“ einen telefonischen Notruf an die Leitstelle absetzen. Die Leitstelle alarmiert dann die entsprechend nächst oder taktisch günstig gelegenen Einsatzkräfte, welche die ersten (notfall-)medizinischen Maßnahmen vor Ort einleiten, bei Bedarf vor Ort versorgen oder den Transport in ein Krankenhaus übernehmen. Eine Besonderheit des deutschen Rettungssystems ist einerseits die Besetzung mit Notärzten und andererseits das sog. „Rendezvous-System“, bei dem die Notärzte in einem Notarzteinsatzfahrzeug unabhängig vom Team des

Rettungswagens zum Einsatzort gelangen, mit diesem aber zusammenarbeiten, aber nur dann hinzugerufen werden, wenn ein notärztlicher Bedarf nach bundeseinheitlichen Notarzt-indikationskatalog besteht.

Die letzte und dritte Säule umfasst die stationäre Notfallversorgung im Krankenhaus. Sie ist besonders relevant für Patienten, die eine stationäre akut (notfall-)medizinische Versorgung benötigen. Diese Patienten werden durch den Rettungs- und Notarztdienst dem Krankenhaus zugeführt, werden über den ärztlichen Bereitschaftsdienst der KV fußläufig einem Krankenhaus zugewiesen oder gelangen selbstinitiiert fußläufig in die Zentrale Notaufnahme (sog. „walking emergencies“. Hierbei übernehmen Notaufnahmen dann die Ersteinschätzung der eintreffenden Patienten, priorisieren den Behandlungsbedarf und koordinieren die Zusammenarbeit unterschiedlicher Fachabteilungen. Ziel dieser Ersteinschätzung ist es auch, zeitkritische Situationen rasch zu identifizieren und notwendige Behandlungsmaßnahmen einzuleiten. In den zugrunde liegenden gesetzlichen Bestimmungen geht es bei der Notfallbehandlung um die Beseitigung einer akuten Vitalgefährdung, die Therapie unzumutbarer Schmerzen und die Abklärung einer stationären Behandlungspflicht. All diese Aufgaben bedingen, dass Zentrale Notaufnahmen als Nahtstelle zwischen den Sektoren und der ambulanten Notfallversorgung zu den meistbelasteten Strukturen im Gesundheitswesen zählen. Die medizinische Notfallsituation wird dabei anhand der Unmittelbarkeit ärztlicher oder pflegerischer Intervention definiert (2).

1.2 Prähospitaler Rettungs- und Notarztdienst

Die prähospitaler notfallmedizinische Versorgung in Deutschland umfasst ein breit gefächertes Spektrum an Einsatzdiensten – darunter bodengebundene Rettungsdienste, Luftrettung, bis hin zu Spezialkräften für Berg- und Wasserrettung. Primäres Ziel ist es, zeitnah am Einsatzort notfallmedizinische Erstversorgung zu leisten und die Betroffenen in geeignete stationäre Einrichtungen zu transportieren.

Besonders charakteristisch ist die ärztliche Präsenz im deutschen Rettungswesen: Im Gegensatz zu vielen internationalen Systemen, in denen paramedizinisches Personal autonom agiert, sind in Deutschland häufig Notärzte direkt vor Ort eingebunden. Studien zufolge trägt dieses Modell maßgeblich zur Verbesserung der Versorgungsqualität bei (3).

Zur Absicherung der Reaktionsgeschwindigkeit existieren landesrechtlich definierte sog. Hilfsfristen. Die Hilfsfrist legt fest, wie schnell ein Rettungsmittel am Einsatzort eintreffen muss. Aktuelle Untersuchungen bei speziellen Einsatzsituationen zeigen, dass eine kürzere

Eintreffzeit des Rettungsdienstes unmittelbar mit einer verbesserten Überlebenswahrscheinlichkeit und einem besseren neurologischen Behandlungsergebnis für die Patienten verbunden ist (4). Für geplante oder nicht-akute Transporte – etwa Verlegungen durch Krankentransportwagen – gelten diese Fristen nicht.

1.3 Zentrale Notaufnahmen

In Deutschland sind Zentrale Notaufnahmen gesetzlich verpflichtet, alle Personen in akuten Notlagen zunächst zu behandeln – unabhängig von Versicherung, Herkunft oder medizinischer Vorgeschichte. Sie leisten unter anderem Erstmaßnahmen zur Lebensrettung, Schmerzbehandlung und diagnostische Einschätzungen zur weiteren stationären Versorgung.

Das organisatorische Modell folgt einem föderalen Prinzip: Die Bundesländer tragen Verantwortung für den Betrieb der Notfallversorgung, insbesondere im prähospitalen Bereich. Eine bundesweit einheitliche Regelung steht derzeit im Raum, insbesondere durch die geplante Integration des Rettungsdienstes als eigenständige Leistung in das Sozialgesetzbuch (SGB V). Empfehlungen hierzu wurden bereits 2023 von der Regierungskommission für Krankenhausversorgung veröffentlicht (5).

1.4 Strukturierte Abläufe und Ersteinschätzung in Notaufnahmen

Notaufnahmen fungieren als Schnittstelle zwischen prähospitaler Versorgung und stationärem Aufenthalt. Sie koordinieren rund um die Uhr eine Vielzahl an akuten Patientenzugängen, ob durch den Rettungsdienst, ärztliche Überweisung oder Selbstvorstellung.

Ein zentrales Element ist die standardisierte Ersteinschätzung. Diese wird in Deutschland häufig durch geschultes Pflegepersonal durchgeführt und erfolgt anhand international anerkannten strukturierten und validierten Verfahren [z.B. Manchester Triage System (MTS) (6), Emergency Severity Index (ESI) (7)].

Zudem ist jedes zugelassene Krankenhaus grundsätzlich verpflichtet, sich an der Notfallversorgung zu beteiligen. Die tatsächlichen Versorgungskapazitäten variieren jedoch stark. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurde ein gestuftes Modell eingeführt mit einer Einteilung in Grund-, erweiterte und umfassende Notfallversorgung, ergänzt durch spezialisierte Zentren z.B. für die Polytrauma- (Traumazentren), Herzinfarkt- (Chest Pain Unit) oder Schlaganfallspezialversorgung (Stroke Unit) (8).

1.5 Versorgung von Patienten im kritischen Zustand in Notaufnahmen

In Notaufnahmen werden kritisch erkrankte oder verletzte Patienten häufig in speziell ausgestatteten Bereichen versorgt, den sog. Schockräumen. Diese räumlichen Einheiten der Notaufnahme sind technisch und personell darauf ausgelegt, eine sofortige, umfassende Behandlung bei vitalen Bedrohungslagen zu ermöglichen (9). Durch die Möglichkeit zur Durchführung komplexer diagnostischer und therapeutischer Maßnahmen direkt nach Eintreffen der Patienten in der Notaufnahme bieten Schockräume ideale Bedingungen für die initiale Stabilisierung. Ursprünglich wurden sie vor allem für die Versorgung von schwerverletzten Traumapatienten konzipiert, doch in den letzten Jahren hat sich der Einsatzbereich zunehmend auch auf nicht-traumatologische Notfälle ausgeweitet (10).

1.6 Versorgung traumatologischer Schockraumpatienten

Für die Versorgung von schwer verletzten Traumapatienten wurde vor mehreren Jahrzehnten die Schockraumversorgung konzipiert und diese Versorgungsstruktur stellt bis heute ein zentrales Behandlungselement für diese Patientengruppe in der Notaufnahme dar. Die Behandlung ist hochkoordiniert und erfolgt nach klaren Abläufen, um Zeitverluste in der Diagnostik und Therapie zu vermeiden. Besondere Bedeutung kommt der strukturellen und personellen Vorbereitung zu, da solche Akutsituationen unvorhersehbar sind und einen hohen Ressourceneinsatz erfordern. Grundlage der Schockraumversorgung bildet das international etablierte ABCDE-Schema, das eine schnelle Einschätzung und Stabilisierung der Vitalfunktionen erlaubt (11). Unterschiedliche Ausbildungs- und Versorgungskonzepte für den Traumaschockraum [z.B. Advanced Trauma Life Support (ATLS), European Trauma Course (ETC)] sind speziell darauf ausgerichtet, Patienten mit mehreren, potenziell lebensbedrohlichen Verletzungen sofort strukturiert und interdisziplinär zu versorgen. Der Schockraum selbst ist nach dem Weißbuch der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) mit umfangreicher technischer Ausstattung versehen und ermöglicht die Durchführung lebensrettender Maßnahmen unmittelbar nach Eintreffen der Patienten.

Im traumatologischen Schockraum arbeiten interprofessionelle Teams zusammen, die in der Regel aus Unfallchirurgen, Neurochirurgen, Allgemeinchirurgen, Anästhesisten, Radiologen und Notfallmedizinerinnen bestehen. In Sonderfälle werden bei Bedarf auch weitere Spezialisten aus Pädiatrie, Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie als erweitertes Schockraumteam hinzugezogen. Zudem sind Notfallpflegekräfte ein weiteres zentrales Element des Teams in der Notaufnahme.

1.7 Versorgung nicht-traumatologischer Schockraumpatienten

Ein zunehmend wichtiger Versorgungsaspekt in Notaufnahmen ist die strukturierte Behandlung kritisch kranker, nicht-traumatologischer Patienten mit akuten Krankheitsbildern aller Organ- und Funktionssystemen, die nicht durch Trauma verursacht wurden. Noch vor wenigen Jahren war der Begriff „Schockraum“ ausschließlich auf die Versorgung von Traumapatienten beschränkt. Selbst bei akut lebensbedrohlichem Zustand erhielten nicht-traumatologische Patienten häufig keine Versorgung in diesem spezialisierten Umfeld. Studien der letzten Jahre zeigen jedoch, dass die vulnerable Patientengruppe der nicht-traumatologischen Schockraumpatienten in Notaufnahmen etwa viermal häufiger vertreten ist im Vergleich zu schwerverletzten Traumapatienten (12). Da es für diese nicht-traumatologischen Fälle weder etablierte Versorgungspfade noch eigens ausgestattete Behandlungsbereiche gab, war die Versorgung oft unzureichend koordiniert und personell wie logistisch limitiert. Aus diesem Grund wurde das Konzept des nicht-traumatologischen Schockraums entwickelt (13). Es orientiert sich an den bewährten Strukturen der traumatologischen Versorgung, wurde jedoch gezielt an die Anforderungen nicht-traumatologischer Erkrankungsbilder und Leitsymptome angepasst. Ziel ist es, eine standardisierte und strukturierte Erstversorgung auch für kritisch kranke Patienten ohne Trauma zu gewährleisten. Dies beinhalten klare Aufnahme- und Behandlungskriterien, abgestimmte Algorithmen sowie die Bereitstellung personeller und technischer Ressourcen (14). Inzwischen wird das nicht-traumatologische Schockraumkonzept unter Berücksichtigung des Advanced Critical Illness Life Support (ACiLS)-Kurskonzept zunehmend von deutschen Krankenhäusern und die Notaufnahme übernommen, um auch für diese bereits umfangreich bestehende und vulnerable Patientengruppe eine qualitativ hochwertige, interdisziplinäre Versorgung sicherzustellen. Ein definierter Personalschlüssel, der sowohl Anzahl als auch Qualifikation des beteiligten Personals berücksichtigt, ist entscheidend für die Versorgungsqualität und wurde von der Deutschen Gesellschaft für Notfallmedizin (DGINA) und der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI) bereits beschrieben. Das entsprechende Behandlungsteam besteht aus einem Fach-/Oberarzt der Zentralen Notaufnahme bzw. der Klinik/dem Zentrum für Akut- und Notfallmedizin sowie einem Assistenzarzt, beide wünschenswert mit gültigem ACiLS-Zertifikat oder ähnliches Kurssystem sowie zwei Fachpflegekräfte, davon eine Pflegekraft mit ACiLS-Qualifikation (14).

1.7.1 Definition nicht-traumatologischer Patienten im Schockraum

Nicht-traumatologische kritisch kranke Schockraumpatienten zeichnen sich durch eine akute, vitale Bedrohung ohne vorangegangenes Trauma aus. Hierzu zählen unter anderem Zustände wie kardiovaskuläre Erkrankungen (z.B. kardiogener Schock), akute respiratorische Insuffizienz, schwere Sepsis oder Bewusstseinsstörungen ungeklärter Genese (15). Die Definitionen „kritisch kranker Patient“ orientiert sich nicht primär an der Diagnose, sondern am klinischen Patientenzustand, insbesondere an gestörten Vitalparametern, die eine sofortige notfall-/intensivmedizinische Intervention und Behandlung im Schockraum erforderlich machen.

1.7.2 Alarmierungskriterien im nicht-traumatologischen Schockraum

Die Entwicklung und Anwendung standardisierter Alarmierungskriterien ist ein zentraler Schritt zur Verbesserung der Versorgung kritisch kranker, nicht-traumatologischer Patienten. Lange Zeit fehlten in diesem Bereich eindeutige Vorgaben, sodass Entscheidungen über die Schockraumaufnahme häufig subjektiv getroffen wurden. Mit den Vorgaben aus dem Weißbuch der DGINA (10) und den V2iSiOn-Kriterien (16) liegen nun erstmals strukturierte Empfehlungen vor, die auf objektivierbaren Vitalparametern basieren und eine frühzeitige Identifikation behandlungsbedürftiger Patienten ermöglichen.

Das Akronym „V2iSiOn“ steht für fünf essenzielle Kriterien (16):

- jeweilige Vasopressorgabe,
- Ventilation (nicht-invasiv und/oder invasive Beatmung),
- systolischer Blutdruck unter 90 mmHg,
- Sauerstoffsättigung unter 90 % bei Raumluft und
- ein Summenscore auf der Glasgow Coma Skala (GCS) unter 15.

Bereits das Vorliegen eines einzigen dieser pathologischen Punkte reicht aus, um eine Alarmierung des Schockraumteams zu rechtfertigen. Dieser minimalistische Ansatz erleichtert die Anwendung im prähospitalen und klinischen Alltag erheblich und ist besonders für Notaufnahmen mit begrenzten Ressourcen geeignet. Ein detaillierter Indikationskatalog für die Alarmierung einer nicht-traumatologischen Schockraumversorgung nach Leitsymptomen und Notfallbildern ist in **Tabelle 1 (Tab. 1)** dargestellt.

Tab. 1: Indikationsübersicht zur Alarmierung einer nicht-traumatologischen Schockraumversorgung anhand von Leitsymptomen und Notfallbildern [mod. nach (17)].		
Leitsymptom	Alarmierungskriterien und Aufnahmeindikationen	Beispiele/ Notfallbilder
A (Air-way/Atemweg)	(drohende) Atemwegsverlegung	Anaphylaxie, hereditäres Angioödem, Fremdkörper, Blutungen sekundär bei fehlenden Schutzreflexen
B (Breathing/ (Be-)Atmung)	initiale $\text{SpO}_2 \leq 85\%$ unter Raumluft oder $\text{SpO}_2 \leq 89\%$ unter $6\text{ l O}_2/\text{min}$ Atemfrequenz $\leq 6/\text{min}$ oder $\geq 30/\text{min}$ begonnene invasive, nicht-invasive Beatmung oder High-Flow-Anwendung drohende respiratorische Erschöpfung (klinischer Eindruck) schweres Inhalationstrauma (thermisch/toxisch/chemisch)	exazerbierte COPD Pneumonie Spontanpneumothorax Lungenödem Lungenembolie sekundär bei Intoxikationen, neurologischer Symptomatik
C (Circulation/ Kreislaufsituation)	niedrigster gemessener Blutdruck systolisch $<80\text{ mmHg}$ Herzfrequenz $\leq 40/\text{min}$ oder $\geq 180/\text{min}$ Reanimation/Cardiac Arrest/ROSC Einsatz von Katecholaminen	septischer Schock kardiogener Schock anaphylaktischer Schock instabile Bradykardie/höhergradiger AV-Block instabile Tachykardie, z. B. tachykardes Vorhofflimmern, ventrikuläre Tachykardie kreislaufrelevante Blutungen ST-Hebungs-Infarkt (STEMI)
D (Disability/ neurologisches Defizit)	unklare Bewusstlosigkeit Status epilepticus neu aufgetretene oder progrediente Vigilanzstörung (GCS ≤ 9 , fehlende Schutzreflexe) akutes neurologisches Defizit	Intoxikationen Elektrolytstörungen V. a. Schlaganfall intracerebrale Blutung Meningitis/Enzephalitis
E (Environment/ Umweltfaktoren)	kritischer Gesamtzustand (klinischer Eindruck) Liegetrauma metabolische Störungen, Elektrolytstörungen Hypothermie $\leq 32^\circ\text{C}$ Hyperthermie $\geq 40^\circ\text{C}$	Hyperglykämie, z. B. Ketoazidose Elektrolytstörungen, z. B. Hyperkaliämie Sepsis Intoxikationen starke Schmerzzustände

1.7.3 Weißbuch „Nicht-traumatologischer Schockraum“

Die Deutsche Gesellschaft für Notfallmedizin (DGINA) hat im Jahr 2022 in Anlehnung an das Weißbuch der DGU® (11) erstmals ein Weißbuch für die Versorgung kritisch kranker, nicht-traumatologischer Patienten im Schockraum herausgegeben (10). Ziel ist es, Empfehlungen zur räumlichen, strukturellen und personellen Ausstattung sowie zur Organisation nicht-traumatologischer Schockräume zu formulieren. Da diese vulnerable Patientengruppe bisher keine einheitlichen Versorgungsstrukturen hatte, stellt dieses Weißbuch einen wichtigen Schritt zur Standardisierung und Qualitätssicherung dar.

Das Weißbuch beschreibt klar definierte Aufnahmeindikationen, Mindestanforderungen an technische Ausstattung [z.B. Monitoring, Beatmungsgeräte, Point-of-Care-Testing (POCT)] sowie personelle Anforderungen, inklusive eines interdisziplinär geschulten Schockraumteams. Besonderes Augenmerk liegt auf der Etablierung strukturierter Abläufe und standardisierter Kommunikation im Schockraum, um kritische Zeitverluste zu vermeiden. Auch wird die Bedeutung von Fortbildung, Dokumentation und Qualitätssicherung betont. Die Empfehlungen des Weißbuchs sollen Krankenhäusern aller Versorgungsstufen von der Basis bis zum universitäre Maximalversorger bei der Einrichtung und Weiterentwicklung nicht-traumatologischer Schockraumstrukturen unterstützen und dabei helfen, die Patientensicherheit sowie die Versorgungsqualität deutschlandweit zu verbessern.

1.7.4 Ausstattung des nicht-traumatologischen Schockraums

Die Ausstattung eines nicht-traumatologischen Schockraums orientiert sich an den Anforderungen einer sofortigen, interdisziplinären Akutversorgung und entspricht in weiten Teilen der traumatologischen Struktur, ist jedoch gezielt auf nicht-traumatische Notfälle angepasst: Zentrale Elemente sind ein vollständiges Monitoring aller Vitalparameter, Beatmungsgeräte einschließlich nicht-invasiver und invasiver Optionen, sowie Möglichkeiten zur raschen Oxygenierung und Atemwegssicherung. Für die Diagnostik sind Point-of-Care-Test (POCT)-Geräte zur Blutgasanalyse, Laboruntersuchungen und Sonografie essenziell, ergänzt durch eine direkte Anbindung an bildgebende Verfahren (z.B. Computertomographie, Röntgen). Die räumliche Gestaltung muss ausreichend Platz für ein interdisziplinäres Team, Reanimationsmaßnahmen und invasive Prozeduren bieten. Zusätzlich sollten Medikamente zur Akuttherapie, Infusions- und Spritzenpumpensysteme, Wärmesysteme sowie ein strukturiertes Lagerungskonzept unmittelbar verfügbar sein. Das Weißbuch betont außerdem die Notwendigkeit einer standardisierten Materialanordnung und klarer Kennzeichnung, um unter Zeitdruck eine reibungslose Zusammenarbeit zu ermöglichen. Damit wird sichergestellt, dass kritische

Maßnahmen ohne Verzögerung eingeleitet werden können und die Versorgung unabhängig von der Ursache der vitalen Bedrohung auf höchstem Niveau erfolgt. Eine detaillierte Darstellung der räumlichen Voraussetzungen für einen Schockraum nach dem DGINA-Weißbuch findet sich in **Tab. 2** sowie **Abb. 2**.

Tab. 2. Räumliche Voraussetzungen für einen Schockraum nach dem DGINA Weißbuch [mod. nach (10)]	
Räumliche Voraussetzungen für einen Schockraum	
Größe pro Schockraumarbeitsplatz mindestens 25 m ² (ab erweiterter Notfallversorgung mind. 35 m ²)	
Möglichst Lokalisation des Schockraums in räumlicher Nähe zur Rettungsdienstanfahrt, dem Hub-schrauberlandeplatz, der radiologischen Abteilung und Operations-/Interventionsabteilung	
Bei Neuplanungen: Etablierung des Computertomographen im Schockraum oder in unmittelbarer Nähe	
Ausstattungsmerkmale pro Schockraum	
Überwachungsmonitore (einschließlich nichtinvasiver und invasiver Blutdruckmessung, 3-Kanal-, 12-Kanal-EKG, Kapnographie, valider Temperaturkontrolle) mit zentraler Überwachung und ggf. Verbindung zu einem Patientendatenmanagementsystem (PDMS)	
Atemwegssicherung inkl. alternativer Atemwege, Videolaryngoskop, mobile Bronchoskopieeinheit, Notfallkoniotomie-Set, Absaugeinheiten	
Ausstattung zur Behandlung akuter respiratorischer Störungen:	High-Flow-Sauerstofftherapie (mit Transportmöglichkeit)
	Respirator für die non-invasive und invasive Beatmung (mit Transportmöglichkeit)
	Thoraxdrainagen
Ausstattung zur differenzierten Kreislauftherapie und Postreanimationstherapie:	Mindestens vier Perfusoren und zwei Infusomaten
	Intraossärer Zugang
	Gerät für die Massentransfusion von Blutprodukten
	Defibrillator
	Externer und passagerer Schrittmacher
	Mechanische Thoraxkompressionshilfe
	Gerät zur Gewährleistung einer therapeutischen Hypothermie

Tab. 2. (Fortsetzung) Räumliche Voraussetzungen für einen Schockraum nach dem DGINA Weißbuch [mod. nach (10)]	
	Optional: Extrakorporale Membranoxygenation/Cardiac Life Support oder Kooperationsvereinbarung mit ECMO/ECLS-Zentrum
	Gerinnungssofortdiagnostik (INR, optional: Thrombelastographie)
Ausstattung zur Behandlung von Störungen der Wärmekontrolle (z.B. 29 °C Raumtemperatur, externe Wärmetherapie, Gerät zum Erwärmen von Infusionen und Blutprodukten, Möglichkeiten der aktiven und passiven Erwärmung, externe oder intravasale Kühlung)	
POCT-Labordiagnostik: Blutgasgerät inkl. Co-Hb, Methämoglobin, Hämoglobin, Glukose, Ketone, Elektrolyte (mind. Na ⁺ , K ⁺ , Cl ⁻), Laktat, Gerinnung (INR, Quick), Troponin, D-Dimer, falls keine zeitnahe Bestimmung im Hauptlabor möglich	
Notfallmedikamente (z.B. Katecholamine, Intoxikationen, Lyse, Antidot)	
Mobiles Ultraschallgerät (inkl. Sektor-, Konvex- und Linearschallkopf) je nach Patientenzahl (1 Gerät/10.000 Pat.) oder ein Gerät für den alleinigen Einsatz im Schockraumbereich	
Mobile Röntgenlafette (für Thoraxröntgen) oder fest integrierte Röntgenanlage in oder nahe (< 50 m) des Schockraums	
Röntgen-C-Bogen	
Computertomographie nahe dem Schockraum (< 50 m) (in Notaufnahmen der erweiterten/umfassenden Versorgungsstufe: 24 h/365 Tage)	
Magnetresonanztomographie nahe dem Schockraum (< 50 m) (in Notaufnahmen der erweiterten/umfassenden Versorgungsstufe: 24 h/365 Tage)	

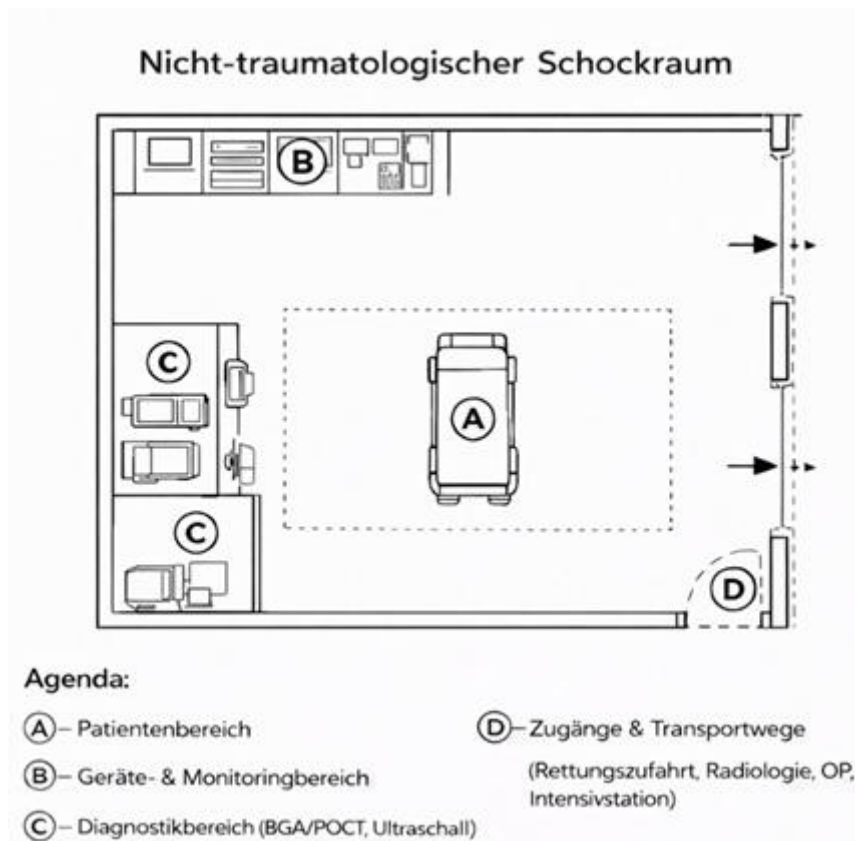


Abb. 2: Schematische Darstellung eines möglichen Layouts eines nicht-traumatologischen Schockraums auf Grundlage der räumlichen Voraussetzungen des Weißbuchs der Deutsche Gesellschaft für Notfallmedizin [Eigene Abbildung erstellt mit Unterstützung von ChatGPT (Open AI) und einem eigenen Prompt am 15.02.2026].

1.7.5 Point-of-Care-Test-Blutdiagnostik im nicht-traumatologischen Schockraum

Point-of-Care-Test-(POCT)-Geräte, sind ein zentrales Element der technischen Ausstattung im nicht-traumatologischen Schockraum, da sie eine sofortige Diagnostik am Patientenbett ermöglichen und damit kritische Therapieentscheidungen ohne Zeitverlust unterstützen (10). Zu den empfohlenen Messungen zählen Blutgasanalyse [inklusive pH-Wert, Kohlendioxidpartialdruck ($p\text{CO}_2$), Sauerstoffpartialdruck ($p\text{O}_2$), Bicarbonat], Elektrolyte (z.B. Natrium, Kalium, Calcium), sowie Laktat, Hämoglobin und Glukose. Die unmittelbare Verfügbarkeit dieser Laborwerte direkt im Schockraum, im Gegensatz zu etablierten Laboruntersuchungen im Labor, verkürzt diagnostische Latenzen erheblich und ermöglicht es dem interdisziplinären Team, gezielte Interventionen – etwa Beatmungseinstellungen, Volumen- oder Vasopressorthherapie – umgehend einzuleiten. Da POCT-Geräte ursprünglich primär für die Blutgasanalyse (BGA) konzipiert wurden, etablierte sich der Begriff BGA-POCT. Heute verfügen nahezu alle modernen BGA-POCT-Geräte zusätzlich über die Möglichkeit, weitere relevante Blutparameter wie Elektrolyte, Laktat, Glukose und Hämoglobin zu bestimmen. Der Begriff BGA-POCT ist jedoch aus historischen Gründen weiterhin gebräuchlich. In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff

BGA-POCT daher umfassend verwendet und schließt neben der Blutgasanalyse auch die vorgenannten zusätzlichen Parameter mit ein.

1.7.6 Das ACiLS-Konzept im nicht-traumatologischen Schockraum

Das Advanced Critical Illness Life Support (ACiLS)-Konzept wurde als strukturierter Ausbildungskurs für die Versorgung kritisch kranker, nicht-traumatologischer Patienten im Schockraum entwickelt (18). Es schließt damit eine Lücke, die durch die Fokussierung bestehender Kurssysteme wie Advanced Trauma Life Support (ATLS) oder Advanced Life Support (ALS) auf Traumata bzw. Reanimationen bestand. Der Kurs richtet sich an interdisziplinäre Teams aus Ärzten und Pflegekräften, die regelmäßig mit komplexen Notfällen im Schockraum konfrontiert sind.

Ziel des ACiLS-Kurses ist es, alle Beteiligten eine Systematik für den Umgang mit lebensbedrohlichen nicht-traumatologischen Notfällen zu vermitteln. Dabei steht ein strukturierter Ablaufplan im Mittelpunkt: der (PR_E-)AUD²IT-Algorithmus (19). Dieser orientiert sich an etablierten Elementen wie der ABCDE-Algorithmus und integriert zusätzlich Zeitpunkte für strukturierte Team-Timeouts, Priorisierung lebensrettender Maßnahmen und gezielte Diagnostik.

Ein besonders innovativer Aspekt ist der Fokus auf interprofessionelle Zusammenarbeit und Kommunikation, und wird in Rollentrainings, strukturierten Übergaben und Debriefings innerhalb des Kurses aufgegriffen. Der Kurs betont damit nicht nur medizinisches Fachwissen, sondern auch Führungs- und Teamkompetenz als ein essenzieller Aspekt für funktionierende Schockraumabläufe.

1.8 Aktueller Forschungsstand zum nicht-traumatologischen Schockraum

In den letzten Jahren hat sich die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit dem nicht-traumatologischen Schockraum in deutschen Notaufnahmen intensiviert. Die erstmalige systematische Untersuchung erfolgte im Rahmen der Leipziger OBSERvE-Studie (13), die ein umfassendes Bild über Epidemiologie, Versorgungsmaßnahmen und Mortalitätsraten nicht-traumatologischer Patienten im Schockraum zeichnete. Es folgte die OBSERvE-Lactate-Studie (20), welche erstmals den prognostischen Wert von Laktatwerten und deren Dynamik in den ersten 24 Stunden bei kritisch kranken nicht-traumatologischen Schockraumpatienten untersuchte und bestätigte, dass erhöhte Werte mit einer erhöhten 30-Tages-Sterblichkeit einhergehen.

Eine weitere Studie desselben Patientenkollektivs untersuchte den prognostischen Stellenwert der bei Schockraumaufnahme gemessenen Blutglukosewerte (21): Sowohl Hypoglykämien als auch ausgeprägte Hyperglykämien sind mit einer erhöhten Krankenhausmortalität bei nicht-traumatologischen kritisch kranken Schockraumpatienten assoziiert.

Darauf aufbauend erweiterte die OBSERvE2-Studie (22) aus Leipzig den Erkenntnisstand, indem sie die Ergebnisse der ursprünglichen Studie überprüfte und reproduzierte. Sie bestätigte die klinische Relevanz strukturierter Schockraumversorgung und zeigte gleichzeitig eine breite Varianz zugrunde liegender Krankheitsbilder auf. Mit der Veröffentlichung der OBSERvE-DUS-Studie (12) aus Düsseldorf wurde erstmals ein weiteres Zentrum als Studienlokalisation an einem weiteren Universitätsklinikum einbezogen. Diese Untersuchung lieferte wichtige Erkenntnisse zur überregionalen Vergleichbarkeit sowie zu häufigen Leitsymptomen, Behandlungsmaßnahmen und der Rolle des Rettungsdienstes. Neben epidemiologischen Aspekten wurden auch pathophysiologisch relevante Parameter (z.B. Glukose, Laktat) in Einzelstudien weiter untersucht (21,23).

1.8.1 OBSERvE-1 und -2 Studien

Die OBSERvE-Studienreihe bildet den Grundstein für die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Versorgung kritisch kranker, nicht-traumatologischer Patienten im Schockraum deutscher Notaufnahmen. Die OBSERvE-1 Studie, durchgeführt von 2014 bis 2015 am Universitätsklinikum Leipzig, erfasste erstmals systematisch epidemiologische Daten, Behandlungsabläufe und Behandlungsergebnisse des unselektionierten kritische kranken Patientenguts. Die OBSERvE-1 Studie zeigte, dass ein erheblicher Anteil der Patienten mit neurologischen, kardiovaskulären oder respiratorischen Problemen aufgenommen wurde. Die 30-Tages-Mortalität lag bei 34 %, ein Ergebnis, dass die hohe Vulnerabilität dieser Patientengruppe und den hohen Bedarf nach strukturierten Versorgungsansätzen unterstreicht (13).

Die darauffolgende OBSERvE2-Studie (2017-2018), ebenfalls in Leipzig durchgeführt, diente der Überprüfung und Validierung der Ergebnisse. Dabei zeigte sich eine hohe Übereinstimmung der Patientenkollektive und Versorgungscharakteristika; die Ergebnisse wiesen damit eine Reproduzierbarkeit auf und die Reliabilität der Erkenntnisse konnte bestätigt werden (22). Beide Studien dokumentierten einen häufigen Einsatz relevanter notfallmedizinischer Maßnahmen (z.B. invasive Beatmung, Katecholamingabe, arterielle Zugänge), sowie häufige Aufnahmediagnosen entlang des ABCDE-Schemas. Die große diagnostische Spannbreite und hohe Behandlungsintensität belegten die Notwendigkeit einheitlicher Schockraumprotokolle. Gemeinsam lieferten die OBSERvE-1 und -2 Studien damit erstmals belastbare Grundlagen zur Definition von Versorgungsstandards für nicht-traumatologische Notfallpatienten und

trugen wesentlich dazu bei, das Bewusstsein für diese bislang wenig realisierte und vorwiegend unstrukturiert behandelte Patientengruppe zu schärfen.

1.8.2 OBSERvE-DUS-Studie

Mit der OBSERvE-DUS-Studie wurde erstmals der Versuch unternommen, die bisherigen Erkenntnisse aus Leipzig auf ein weiteres universitäres Zentrum zu übertragen. Durchgeführt am Universitätsklinikum Düsseldorf untersuchte diese retrospektive Analyse alle kritisch kranken nicht-traumatologischen Patienten, die zwischen 2018 und 2019 in den Schockraum aufgenommen wurden. Die Studie erfasste detailliert klinische Merkmale, prähospitalen und innerklinische Maßnahmen sowie die 30-Tages-Mortalität, die bei rund 18,5 % lag. Im untersuchten Patientenkollektiv zeigte sich, dass lebensbedrohliche Zustände im nicht-traumatologischen Schockraum überwiegend durch neurologische Störungen mit Vigilanzminderung, hämodynamische Instabilität im Sinne eines Schockgeschehens sowie durch respiratorische Insuffizienz bedingt waren. Entsprechend entfielen 41,2 % der führenden ABCDE-Probleme auf „Disability“ (neurologisches Defizit), 31,2 % auf „Circulation“ (Kreislauf) und 24,5 % auf „Breathing“ (Atmung). Bereits bei Aufnahme präsentierte sich ein relevanter Anteil der Patienten mit ausgeprägten Vitalparameterabweichungen; 30,6 % wiesen einen GCS-Wert <9 auf. Die zugrunde liegenden Entlassungsdiagnosen waren überwiegend neurologischer (29,3 %), kardiovaskulärer (28,3 %) und pulmonaler (19,5 %) Ätiologie (12).

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen befinden sich mittlerweile die Anschlussstudien OBSERvE-DUS-2 und -3 in Planung bzw. Umsetzung. Diese sollen nicht nur longitudinal Entwicklungen abbilden, sondern auch Fragen zur Effektivität standardisierter Behandlungspfade, Frühinterventionen und Prognostik des Behandlungsergebnis vertiefen. Die OBSERvE-DUS-Reihe markiert somit einen entscheidenden Schritt hin zur deutschlandweiten Systematisierung der nicht-traumatologischen Schockraumversorgung.

1.9 Säure-Basen-Haushalt

1.9.1 Physiologie des Säure-Basen-Haushalts

Der Säure-Basen-Haushalt ist ein fundamentaler Bestandteil der Homöostase im menschlichen Organismus. Er sorgt dafür, dass der pH-Wert normalerweise in einem physiologischen Bereich von 7,35 bis 7,45 gehalten wird. Schon geringe Abweichungen des pH-Wertes können schwerwiegende Störungen wichtiger physiologischer Prozesse nach sich ziehen. Da viele

Enzyme in dem menschlichen Organismus nur innerhalb eines engen pH-Bereichs optimal arbeiten, ist eine stabile pH-Regulation entscheidend für Zellstoffwechsel, neuromuskuläre Aktivität und Herzfunktion (24).

Der wichtigste Puffer im Körper ist das Bikarbonat-System, das als offenes Puffersystem durch die Atmung [Kohlendioxid(CO_2)-Abatmung] reguliert wird. Es besteht aus Kohlensäure (H_2CO_3) und Bikarbonat (HCO_3^-) (25). Weitere Puffersysteme sind Proteine wie Hämoglobin, die intrazellulär wirken, sowie anorganische Phosphate. Ergänzend zur Pufferung spielen die Lunge und die Nieren eine zentrale Rolle: Die Lunge kontrolliert durch Abatmung von CO_2 die kurzfristige pH-Regulation. Die Niere reguliert den Säure-Basen-Haushalt langfristig, indem sie aktiv Protonen (H^+) ausscheidet und Bikarbonat rückresorbiert bzw. neu synthetisiert (25).

1.9.2 Störungen des Säure-Basen-Haushalts

Eine Störung des Säure-Basen-Haushalts manifestiert sich entweder als Azidose ($\text{pH} < 7,35$) oder Alkalose ($\text{pH} > 7,45$). Diese können wiederum metabolischer oder respiratorischer Genese sein. Eine metabolische Störung ist durch Veränderungen in der Konzentration von nichtflüchtigen Säuren (z. B. Milchsäure, Ketone) oder Bikarbonat charakterisiert (26). Der Normwert für Bikarbonat (HCO_3^-) liegt bei 22–26 mmol/l. Eine metabolische Azidose liegt typischerweise bei einem HCO_3^- -Wert unter 22 mmol/l, eine metabolische Alkalose bei einem Wert über 26 mmol/l. Eine respiratorische Störung hingegen ergibt sich aus Veränderungen im arteriellen CO_2 -Partialdruck (paCO_2). Der Normwert für paCO_2 liegt bei 35–45 mmHg. Ein paCO_2 -Wert über 45 mmHg spricht für eine respiratorische Azidose (Hypoventilation), während ein paCO_2 -Wert unter 35 mmHg auf eine respiratorische Alkalose (Hyperventilation) hinweist. Störungen können akut oder chronisch auftreten. Chronische Formen erlauben eine bessere Kompensation durch die Nieren, während akute Entgleisungen rasch vital bedrohlich werden (26).

1.9.3 Metabolische und respiratorische Azidose

Die metabolische Azidose zeichnet sich durch eine erniedrigte Bikarbonatkonzentration (< 22 mmol/l) im Blut aus. Sie tritt beispielsweise infolge von Schockzuständen bei folgenden Zuständen/Erkrankungen auf: diabetische Ketoazidose, chronische Niereninsuffizienz, schwere Diarrhoe, Laktatazidose. Diese Form der Azidose erhöht die Atemfrequenz (Kussmaul-Atmung) als kompensatorischen Mechanismus zur CO_2 -Elimination (27).

Bei der respiratorischen Azidose liegt die Ursache in einer verminderten alveolären Ventilation. Hierbei steigt der paCO_2 -Wert im Blut auf über 45 mmHg (Hyperkapnie), dies führt zur Bildung von Kohlensäure und deren Zerfall in Protonen (H^+) und HCO_3^- . Die häufigsten Ursachen sind die chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD), schwere Asthmaanfälle, Atemlähmung oder ZNS-Depressionen (z. B. Intoxikation durch Opiate). Die Kompensation erfolgt renal durch vermehrte H^+ -Ausscheidung und Rückresorption von HCO_3^- , was aber Zeit benötigt (28). Beide Azidoseformen können zu Zellfunktionsstörungen, Kreislaufinsuffizienz und Koma führen und müssen daher schnell erkannt und behandelt werden.

1.9.4 Metabolische und respiratorische Alkalose

Die metabolische Alkalose ist meist durch den Verlust von Salzsäure (HCl) aus dem Magen bedingt, beispielsweise durch starkes Erbrechen oder eine Magensonde. Auch Diuretika, die zur Hypokaliämie führen, können eine metabolische Alkalose begünstigen, da die renale H^+ -Ausscheidung verstärkt wird. Typisch ist dabei ein Bikarbonatwert über 26 mmol/l (29). Die respiratorische Alkalose entsteht durch Hyperventilation, bei der übermäßig CO_2 abgeatmet wird. Der paCO_2 fällt konsekutiv unter 35 mmHg. Ursachen sind häufig psychogene Hyperventilation (z. B. bei Angst), Hypoxie, Sepsis oder Leberversagen. Die Folge ist eine verminderte zerebrale Durchblutung aufgrund der Vasokonstriktion, mit der Folge von Schwindel, Parästhesien und Synkopen als Symptome (30). Beide Alkaloseformen führen zu einer erhöhten neuromuskulären Erregbarkeit und können im Extremfall tetanische Krämpfe und Herzrhythmusstörungen verursachen (29,30).

1.9.5 Regulationsmechanismen des Säure-Basen-Haushalts

Die Regulationsmechanismen des Säure-Basen-Haushalts beruhen auf einem fein abgestimmten Zusammenspiel von Puffersystemen und der beiden Organe Lunge und Niere. Blutpuffer (z.B. Bicarbonat, Hämoglobin, Plasmaproteine) reagieren innerhalb von Sekunden auf pH-Verschiebungen und mildern akute Schwankungen ab (31). Die respiratorische Kompensation erfolgt über eine Anpassung der alveolären Ventilation, wodurch CO_2 als flüchtige Säure rasch eliminiert oder zurückgehalten wird. Langfristig stabilisiert die Niere den pH-Wert, indem sie unter anderem Bicarbonat regeneriert oder reguliert (32). Dieses Zusammenspiel erlaubt eine präzise Kontrolle des systemischen pH-Wertes und sichert essenzielle enzymatische und metabolische Funktionen. Das Verständnis ihrer Funktion ist für die Interpretation der Blutgasanalyse essenziell.

1.10 Blutgasanalyse als Point-of-Care-Testing als Lösungsstrategie

1.10.1 Aufbau und Prinzip des Point-of-Care-Testings

Das Point-of-Care-Testtesting (POCT) dient der raschen und präzisen Analyse von pH-Wert, Gasverteilung (O_2 , CO_2), Elektrolyten und Stoffwechselfparametern (z.B. Laktat, Glukose). Innerhalb von Minuten liefert sie eine umfassende Beurteilung des aktuellen respiratorischen und metabolischen Zustandes von Patienten. Das Verfahren eignet sich für arterielle, kapilläre oder venöse Blutproben. Die arterielle Blutgasanalyse (/BGA) ist Standard zur Beurteilung der Oxygenierung (33) und Ventilation, während venöse und arterielle BGAs nahezu gleichwertig ebenso für metabolische Parameter und Analyse von Säure-Basen-Entgleisungen eingesetzt werden können (34).

1.10.2 BGA-POCT-Gerät

Moderne Geräte analysieren Blutproben elektrochemisch: Elektroden messen pH, pCO_2 und pO_2 ; photometrische Verfahren werden zur Bestimmung von Hb und COHb verwendet. Zusätzlich können Temperatur- und Hämatokritkorrekturen automatisch erfolgen. Die Geräte ermitteln auch Sekundärparameter wie Basenüberschuss oder Bikarbonat (HCO_3^-), und stellen numerische Auswertungen zur Verfügung (35) (**Abb. 3**).

1.11 Weitere messbare Parameter mit modernem BGA-POCT-Gerät

1.11.1 Laktat

Laktat ist ein zentrales Intermediat des Energiestoffwechsels und ein Marker der anaeroben Glykolyse. Erhöhte Laktatwerte (>4 mmol/l) sprechen für eine Hypoperfusion oder Hypoxie (20). Pathophysiologisch entsteht die Hyperlaktatämie durch ein Missverhältnis zwischen Sauerstoffangebot und -bedarf, wodurch Pyruvat bei eingeschränkter mitochondrialer oxidativer Phosphorylierung vermehrt zu Laktat reduziert wird, um die NAD^+ -Regeneration und damit die ATP-Produktion über die anaerobe Glykolyse aufrechtzuerhalten (36). Zusätzlich kann insbesondere im septischen Schock eine gesteigerte aerobe Glykolyse infolge adrenerger Stimulation zur Laktaterhöhung beitragen (37). Persistierend erhöhte Laktatspiegel sind mit Mikrozirkulationsstörungen, metabolischer Azidose, eingeschränkter myokardialer Kontraktilität und

erhöhter Mortalität assoziiert und gelten als unabhängiger prognostischer Marker bei kritisch kranken Patienten (38).

1.11.2 Blutglukose

Glukose dient im menschlichen Organismus als Energielieferant (39). Akute Hypo- oder Hyperglykämien können lebensbedrohlich sein (21,40). In der Notfallmedizin ist eine umgehende Glukosemessung essenziell, insbesondere um pathologische Veränderungen als Ursache für Bewusstseinsstörungen zu identifizieren. BGA-Geräte bieten eine zuverlässige Messung und erleichtern so die sofortige therapeutische Steuerung.

1.11.3 Elektrolyte

Störungen im Elektrolythaushalt von Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, und Chlorid sind bei kritisch kranken Patienten häufig (41). So spielt Natrium eine zentrale Rolle bei der Aufrechterhaltung des Flüssigkeitshaushalts und der Erregungsleitung (42), Kalium beeinflusst die Erregungsleitung am Herzen (43), Calcium ist für Muskelkontraktionen erforderlich (44), Magnesium reguliert neuromuskuläre Prozesse (45), und Chlorid ist wichtig für den osmotischen Druck (46).

1.11.4 Hämoglobin

Der Hämoglobin(Hb)-Wert zeigt das Sauerstofftransportvermögen des Blutes an. In Notfallsituationen ermöglicht der Hb-Wert eine rasche Einschätzung möglicher chronischer Blutverluste oder Blutbildungsstörungen (47). Die Einschätzung eines akuten Blutverlustes im Gegensatz ist limitiert, da im Akutfall der Verlust von Hämoglobin sowie Blutplasma gleich ist, d.h. prozentual ist das Hämoglobin im Blut nicht erniedrigt. In der subakuten oder chronischen Phase eines Blutverlustes kommt es zu einem messbaren Hämoglobinabfall durch den Verdünnungseffekt.

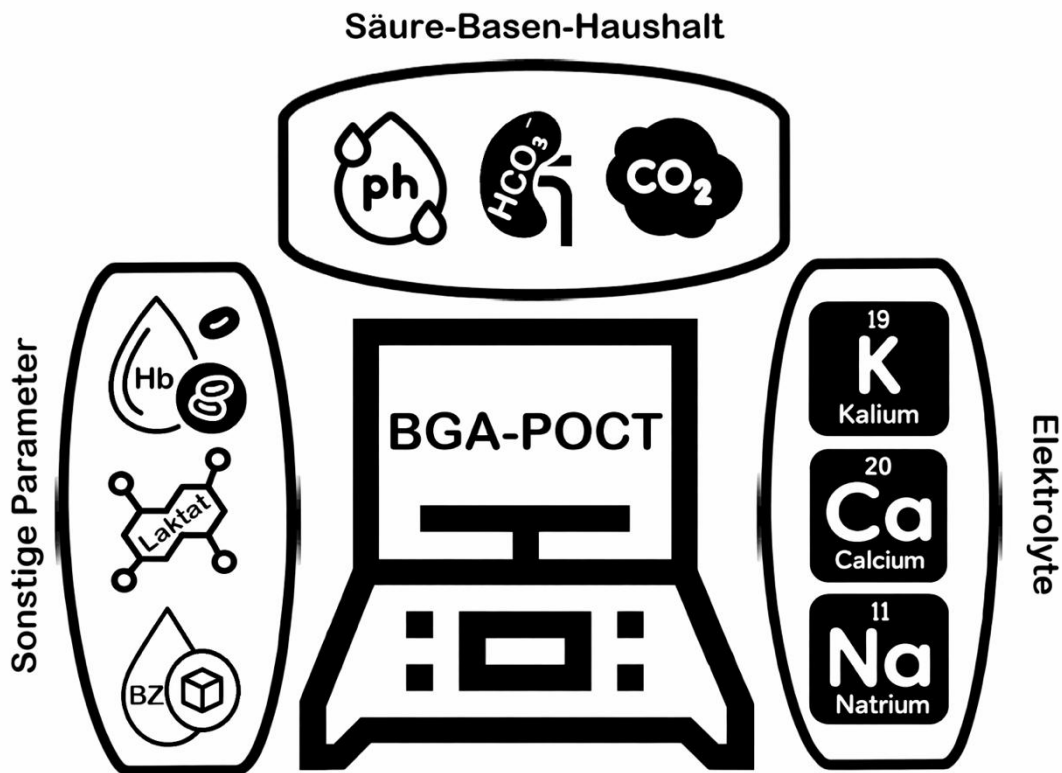


Abb. 3: Auswertbare Parameter moderner BGA-POCT-Geräte (Hb = Hämoglobin, BZ = Glukose, HCO_3^- = Bikarbonat, CO_2 = Kohlenstoffdioxid, K = Kalium, Ca = Kalzium, Na = Natrium) [Eigene Abbildung erstellt mit Unterstützung von Paint3D (Microsoft). Die verwendeten Symbole wurden aus frei verfügbaren Symbolen von Flaticon (www.flaticon.com) entnommen].

1.12 Spezielle Einsatzgebiete der BGA-POCT

1.12.1 BGA-POCT in der Intensivmedizin

In der Intensivmedizin gehört die BGA zur Standarddiagnostik. Die BGA dient der Verlaufskontrolle bei Beatmungsparametern, Schockzuständen und Niereninsuffizienz. Die häufige Anwendung der BGA ermöglicht die frühzeitige Anpassung von Therapieentscheidungen (48). Insbesondere bei beatmeten Patienten ist die BGA zur Beurteilung der Oxygenierung, Ventilation und des Säure-Basen-Status unerlässlich. Auch in der Kreislauftherapie liefert die BGA wichtige Hinweise auf Perfusionsstörungen und den Erfolg von Volumen- oder Vasopressortherapie. Bei Nierenversagen gibt sie Aufschluss über die Notwendigkeit einer Puffertherapie oder Nierenersatzverfahren (27). Die Möglichkeit zur engmaschigen Kontrolle macht die BGA zu einem zentralen Instrument für die individuelle und dynamische Therapieanpassung auf Intensivstationen.

1.12.2 BGA-POCT im traumatologischen Schockraum

Bei schwer- bzw. mehrfachverletzten Patienten ist die BGA ein zentrales, diagnostisches und bettseitig einsetzbares Instrument zur schnellen Beurteilung des physiologischen Zustands. Die BGA ist entscheidend für die Erkennung von inneren Blutungen, Hypoxie oder metabolischer Azidose – alles potenziell lebensbedrohliche Zustände, die sofortiges Handeln erfordern. Besonders der pH-Wert spielt hierbei eine Schlüsselrolle, da eine ausgeprägte Azidose Teil der sogenannten Trauma „Triad of Death“ ist (49). Die „Triad of Death“ beschreibt das fatale Zusammenspiel von Hypothermie, Koagulopathie und Azidose, das bei schwerverletzten Patienten im Schockraum oft vorliegt und mit einer stark erhöhten Mortalität assoziiert ist. Neuere Forschung weist zudem darauf hin, dass auch eine Hypokalzämie eine wichtige Rolle bei polytraumatisierten kritisch kranken Patienten spielt und wird daher zunehmend als vierter Faktor in die sog. „Diamond of Death“ integriert (50). (**Abb. 4**)

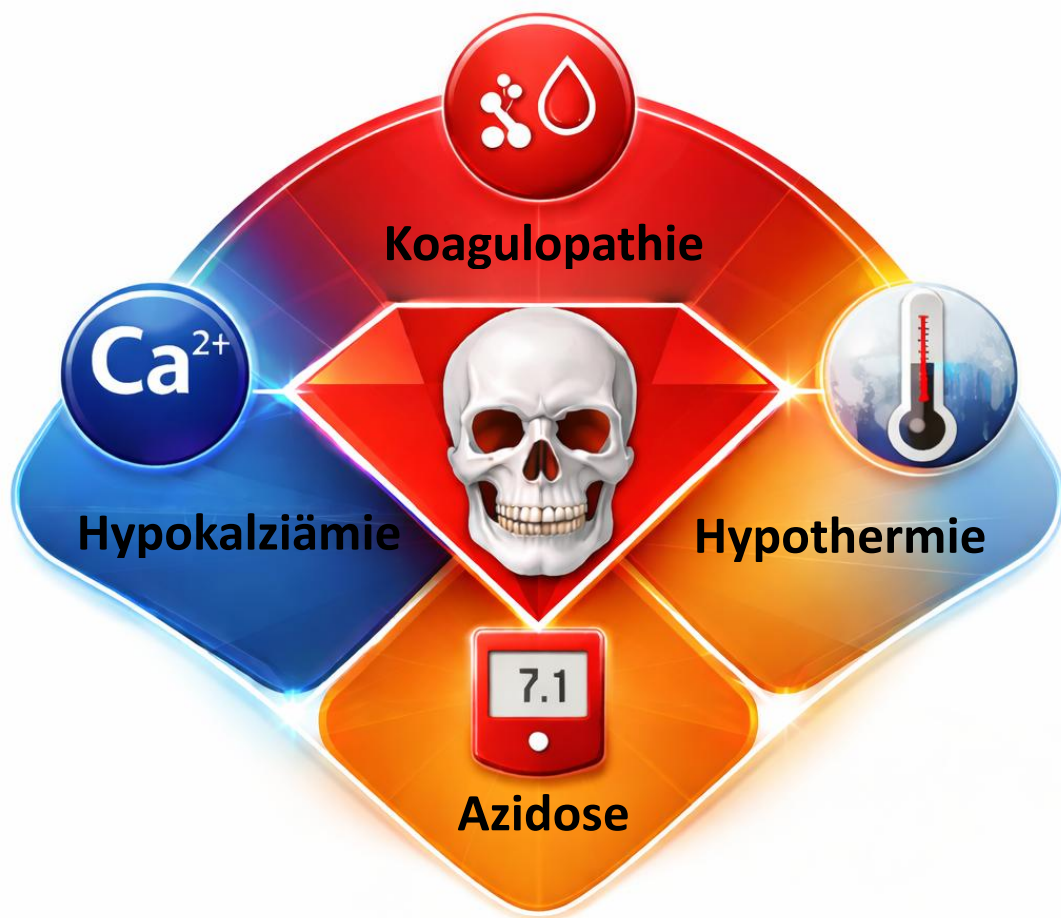


Abb. 4: „Diamond of death“: Die Kombination aus Hypocalzämie, Koagulopathie, Azidose und Hypothermie sind Prädiktoren für ein ungünstiges Behandlungsergebnis. [Eigene Abbildung erstellt mit Unterstützung von ChatGPT (Open AI) und einem eigenen Prompt am 24.03.2026].

Eine Hypokalzämie entsteht bei schwerverletzten Patienten häufig durch massiven Blutverlust, Verdünnungseffekte bei Transfusionen sowie die Bindung von ionisiertem Calcium an Citrat in Blutprodukten. Da Calcium für die Myokardfunktion, die Gefäßtonusregulation und die Aktivierung zentraler Gerinnungsfaktoren unerlässlich ist, verstärkt sein Abfall sowohl die Koagulopathie als auch die hämodynamische Instabilität. Dadurch schließt sich der pathophysiologische „Teufelskreis“, der die Prognose schwerverletzten Patienten zusätzlich verschlechtert (51).

1.12.3 BGA-POCT im nicht-traumatologischen Schockraum

Das BGA-POCT liefert essenzielle Informationen bei kritisch kranken nicht-traumatologischen Patienten zur Differenzierung diversen Krankheitsbilder (52). Ein erhöhter Laktatspiegel weist auf eine gestörte Gewebepерfusion hin, beeinflusst die Prognose signifikant und ist häufig ein Kriterium für eine intensivmedizinische Weiterbehandlung (20). In der akuten Schockraumphase unterstützt das BGA-POCT schnelle Entscheidungen über Maßnahmen wie Volumengabe, Vasopressoren oder Sauerstoffzuführung. Auch während der Stabilisierung erlaubt sie eine engmaschige Kontrolle und Anpassung der Therapie.

1.12.4 BGA-POCT prähospital

Dank mobiler POCT-Systeme ist eine BGA auch durch die Ausstattung eines Rettungswagens bzw. Notarzteinsetzfahrzeuges möglich (**Abb. 5**). Dies erlaubt eine frühzeitige prähospitaler Notfallmedizinische Therapielenkung und verbessert die Übergabequalität an das aufnehmende Krankenhaus auch hinsichtlich der vorliegenden Pathologien von Einzelwerten (53). Besonders bei respiratorischer Insuffizienz, Sepsis oder Trauma ist die prähospitaler BGA ein entscheidendes Hilfsmittel, um den Schweregrad der Erkrankung frühzeitig einzuschätzen. Immer mehr Notärzte integrieren diese Technologie daher in ihre Einsatzroutine, da sie eine differenziertere prähospitaler Einschätzung ermöglicht und wichtige Hinweise für die Wahl der Zielklinik sowie für frühzeitige Interventionen liefert. In Düsseldorf gibt es bereits seit dem Jahr 2025 mobile BGA-Geräte auf zwei Notarzteinsetzfahrzeugen.

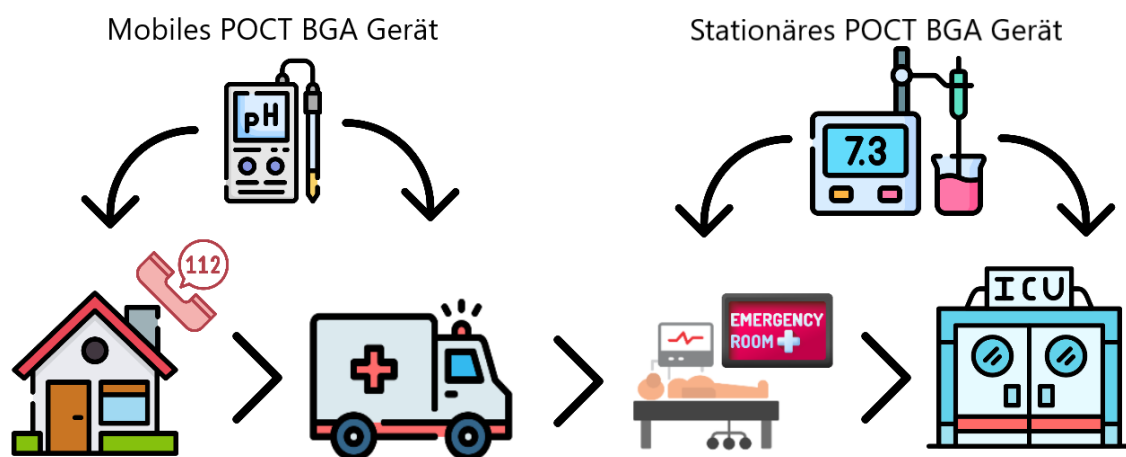


Abb. 5: Mögliche Einsatzbereiche der POCT-BGA-Diagnostik bei kritisch kranken Patienten von prähospital am Einsatzort, im Rettungswagen, im Schockraum der Notaufnahme, oder auf der

Intensivstation (ICU). [Eigene Abbildung erstellt mit Unterstützung von Paint3D (Microsoft). Die verwendeten Symbole wurden aus frei verfügbaren Symbolen von Flaticon (www.flaticon.com) entnommen].

1.13 Aktueller Forschungsstand

Obwohl es in den letzten Jahren eine Vielzahl an deskriptiven Studien zu nicht-traumatologischen Schockraumpatienten gegeben hat, darunter insbesondere die oben genannten OBSERvE- und OBSERvE-DUS-Studien, in denen Parameter des Säure-Basen-Haushalts (z.B. Laktat, Glukose) umfassend beschrieben wurden (12,13), fehlt bislang eine gezielte Untersuchung darüber, inwieweit diese Werte tatsächlich mit dem Mortalitätsrisiko verknüpft sind. Zwar lassen sich Zusammenhänge vermuten, doch systematische Analysen zur prädiktiven Aussagekraft einzelner oder kombinierter BGA-Parameter in Bezug auf das Überleben kritisch kranker nicht-traumatologischer Patienten fehlen bislang weitgehend.

1.14 Ziele der Arbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, alle verfügbaren Parameter der initial im Schockraum abgenommenen BGA-POCT-Parameter einer Blutgasanalyse (BGA) bei kritisch kranken, nicht-traumatologischen Patienten systematisch auszuwerten. Dabei werden neben klassischen Säure-Basen-Parametern wie pH, Kohlendioxid und Bikarbonat auch Elektrolyte (Natrium, Kalium, Calcium), Laktat, Glukose sowie Hämoglobinwerte berücksichtigt. Zudem werden schnell verfügbare Vitalwerte (Sauerstoffsättigung, Herzfrequenz, systolischer Blutdruck, Schockindex, Körpertemperatur) miteingeschlossen. Untersucht wird, ob bestimmte Ausprägungen dieser Werte mit der Sterblichkeit entweder bereits im Schockraum oder innerhalb der ersten 30 Tage nach Aufnahme in Verbindung stehen. Ziel ist es, frühe Hinweise auf ungünstige Verläufe zu identifizieren, die bereits bei der Erstversorgung zur Risikoeinschätzung durch die BGA herangezogen werden können. Durch die umfassende Analyse der verfügbaren BGA-POCT-Daten sollen potenzielle Parameter oder Muster erkannt werden, die als prädiktive Marker für die Prognose dienen können. Langfristig sollen die Ergebnisse dazu beitragen, die Schockraumversorgung gezielter zu steuern und kritische Verläufe frühzeitig zu erkennen.

Folgende Fragen sollten mit der Studie beantwortet werden:

1. Wie hoch ist die Prävalenz von Entgleisungen der schnell verfügbaren BGA-POCT-Parameter (Kalium, Natrium, ionisiertes Kalzium, Laktat, Glukose, Hämoglobin, pH, Bikarbonat $[\text{HCO}_3^-]$, Kohlendioxidpartialdruck $[\text{pCO}_2]$) bei initialer Abnahme bei Aufnahme kritisch kranker nicht-traumatologischer Patienten im Schockraum?

2. Besteht ein Zusammenhang zwischen Entgleisungen der schnell verfügbaren BGA-POCT-Parameter (Kalium, Natrium, ionisiertes Kalzium, Laktat, Glukose, Hämoglobin, pH, Bikarbonat $[\text{HCO}_3^-]$, Kohlendioxidpartialdruck $[\text{pCO}_2]$, Base Excess [BE]) bei Schockraumaufnahme und der Krankenhaus- sowie 30-Tage-Mortalität bei kritisch kranken nicht-traumatologischen Patienten?
3. Welche Bedeutung könnten Entgleisungen der schnell verfügbaren BGA-POCT-Parameter bei Schockraumaufnahme für die Einschätzung des Mortalitätsrisikos bei kritisch kranken nicht-traumatologischen Schockraumpatienten haben, und inwieweit könnten diese Parameter im klinischen sowie prähospitalen Setting zur Risikostratifizierung und Therapiepriorisierung eingesetzt werden?

1.15 Ethikvotum

Das Studienprotokoll wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf genehmigt (Nr. 2023-2535).

2 Publizierte Originalarbeit

Georgiev AS, Filla T, Dziegielewski J, Bandmann K, Kienbaum P, Distler J, Böhm L, Bernhard M, Michael M. Acidosis as a promising early indicator of mortality among point-of-care parameters and vital signs in non-traumatic critically ill patients. Scand J Trauma Resusc Emerg Med. 2025 May 14;33(1):86

DOI: 10.1186/s13049-025-01409-z.

Pubmed ID: 40369637

Impact Factor: 3.1 (Stand: 2024)

RESEARCH

Open Access



Acidosis as a promising early indicator of mortality among point-of-care parameters and vital signs in non-traumatic critically ill patients

Asen S. Georgiev¹, Tim Filla^{2,3}, Janina Dziegielewska¹, Katharina Bandmann¹, Peter Kienbaum⁴, Jörg Distler^{2,3}, Lennert Böhm¹, Michael Bernhard^{1*} and Mark Michael¹

Abstract

Background The management of critically ill patients, arriving at the emergency department (ED), requires structured care in critical care facilities, particularly in the resuscitation room. This study examines the significance of initial vital signs and blood gas analysis (BGA)-derived values as clinically useful early indicators of mortality risk in critically ill patients, both during in the resuscitation room care and within the following 30 days, with a focus on evaluating the individual predictive performance of accessible clinical parameters.

Methods We pooled data from two consecutive retrospective observational studies in a German university ED to analyze an unselected patient population of non-traumatic critically ill patients. Vital signs, such as heart rate, systolic blood pressure, and BGA values (including pH, bicarbonate, carbon dioxide, glucose, lactate, electrolyte levels) on admission to the ED, were used to estimate the impact on both resuscitation room and 30-day mortality.

Results In 1,536 critically ill patients, pH, lactate and bicarbonate were found to be potential predictors of resuscitation room mortality. In contrast, vital signs showed limited reliability in predicting outcomes. Of all tested variables, pH demonstrated the highest area under the curve (AUC) value among the analyzed markers for resuscitation room mortality (AUC 0.81 [95% CI 0.75–0.87]). However, the AUC of pH for 30-day mortality decreased to 0.64 ([0.6 – 0.68], indicating a complex interplay of factors influencing long-term outcome. A subgroup analysis based on pH showed a substantial increase in resuscitation room and 30-day mortality for patients with a pH below 7.2 as well as a second increase below 7.0.

Conclusion Our study highlights important parameters for the assessment of critically ill patients at ED admission that are helpful for formulating immediate medical decisions. Acidosis on the initial BGA appears to be a relevant prognostic marker for mortality in critically ill, non-traumatic patients and may aid in early risk assessment, regardless of the underlying condition. Early detection of acidosis could facilitate rapid decision-making and timely identification of patients requiring intensive care.

Keywords Acidemia, pH value, Blood gas analysis, Emergency care, Outcome

*Correspondence:
Michael Bernhard
Michael.Bernhard@med.uni-duesseldorf.de
Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s) 2025. **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated in a credit line to the data.

Introduction

Up to 15% of patients arriving at the emergency department (ED) fall within the highest two triage categories (red and orange, based on the 5 category Manchester triage system), requiring immediate allocation of medical resources [1]. Furthermore, several studies showed that 1.5–2.0% of all ED patients suffer from non-traumatic critically ill conditions and were treated in the resuscitation room [2, 3]. Although resuscitation room care might commonly be associated with patients who suffer from major trauma, in practice, non-traumatic critically ill patients are up to four times more prevalent [4]. Given the diverse and complex nature of non-traumatic critical conditions—including respiratory failure, circulatory shock, and altered consciousness—early prognostication is essential for optimizing patient management and resource allocation.

Though trauma patients also require assessments for the severity of their condition, the primary cause of trauma can often be rapidly identified through primary and secondary surveys often based on the standardized Advanced Trauma Life Support (ATLS) or ETC (European Trauma Course) methods [5, 6]. The extent of injuries is then further evaluated based on clinical necessity, including targeted imaging such as a full-body computed tomography (CT) scan when indicated. For many non-traumatic critically ill patients, the completion of diagnostics is usually required to identify the cause of the current critical conditions. These can span the entire spectrum of emergency medicine (e.g., respiratory failure, shock, cardiac arrest, reduced vigilance) [7], so that the initial clinical picture rarely is conclusive, as individual factors are often unclear (e.g. pre-existing conditions). Hence, in such emergency situations, decisions often need to be made in a universal setting without any prior medical history. In such high-stakes situations, clinicians must rely on immediate clinical assessments and objective parameters to estimate the severity of the patient's condition.

Given these challenges, assessing a critically ill patient's survival prospects upon arrival at the resuscitation room is crucial. Understanding the survival prospects of critically ill patients upon their arrival at the resuscitation room in an ED holds pivotal importance in guiding immediate medical interventions, resource allocation and the triage process. Rapid and informed decision-making is paramount for each critically ill non-traumatic patient.

Previous studies have emphasized the significance of markers like initial lactate and glucose levels in the resuscitation room, which serve as potential indicators for mortality risk across various admission reasons [8–10]. However, despite their valuable insight, there is a need

to comprehensively compare these markers with alternatives, like pH-value, to evaluate individual parameters for their potential as predictors of mortality in the resuscitation room. This exploratory analysis aims to evaluate the individual prognostic performance of traditional and “alternative” markers in this critical setting. Recognizing the most effective markers not only aids in risk stratification but also ensures that critically ill patients are identified at the earliest possible stage, allowing planning of adequate further care.

Furthermore, early detection of critically ill patients is vital for improving outcomes, as it facilitates timely admission to the intensive care unit (ICU) [11], where patients can receive the necessary intensive monitoring and intervention. Recognizing the severity of illness, clinicians can prevent delays in critical care, leading to improved survival rates in these high-risk populations. The aim of this investigation was to examine the significance of initial vital signs and blood gas analysis (BGA)-derived values as potential indicators of mortality risk in critically ill patients, both during in the resuscitation room care and within the following 30 days.

Methods

We analyzed the data of two consecutive retrospective, single-center observational studies [Observation of critically ill patients in the resuscitation room of the Emergency Department in Duesseldorf (OBSERvE-DUS 1 and 2)- studies] conducted from March 1, 2018 to February 29, 2020, set in the ED at the university hospital of Duesseldorf, Germany. The study protocol was approved by the Ethics Committee of the Medical Faculty of the Heinrich Heine University of Duesseldorf, Germany (Study Nr. 2023–2535).

Setting

The university hospital's service area encompasses the city of Duesseldorf, Germany, with approximately 650,000 residents. During the study period, about 45,000 patients were treated in the ED annually, of which approximately 60% presented non-traumatic acute diseases or emergencies. Critical care facilities include four specialized resuscitation rooms for the treatment of severely injured or critically ill patients, facilitating immediate intensive medical procedures such as airway management, mechanical ventilation, cardiovascular therapy, and invasive circulation monitoring. These interventions are concurrently recorded in the patient data management system (PDMS) by the treating ED physicians and nurses. Critically ill non-traumatic patients are treated in these resuscitation rooms by a team comprising two nurses, one resident physician, and one attending physician specialized in emergency and intensive

care, with other specialists brought in as needed and in accordance with national recommendations [12].

Study definitions and data collection

The objective of this study was to evaluate different parameters to determine which may serve as practical and universally applicable indicators of mortality risk in critically ill, non-traumatic patients. These parameters needed to be obtainable in every patient, regardless of the availability of clinical history, presenting symptoms, known pre-existing conditions, or ongoing medical interventions. Unlike scoring systems or complex calculations, which may introduce delays or require additional clinical input, the chosen parameters should be straightforward to interpret and applicable across all patient groups without discrimination. Most importantly, it should provide a direct estimation of the severity of a patient's condition by correlating with the probability of mortality, both during resuscitation room care and within 30 days of admission, thereby offering a rapid and actionable tool for early risk assessment in emergency settings.

All adult patients aged 18 and above, who were critically ill and non-traumatic, and were admitted to the ED resuscitation room, were enrolled. Epidemiological and medical care information had been previously anonymized and collected in the OBSERvE-DUS 1 and 2 studies (data published partially elsewhere [3], data from OBSERvE-DUS 2 study not published) using the PDMS (COPRA®, COPRA System GmbH, Berlin, Germany) and hospital information system (MEDICO®, Cerner Deutschland GmbH, Itstein, Germany) through database querying, and were subsequently transferred to a spreadsheet program (Microsoft® Office 365, version 16.37, Microsoft Corporation, Redmond, USA). In compliance with data protection regulations under the German Data Protection Regulation (DSGVO) and adherence to Good Clinical Practice (GCP) guidelines, only anonymized data was analyzed so that individual patients could not be identified.

Patients were included in this study via a step-by-step identification process involving treatment in one of the four accessible resuscitation rooms, meeting at least one criterion from our resuscitation room admission list [systolic blood pressure (SBP) <90 mmHg or oxygen saturation (SpO₂) <90% or Glasgow coma scale (GCS) <15 points)] [13], and manual review of medical records. Detailed information on data collection as well as inclusion and exclusion criteria can be found in the OBSERvE-DUS 1 and 2 studies (3). This resulted in an inclusion of a total of 1,536 individuals. Of note, 275 patients had missing data about 30-day survival due to transfer to another hospital or prior discharge with no information about their future status. For this reason, the patient cohort for

the 30-day mortality consisted of 1261 patients. Notably, the patients who did not survive the resuscitation room care were included in the cohort of patient who did not survive 30 days after admission, since they were considered “admitted” at their arrival at the resuscitation room.

The evaluation chart of the ED resuscitation room encompassed anthropometric characteristics such as age, gender, weight, and height. Triage categorization and vital signs upon ED admission in the resuscitation room [e.g., SBP (in mmHg), heart rate (HR) (x/min), respiratory rate (RR) (x/min), level of consciousness measured using GCS (points), and SpO₂ (%)] were documented. As part of the routine resuscitation room protocol, the first blood gas analysis (BGA)—including the admission blood lactate and electrolyte level—was documented (blood gas analyzer: ABL800 FLEX XQ, Radiometer Medical ApS, Bronshøj, Denmark). Of note, the blood gas analyzer performed the calculations using a standard temperature of 37 degrees Celsius (98.6 degrees Fahrenheit). In total 335 of the BGAs were arterial, since studies have shown no distinction between arterial and venous BGA for the parameters of interest [14, 15], venous and arterial BGAs were combined. Furthermore, no follow up BGAs or other parameters were taken into account. Primary ABCDE (airway, breathing, circulation, disability, environment) problem was derived from the Emergency Medical Service (EMS) protocol and are shown in Tables 1 and 2. The final diagnoses were grouped in the following seven main categories according to the systematic of the previously published OBSERvE studies (3) abdominal emergencies, cardiovascular emergencies, metabolic disorders, neurological emergencies, pulmonary emergencies, sepsis/infection and other emergencies and the subsequent subgroups as shown in Table 3. The diagnoses were obtained from the discharge papers. For the patients who did not survive, the most likely cause of death was taken. Of note, patients with a diagnosis of STEMI already during the pre-hospital care were taken directly to our cardiac catheterization laboratory. Diagnosis of STEMI in our resuscitation room was included into the analysis as it was initially treated there before going to the catheter lab. Due to initial misdiagnosis, a very small number of trauma patients (0.2% of the whole patient population) were included as they were initially treated as critically ill non-traumatic patients.

From this data, we selected several quantifiable parameters and correlated them to patients' outcome. Parameters were chosen based on the speed and ubiquity of their availability (within 15 min of admission to the resuscitation room; available in >90% of patients). They included anthropomorphic characteristics (gender, age), vital signs (HR, SBP, SpO₂), and BGA parameters [pH-value, lactate, bicarbonate (HCO₃), glucose, hemoglobin

Table 1 Patient's characteristics, vital signs, and blood gas analysis of resuscitation room survivors and non-survivors

Number of patients [n, (%)]	Overall 1,536 (100.0)	Non-survivor 67 (4.4)	Survivor 1,469 (95.6)	p-value
Patient's characteristics (MV $\pm$ SD)				
Age (years)	69.7 $\pm$ 16.2	75.6 $\pm$ 13.1	69.5 $\pm$ 16.3	0.003
Sex, female [n, (%)]	717 (46.7)	32 (47.8)	685 (46.6)	0.847
Weight (kg)	78.5 $\pm$ 22.3	77.9 $\pm$ 18.1	78.5 $\pm$ 22.4	0.829
BMI (points)	25.0 $\pm$ 7.2	23.2 $\pm$ 4.6	25.0 $\pm$ 7.2	0.043
ABCDE problems [n, (%)]				
A (airway)	34 (2.2)	0 (0.0)	34 (2.3)	0.210
B (breathing)	398 (25.9)	16 (23.9)	382 (26.0)	0.701
C (circulation)	459 (29.9)	44 (65.7)	415 (28.3)	< 0.001
D (disability)	606 (39.5)	4 (6.0)	602 (41.0)	< 0.001
E (environment)	39 (2.5)	3 (4.5)	36 (2.5)	0.313
Vital signs admission [MV $\pm$ SD]				
Systolic blood pressure (mmHg)	129.9 $\pm$ 44.5	104.1 $\pm$ 41.6	130.7 $\pm$ 44.3	< 0.001
Heart rate (bpm)	95.7 $\pm$ 31.5	96.8 $\pm$ 34.3	95.7 $\pm$ 31.4	0.780
Shock index (bpm/mmHg)	0.9 $\pm$ 0.5	1.0 $\pm$ 0.6	0.8 $\pm$ 0.5	0.002
Oxygen saturation (%)	93.9 $\pm$ 7.2	89.9 $\pm$ 12.0	94.0 $\pm$ 6.9	< 0.001
Respiratory rate (min ⁻¹)	21.4 $\pm$ 10.1	32.3 $\pm$ 27.9	21.0 $\pm$ 8.5	< 0.001
Glasgow coma score (points)	11.0 $\pm$ 4.8	6.8 $\pm$ 5.1	11.1 $\pm$ 4.7	< 0.001
Temperature tympanal (°C)	36.2 $\pm$ 1.5	35.4 $\pm$ 2.5	36.3 $\pm$ 1.4	< 0.001
BGA parameters [MV $\pm$ SD]				
pH	7.31 $\pm$ 0.15	7.09 $\pm$ 0.25	7.32 $\pm$ 0.14	< 0.001
pCO ₂ (mmHg)	48.7 $\pm$ 19.8	66.1 $\pm$ 30.9	47.9 $\pm$ 18.8	< 0.001
HCO ₃ ⁻ (mmol/l)	21.8 $\pm$ 5.6	16.4 $\pm$ 10.1	22.1 $\pm$ 5.2	< 0.001
Hemoglobin (g/dl)	12.9 $\pm$ 2.7	11.8 $\pm$ 2.2	12.9 $\pm$ 2.8	0.002
Lactate (mmol/l)	3.5 $\pm$ 3.6	9.2 $\pm$ 6.4	3.3 $\pm$ 3.2	< 0.001
Glucose (mg/dl)	182.8 $\pm$ 114.7	256.0 $\pm$ 169.8	179.7 $\pm$ 110.8	< 0.001
Na ⁺ (mmol/l)	138.6 $\pm$ 6.3	139.3 $\pm$ 8.6	138.6 $\pm$ 6.2	0.376
K ⁺ (mmol/l)	4.4 $\pm$ 1.0	5.1 $\pm$ 2.2	4.3 $\pm$ 0.9	< 0.001
Ca ²⁺ (mmol/l)	1.2 $\pm$ 0.1	1.2 $\pm$ 0.1	1.2 $\pm$ 0.1	1.000
Procedures [n, (%)]:				
catecholamine	465 (30.3)	41 (61.2)	424 (28.9)	< 0.001
cardiopulmonary resuscitation	96 (6.2)	41 (61.2)	55 (3.7)	< 0.001

BGA Blood gas analysis, **MV** Mean value, **SD** Standard deviation, **BMI** Body mass index, **mmHg** millimeter(s) of mercury, **bpm** beats per minute, **pCO₂** partial pressure of carbon dioxide, **HCO₃⁻** bicarbonate, **Na⁺** sodium, **K⁺** potassium, **Ca²⁺** calcium

(Hb), sodium (Na⁺), potassium (K⁺), calcium (Ca²⁺)). Tympanic temperature, GCS and respiratory rate were initially included in the cohort description but ultimately excluded as potential prognostic parameters due to their absence in more than 10% of patient data.

Furthermore, even though it is primarily used for assessment of hemorrhagic shock in trauma patients, we added the so-called "shock index (SI)" as a variable and derived it by dividing patients' HR by their SBP. The use of catecholamines or cardiopulmonary resuscitation (CPR) was not taken into account in the analysis. Diastolic blood pressure and diastolic shock index were omitted from our analysis as we considered SBP and SI to be

more representative of a patient's hemodynamic status in the acute setting.

As mentioned in the study definition above, we did not exclude patients based on additional variables such as presenting symptoms, pre-existing medical conditions, specific diagnoses, pre-hospital interventions, or underlying metabolic disturbances, including different types of acidosis. By maintaining an inclusive approach, we aimed to reflect real-world clinical scenarios in which critically ill patients present with undifferentiated conditions requiring immediate intervention. In line with this approach, we did not differentiate between SARS-CoV-2 positive and negative patients.

Table 2 Patient's characteristics, vital signs, and blood gas analysis of critically ill patients on 30-day survival

Number of patients [n, (%)]	Overall 1,261 (100.0)	Non-survivor 297 (23.6)	Survivor 964 (76.4)	p-value
Patient's characteristics (MV $\pm$ SD)				
Age (years)	69.6 $\pm$ 16.4	74.9 $\pm$ 13.9	67.9 $\pm$ 16.8	< 0.001
Sex, female [n, (%)]	585 (46.4%)	139 (46.8%)	446 (46.3%)	0.880
Weight (kg)	78.5 $\pm$ 21.8	75.6 $\pm$ 20.7	79 $\pm$ 22	0.0184
BMI (points)	25.1 $\pm$ 7	23.7 $\pm$ 5.7	25.6 $\pm$ 7.2	< 0.001
ABCDE problems [n, (%)]				
A (airway)	34 (2.7%)	4 (1.3%)	30 (3.1%)	0.093
B (breathing)	294 (23.3%)	62 (20.9%)	232 (24.1%)	0.255
C (circulation)	409 (32.4%)	128 (43.1%)	281 (29.1%)	< 0.001
D (disability)	492 (39.0%)	96 (32.3%)	396 (41.1%)	0.007
E (environment)	32 (2.5%)	7 (2.4%)	25 (2.6%)	0.710
Vital signs admission (MV $\pm$ SD)				
Systolic blood pressure (mmHg)	129.8 $\pm$ 44.5	116.3 $\pm$ 47.2	133.5 $\pm$ 43	< 0.001
Heart rate (bpm)	96 $\pm$ 32.8	98.8 $\pm$ 30.3	95.3 $\pm$ 33.4	0.107
Shock index (bpm/mmHg)	0.85 $\pm$ 0.48	1.02 $\pm$ 0.57	0.81 $\pm$ 0.45	< 0.001
Oxygen saturation (%)	93.9 $\pm$ 7.3	92.6 $\pm$ 8.6	94.2 $\pm$ 6.9	0.001
Respiratory rate (min ⁻¹)	21.4 $\pm$ 10.4	23.8 $\pm$ 15.4	20.8 $\pm$ 8.4	< 0.001
Glasgow coma score (points)	11.1 $\pm$ 4.8	8.46 $\pm$ 5.0	11.8 $\pm$ 4.4	< 0.001
Temperature tympanal (°C)	36.2 $\pm$ 1.5	35.9 $\pm$ 1.9	36.3 $\pm$ 1.4	< 0.001
BGA parameters (MV $\pm$ SD)				
pH	7.31 $\pm$ 0.15	7.24 $\pm$ 0.21	7.34 $\pm$ 0.12	< 0.001
pCO ₂ (mmHg)	48 $\pm$ 19.3	51.4 $\pm$ 23.4	47 $\pm$ 17.7	< 0.001
HCO ₃ ⁻ (mmol/l)	21.6 $\pm$ 5.6	19.2 $\pm$ 7.3	22.3 $\pm$ 4.8	< 0.001
Hemoglobin (g/dl)	12.8 $\pm$ 2.8	12.4 $\pm$ 2.7	12.9 $\pm$ 2.8	0.007
Lactate (mmol/l)	3.7 $\pm$ 3.7	6.1 $\pm$ 5.3	2.9 $\pm$ 2.7	< 0.001
Glucose (mg/dl)	182.1 $\pm$ 113.1	204.2 $\pm$ 126.3	175.7 $\pm$ 108.0	< 0.001
Na ⁺ (mmol/l)	138.6 $\pm$ 6.3	138.8 $\pm$ 8.1	138.5 $\pm$ 5.7	0.476
K ⁺ (mmol/l)	4.4 $\pm$ 1	4.6 $\pm$ 1.4	4.3 $\pm$ 0.8	< 0.001
Ca ²⁺ (mmol/l)	1.2 $\pm$ 0.1	1.2 $\pm$ 0.1	1.2 $\pm$ 0.1	1.000
Procedures [n, (%)]:				
catecholamine	358 (28.4%)	152 (51.2%)	206 (21.4%)	< 0.001
cardiopulmonary resuscitation	84 (6.7%)	68 (22.9%)	16 (1.7%)	< 0.001

BGA Blood gas analysis, MV Mean value, SD Standard deviation, BMI Body mass index, mmHg millimeter(s) of mercury, bpm beats per minute, pCO₂ partial pressure of carbon dioxide, HCO₃⁻ bicarbonate, Na⁺ sodium, K⁺ potassium, Ca²⁺ calcium

Statistical analysis and subgroup definition

In the cohort description, descriptive statistics were provided as absolute numbers, while proportions were used for binary and nominal covariates. For continuous covariates, mean and standard deviation were used. To assess the predictive power on resuscitation room and 30-day mortality, the area under the curve (AUC) with 95% bootstrap confidence intervals (CI) was independently calculated for each variable. These included nine blood gas analysis-derived values, along with age, gender, SBP, heart rate, shock index, and oxygen saturation as independent variables. The outcomes were either resuscitation room mortality or 30-day mortality (yes/no). This study did not include formal statistical comparison of

AUC values (e.g., DeLong test), as the primary aim was to explore individual parameter performance rather than establish definitive ranking. Given the exploratory nature of the study and the high likelihood of multicollinearity among several parameters, we chose not to perform multivariable logistic regression, as it may have produced unstable estimates and limited interpretability. Furthermore, gray-zone analysis (90% sensitivity, specificity) was calculated for each. For each clinical marker, the optimal cutoff point for survival decision-making was determined by maximizing the Youden-index where sensitivity and specificity were equally weighted. In order to gain a more detailed understanding of how pH is related to resuscitation room or 30-day mortality, the mortality rate with

Table 3 Summary of final diagnoses for critically ill non-traumatic patients by resuscitation room and 30-day outcomes

Final Diagnosis:	Total		Res-Surv		Non-Res-Surv		30 d-Surv		Non-30 d-Surv	
Absolute/Percentage:	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Abdominal Emergencies	73	4.8	70	4.6	3	0.2	41	3.3	23	1.8
Bowel Ischemia	7	0.5	7	0.5	0	0.0	2	0.2	5	0.4
Gastrointestinal Bleeding	41	2.7	39	2.5	2	0.1	26	2.1	11	0.9
Ileus (Intestinal Obstruction)	1	0.1	1	0.1	0	0.0	0	0.0	1	0.1
Other Emergencies	24	1.6	23	1.5	1	0.1	13	1.0	6	0.5
Cardiovascular Emergencies	398	25.9	355	23.1	43	2.8	249	19.7	108	8.6
Ruptured Aortic Aneurysm	5	0.3	5	0.3	0	0.0	1	0.1	3	0.2
Cardiac Arrest	104	6.8	71	4.6	33	2.1	33	2.6	59	4.7
Hypertensive Emergency	18	1.2	18	1.2	0	0.0	16	1.3	0	0.0
Hypotension	6	0.4	6	0.4	0	0.0	5	0.4	1	0.1
Cardiac Decompensation	90	5.9	89	5.8	1	0.1	65	5.2	12	1.0
Cardiogenic Shock	36	2.3	32	2.1	4	0.3	13	1.0	20	1.6
Pulmonary Embolism	15	1.0	13	0.8	2	0.1	9	0.7	5	0.4
Pulmonary Edema	19	1.2	18	1.2	1	0.1	15	1.2	1	0.1
Myocardial Infarction	12	0.8	10	0.7	2	0.1	5	0.4	4	0.3
Arrhythmia	84	5.5	84	5.5	0	0.0	81	6.4	1	0.1
Other Emergencies	3	0.2	3	0.2	0	0.0	3	0.2	0	0.0
Thrombosis	1	0.1	1	0.1	0	0.0	1	0.1	0	0.0
Type A Aortic Dissection	5	0.3	5	0.3	0	0.0	2	0.2	2	0.2
Metabolic Disorders	61	4.0	60	3.9	1	0.1	43	3.4	8	0.6
Acute Kidney Failure	6	0.4	6	0.4	0	0.0	3	0.2	2	0.2
Electrolyte Imbalance	12	0.8	11	0.7	1	0.1	6	0.5	4	0.3
Hepatic Encephalopathy	8	0.5	8	0.5	0	0.0	5	0.4	1	0.1
Hyperglycemia	18	1.2	18	1.2	0	0.0	14	1.1	0	0.0
Hypoglycemia	7	0.5	7	0.5	0	0.0	7	0.6	0	0.0
Cardiorenal Syndrome	10	0.7	10	0.7	0	0.0	8	0.6	1	0.1
Neurological Emergencies	495	32.2	490	31.9	5	0.3	316	25.1	86	6.8
Idiopathic Parkinson's Syndrome	1	0.1	1	0.1	0	0.0	1	0.1	0	0.0
Intracerebral Hemorrhage	79	5.1	76	4.9	3	0.2	26	2.1	43	3.4
Ischemia	306	19.9	305	19.9	1	0.1	216	17.1	31	2.5
Seizure	96	6.3	95	6.2	1	0.1	70	5.6	4	0.3
Meningitis	3	0.2	3	0.2	0	0.0	0	0.0	3	0.2
Altered mental status	6	0.4	6	0.4	0	0.0	3	0.2	1	0.1
Cerebral Hypoxia	1	0.1	1	0.1	0	0.0	0	0.0	1	0.1
Cerebral Mass	3	0.2	3	0.2	0	0.0	0	0.0	3	0.2
Pulmonary Emergencies	117	7.6	113	7.4	4	0.3	78	6.2	9	0.7
COPD	112	7.3	108	7.0	4	0.3	74	5.9	8	0.6
Pneumothorax	4	0.3	4	0.3	0	0.0	4	0.3	0	0.0
Pulmonary Bleeding	1	0.1	1	0.1	0	0.0	0	0.0	1	0.1
Sepsis/Infection	266	17.3	256	16.7	10	0.7	149	11.8	52	4.1
Foreign Body Infection	2	0.1	2	0.1	0	0.0	2	0.2	0	0.0
Pneumonia	186	12.1	180	11.7	6	0.4	97	7.7	40	3.2
Unclear	15	1.0	12	0.8	3	0.2	7	0.6	5	0.4
Urosepsis	56	3.6	55	3.6	1	0.1	38	3.0	5	0.4
Soft Tissue Infection	7	0.5	7	0.5	0	0.0	5	0.4	2	0.2
Other Emergencies	126	8.2	125	8.1	1	0.1	88	7.0	11	0.9
Anaphylaxis	29	1.9	29	1.9	0	0.0	29	2.3	0	0.0
Acute Bleeding	6	0.4	6	0.4	0	0.0	6	0.5	0	0.0

Table 3 (continued)

Final Diagnosis:	Total		Res-Surv		Non-Res-Surv		30 d-Surv		Non-30 d-Surv	
Absolute/Percentage:	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Dehydration	3	0.2	3	0.2	0	0.0	3	0.2	0	0.0
Hyperthermia	2	0.1	2	0.1	0	0.0	2	0.2	0	0.0
Hypothermia	5	0.3	4	0.3	1	0.1	2	0.2	2	0.2
Intoxication	62	4.0	62	4.0	0	0.0	37	2.9	4	0.3
Pressure Ulcer	5	0.3	5	0.3	0	0.0	2	0.2	1	0.1
Mental Disorder	1	0.1	1	0.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Other Emergencies	10	0.7	10	0.7	0	0.0	5	0.4	3	0.2
Traumatic injury	3	0.2	3	0.2	0	0.0	2	0.2	1	0.1
Grand Total	1536	100.0	1469	95.6	67	4.4	964	76.4	297	23.6

Res-Surv Survivors of resuscitation room treatment, *Non-Res-Surv* Non-survivors of resuscitation room treatment, *30 d-Surv* survivors 30 days after resuscitation room treatment, *Non-30-Surv* non survivors 30 days after resuscitation room treatment

exact 95% CI was calculated for specific pH categories. All statistical analyses were performed using R version 4.2 [16] and illustrations were created using DataGraph (Version 4.6.1, Visual Data Tool Inc., Chapel Hill, NC, USA).

We divided the whole study population into the following subgroups: resuscitation room survivors (Res-Surv) vs. resuscitation room non-survivors (Non-Res-Surv), as well as 30-day survivors (30 d-Surv) vs. 30-day non-survivors (Non-30 d-Surv). Furthermore, we divided the patients into eight different groups based on their pH-value (Table 4).

Results

The patient cohort had a mean age of 69.7 ± 16.2 years, with 46.7% being female. Anthropometric characteristics, vital signs, and results of BGA upon ED admission were detailed in Tables 1 and 2. The mortality rate in the resuscitation room was 4.4%. The vital signs of Non-Res-Surv showed statistically significant differences to the Res-Surv group, specifically, for the parameters SBP, SpO₂, and RR (Table 1). In comparison to

Res-Surv group patients, Non-Res-Surv group patients had lower pH and HCO₃ levels, and higher pCO₂, lactate, and glucose levels (Table 1).

Of the patients with available survival outcome data on day 30, 23.6% did not survive to 30 days. The vital signs of the Non-30 d-Surv also notably differed from the 30 d-Surv (Table 2). Among Non-30 d-Surv group patients, RR, HR, pCO₂, lactate, and glucose levels were higher, whereas SBP, SpO₂, tympanic temperature, pH, and bicarbonate levels were lower compared to the 30 d-Surv group (Table 2).

The AUC values for the different parameters for resuscitation room treatment mortality are described in Fig. 1. Of all markers, the variables with the highest AUC value were pH-value (AUC: 0.81, 95% CI: 0.75–0.87), lactate (AUC: 0.77, 95% CI: 0.69–0.85), and bicarbonate (AUC: 0.74, 95% CI: 0.66–0.83). In comparison, the AUC value of these three markers for 30-day mortality prediction was lower, with no values over 0.7 (Fig. 1). Nevertheless, the AUC value of these markers was still the highest overall, with lactate having the highest AUC (0.69, 95% CI: 0.65–0.73), followed

Table 4 Probability of dying in the resuscitation room and within 30 days based on pH value

pH value	Prevalence in resuscitation room (%)	Probability dying resuscitation room (% 95% CI)	Probability dying within 30 days (% 95% CI)
< 6.80	1.2	47.1 (25.4–69.7)	94.1 (75.6–99.0)
6.80–6.99	3.3	21.3 (11.5–34.5)	48.6 (33.2–64.0)
7.00–7.09	3.8	7.4 (2.6–16.7)	37.8 (24.7–52.0)
7.10–7.19	8.3	12.7 (7.6–19.6)	39.8 (30.3–50.0)
7.20–7.29	16.2	3.9 (2.0–7.0)	28.2 (22.0–35.0)
7.30–7.39	40.4	1.4 (0.7–2.6)	15.8 (12.8–19.0)
7.40–7.49	23.3	1.2 (0.4–2.8)	18.7 (14.3–24.0)
> 7.50	3.5	0.0 (0.0–4.9)	12.5 (4.9–25.0)

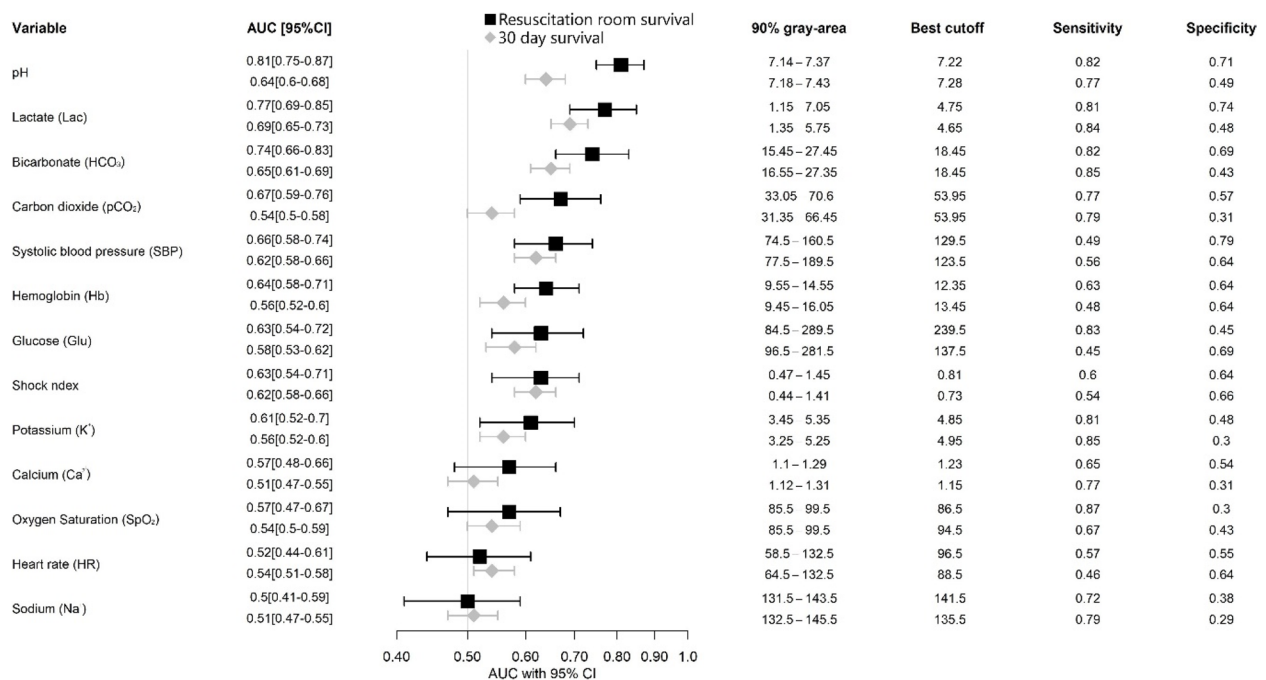


Fig. 1 Forest plot for survival of resuscitation room and 30-day survival, including the AUC value with a 95% confidence interval as well as a 90% gray area and the optimal cutoff point (determined by using Youden index and with their sensitivity and specificity values respectively)

by bicarbonate (0.65, 95% CI: 0.61–0.69) and pH-value (0.64, 95% CI: 0.6–0.68).

The 90% gray-area in Fig. 1 represents the range of values where the predictive ability of each parameter is most uncertain. This interval highlights the overlap between survival and non-survival groups, indicating reduced discriminatory power within this range. For example, the pH-value's 90% gray-area spans 7.14 to 7.37, meaning that while values outside this range are more predictive, those within it provide less certainty in distinguishing outcomes. Similarly, lactate (1.15–7.05) and bicarbonate (15.45–27.45) exhibit broad gray areas, reflecting variability in their predictive performance. Additionally, the best cutoff values for these markers indicate the optimal thresholds for distinguishing between survival and non-survival with equal importance given to both specificity and sensitivity. The best cutoff for pH is 7.22, with a sensitivity of 0.82 and specificity of 0.71, indicating its potential as a clinically relevant predictor of mortality. Lactate's optimal cutoff of 4.75 (sensitivity 0.81, specificity 0.74) and bicarbonate's cutoff of 18.45 (sensitivity 0.82, specificity 0.69) further reinforce their relevance in resuscitation room mortality prediction, serving as valuable clinical decision points.

For the pH-subgroup analysis, two groups (7.30–7.39 and 7.40–7.49) were considered to represent normal pH-value ranges and, as expected, did not differ considerably concerning the mortality rate (resuscitation room 1.4%

for 7.30–7.39 vs. 1.2% for 7.40–7.49, and 30-day 15.8% for 7.30–7.39 vs. 18.7% for 7.40–7.49) (Table 4). As pH decreased, both resuscitation room mortality as well as 30-day mortality increased (Table 4). One exception was seen in the group 7.00–7.09, which had a similar outcome to the group 7.10–7.19 in resuscitation room mortality with 7.4% (95% CI: 2.6–16.7%) and 12.7% (95% CI: 7.6–19.6%) respectively, as well as 30-day mortality with 37.8% (95% CI: 24.7–52.0%) and 39.8% (95% CI: 30.3–50.0%), respectively. The group with a pH lower than 6.80 had the highest mortality, with resuscitation room mortality at 47.1% and 30-day mortality at 94.1%. Alkalosis (pH > 7.50) did not show a worse outcome than the normal range, but the comparison is limited due to the relatively low proportion (3.5% of the cohort) of patients in the alkalosis group.

Discussion

This retrospective analysis of data from two observational studies conducted at the university hospital of Duesseldorf, Germany, with a patient cohort of more than 1,500 patients aimed to evaluate the predictive power of various clinical and laboratory parameters in assessing mortality risk among critically ill non-traumatic patients in the resuscitation room. The evaluation of this data offers important first insights into critically ill non-traumatic patient prognosis, independent of external variables such

as presenting symptoms, suspected diagnosis, patient characteristics, or preexisting conditions.

Existing research has already examined the performance of several predictive tools, usually in the form of scores, such as quick sequential organ failure assessment (qSOFA) [17], rapid emergency medicine score (REMS) [18, 19], rapid acute physiology score (RAPS) [19], and modified early warning score (MEWS) [20], which are able to predict the mortality of different populations of critically ill non-traumatic patients, with varying degrees of success. However, these scores are primarily limited to vital signs and level of consciousness, because these objective patient characteristics are usually immediately discernible. In recent years, the increased availability in hospital resuscitation rooms of point-of-care BGA, including blood electrolytes, offers a potential addition beyond the vital signs for patients' risk assessment. Studies on the potential prognostic value of initial blood glucose [9] and lactate [10, 21] levels of critically ill non-traumatic patients have already shown promising results, solidifying these markers as 'red flags' in the context of resuscitation room medical care.

Our findings support previous research on lactate [10] with corroborating evidence that high lactate levels correlate with increased mortality, both in the resuscitation room and within the 30-day period following ED admission. Bicarbonate, which is directly linked to acid–base balance, also shows promising results with a solid AUC value of 0.74 (95% CI: 0.66–0.83) for resuscitation room mortality.

Acidosis, measured by a patient's blood pH value, has already shown promising results as a predictive marker for mortality in intensive care patients [22]. In the ED setting, data points to increased mortality in patients with acidosis [23] and research already exists on patients with extreme acidosis (pH < 6.9) on admission to the ED, showing that they can survive extreme acidosis [24, 25], though it remains unclear if the mortality continuously increases with decrease of pH. In our retrospective analysis, the notably high AUC value for pH of 0.81 (95% CI: 0.75–0.87) highlights its potential prognostic utility for mortality during initial treatment in resuscitation room scenarios. The ROC analysis demonstrated that both pH and lactate showed promise as a prognostic indicator for short-term mortality, reflecting their physiological significance as indicators of cellular dysfunction and metabolic derangement. However, this study did not aim to establish the superiority of one parameter over the other but rather to highlight their individual prognostic value. Given the critical nature of early decision-making in the resuscitation room, recognizing both markers as independent predictors allows for greater clinical flexibility in assessing patient severity. A formal statistical comparison

between pH and lactate could provide further insight into their relative predictive strengths and represents a potential direction for future research. Ongoing research into the dynamic role of pH in resuscitation room treatments, including its potential interactions with concurrent treatments and immediate post-resuscitation complications, presents a promising avenue for further investigation. Enhancing the predictive precision of pH, alongside complementary markers, might greatly aid in triage decisions and optimizing emergency care interventions for improved immediate survival outcomes.

In contrast, while pH values remain a key parameter for predicting resuscitation room mortality, their predictive ability over a period of 30 days is less pronounced, indicating a more complex interplay of factors influencing survival beyond the immediate resuscitation phase. Understanding the evolving nature of pH's prognostic value over a 30-day period, while taking into account potential influences of ongoing treatment effects or post-resuscitation complications, offers a direction for further investigation. By integrating dynamic variables and considering the evolving patient status, the predictive utility of pH could be strengthened for extended prognostication in emergency care settings. However, a more comprehensive analysis involving larger cohorts and extensive clinical data is warranted to further understand the precise role of pH in predicting 30-day mortality following initial resuscitation.

The predictive value of pH as a mortality indicator may be time-dependent, with its prognostic strength diminishing as a patient progresses beyond the initial critical phase. Studies suggest that early changes in pH levels, particularly within the first 24 h of ICU admission, can serve as reliable indicators of patient outcomes. For instance, research has shown that the rate of pH change over time correlates with mortality risk, emphasizing the importance of early metabolic assessment [25]. However, this time-dependent degradation does not affect resuscitation room mortality, as pH is measured at the earliest stage of emergency care when its predictive value is most pronounced. This underscores the role of early pH assessment as a rapid, actionable tool for evaluating the severity of critically ill patients upon ED admission, even if its long-term prognostic accuracy may decline over time.

Certain conditions, such as but not limited to diabetic ketoacidosis (DKA) and lactic acidosis, may have different prognostic outcomes due to their distinct pathophysiological mechanisms and response to treatment. DKA, for instance, is characterized by severe metabolic acidosis with profound alterations in pH, yet with timely intervention, it generally has a lower mortality rate compared to other forms of critical illness. In contrast, lactic acidosis often reflects systemic hypoperfusion and is frequently

associated with conditions such as sepsis or cardiogenic shock, which carry a clinically relevant higher mortality risk. However, our study focused on the initial phase of emergency care, where such specific diagnoses may not yet be clearly established. Upon arrival in the resuscitation room, critically ill patients present with undifferentiated metabolic and hemodynamic abnormalities, and early decision-making is guided primarily by initial vital signs and metabolic parameters rather than definitive diagnoses, especially when further information about the patient, like previous medical history, is absent. The immediate priority in this setting is stabilization and rapid intervention, regardless of the underlying etiology.

Dividing the non-traumatic critically ill patients into subgroups proved fruitful, as marked differences in mortality rates were observed between groups. A dip of pH below 7.20 notably correlates with escalated mortality rates (Table 4), emphasizing the urgency of prompt intervention, such as volume resuscitation and repletion of potassium deficits in the appropriate cases (e.g., expected intracellular potassium shift after treatment of diabetic ketoacidosis) [26].

In the ED, the focus on pH proves to be pivotal. Elevated pH values above 7.50 do not correlate with worse survival prognosis compared to normal ranges (exact percentage points shown in Table 4), hinting at a different pattern of response or adaptation. However, the pronounced association between lowered pH and escalated mortality highlights the urgency of promptly addressing acidosis. The clinical significance lies in recognizing the threshold levels (pH-value <7.20; <7.00) where mortality sharply increases and necessitates immediate intervention strategies. Still, the clinical application remains contingent upon considering other concurrent factors and their interplay with pH-value.

While a combination of variables, such as pH and lactate, may enhance prognostic accuracy, it would also complicate the initial assessment of a patient's condition in the resuscitation room. Early evaluation in critically ill patients must be rapid and straightforward to avoid delays in critical interventions. Introducing multiple parameters for mortality estimation could result in additional loss of valuable time and increase the risk of miscalculations, particularly in the high-pressure environment of initial stabilization. In contrast, relying on a single, readily available parameter minimizes the risk of human error and allows for immediate interpretation, ensuring that clinical decisions can be made swiftly and efficiently. Furthermore, the type of acidosis – respiratory or metabolic, lactic or alactic may provide the same benefit. From our perspective the advantage of evaluating the pH level, without any further context can provide physicians with an immediate educated “gut feeling” about the

severity of the patient in such a stressful, quickly progressing setting such as resuscitation room care. Still, further research of more complex estimates of mortality of non-traumatic, critically ill patients in the resuscitation room or within 30 days, would undoubtedly provide benefits regarding urgent patient care.

Furthermore, our findings could potentially be valuable for healthcare settings that utilize point-of-care testing for blood analysis, as they offer a practical approach to identifying critically ill patients early. By recognizing key prognostic markers such as pH, healthcare providers across various sectors could promptly initiate or escalate emergency medical care, ensuring timely interventions for high-risk patients.

Limitations

One limitation of this study is its monocentric nature, having been conducted within a tertiary care hospital setting, as this setting might not represent the broader spectrum of the average population. Tertiary care hospitals often attract and handle more severe or complex cases including resuscitation/post-resuscitation care, potentially skewing the dataset towards more critical conditions. As a result, the extrapolation of these findings to more diverse or less critical patient populations seen in different healthcare settings might be limited. Thus, while the study provides important insights, its monocentric design within a specialized care facility needs consideration when applying its findings to broader healthcare contexts.

Given the broad scope of assessed variables and the complexity of potential interactions between them, this study should be considered exploratory in nature. While the findings provide valuable insights into early prognostic markers, they do not establish causal relationships but rather highlight associations that may warrant further investigation in future studies. Moreover, an interaction effect analysis or exploration of non-linear relationships between the different parameters was not performed. While such an analysis could provide deeper insights into potential interdependencies between variables, our has a relatively low number of patients who did not survive both the resuscitation room treatment and the following 30 days. This restricted the statistical power needed for robust interaction effect analysis. Future studies with larger cohorts and a higher number of events would be better suited to investigate these potential interactions and their implications for patient outcomes.

Furthermore, pre-hospital and in-hospital life-saving emergency interventions such as resuscitation, catecholamine use, and invasive airway management have not been taken into account in this analysis, and their impact on the predictive value of the above-mentioned

parameters therefore remains unexplored. Other limitations include small sample sizes of the non-survivor subgroups that originate from the scarcity of individuals who do not survive resuscitation room interventions, which constitute only a minute fraction of the overall patient population. Similarly, there exists a relatively low proportion of patients presenting with exceedingly low pH values, further constraining the available pool for analysis. Therefore, the uneven distribution of patients across pH ranges limits the generalizability of outcomes in these critical scenarios. Finally, the study's scope might benefit from exploring a wider array of variables, such as underlying conditions or treatments or an interplay of multiple variables. By gaining more insight into the interplay of pH with other complementary markers, it could be possible to enhance the predictive accuracy of pH values on patient mortality in the resuscitation room and to develop a more effective prognostic score.

Conclusion

This study identified several clinically relevant parameters for estimating the chances of survival for critically ill, non-traumatic patients upon arrival in the resuscitation room of an ED. These parameters can therefore inform decision-making regarding emergency interventions, resource allocation, and patient triage. pH value appears to be a particularly promising prognostic marker, and it is possible that measuring the pH value during pre-hospital care by the emergency medical services can assist correct allocation to a resuscitation room. The study results emphasize the benefit of early BGA in critically ill non-traumatic patients in the ED, regardless of the suspected diagnosis, and point to acidosis as a reliable early warning signal. In summary, early detection of physiological imbalances through biomarkers such as acidosis, combined with rapid triage to intensive care, is essential for improving patient outcomes. This proactive approach ensures that critically ill patients receive the life-saving interventions they need at the earliest possible stage, ultimately reducing mortality and improving long-term recovery.

Abbreviations

30 d-Surv	30-Day survivors
AUC	Area under the curve
BGA	Blood gas analysis
Bpm	Beats per minute
Ca ²⁺	Calcium
CT	Computed tomography
DSGVO	German Data Protection Regulation
ED	Emergency department
EMS	Emergency medical service
GCP	Good Clinical Practice
GCS	Glasgow coma scale
Hb	Hemoglobin
HCO ₃ ⁻	Bicarbonate
HR	Heart rate

K ⁺	Potassium
Na ⁺	Sodium
Non-30 d-Surv	30-Day non-survivors
Non-Res-Surv	Resuscitation room non-survivors
PDMS	Patient data management system
Res-Surv	Resuscitation room survivors
RR	Respiratory rate
SBP	Systolic blood pressure
SpO ₂	Oxygen saturation

Acknowledgements

The authors would like to thank Nora Guzu for her valuable input in improving the readability and flow of the manuscript. Her suggestions greatly contributed to the clarity and coherence of the final text.

Authors' contributions

ASG, MB, and MM conceived the study. MB and MM supervised the project as a whole. ASG, JD, KB, MB and MM collected the data. ASG, TF, MB and MM analyzed the data, and ASB, TF, MB and MM drafted the manuscript. JD, KD, PK, JD, and LB substantively revised the manuscript. All authors read and approved the final version of the manuscript.

Funding

Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL. No external funding was received for this study.

Data availability

No datasets were generated or analysed during the current study.

Declarations

Ethics approval and consent to participate

The studies involving human participants were reviewed and approved by Ethics Committee of the Medical Faculty of the Heinrich Heine University of Duesseldorf, Germany, Gebäude 14.82, Ebene 01, Raum 101 (Study Nr. 2023–2535). Written informed consent for participation was not required for this study in accordance with the national legislation and the institutional requirements.

Consent for publication

All authors have reviewed and approved the final version of the manuscript and consent to its publication. This manuscript does not include any identifiable data, images, or information requiring participant consent.

Competing interests

The authors declare no competing interests.

Author details

¹Emergency Department, University Hospital, Medical Faculty, Heinrich-Heine University, Duesseldorf, Germany. ²Department of Rheumatology, University Hospital, Medical Faculty, Heinrich-Heine University, Duesseldorf, Germany. ³Hiller Research Center, University Hospital, Medical Faculty, Heinrich-Heine University, Duesseldorf, Germany. ⁴Department of Anesthesiology, University Hospital, Medical Faculty, Heinrich-Heine University, Duesseldorf, Germany.

Received: 26 November 2024 Accepted: 8 May 2025

Published online: 14 May 2025

References

- Michael M, Al Agha S, Böhm L, et al. Alters- und geschlechtsbezogene Verteilung von Zuführung, Ersteinschätzung, Entlassart und Verweildauer in der zentralen Notaufnahme. *Notfall Rettungsmed.* 2023;26:39–48. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00895-9>.
- Grahl C, Hartwig T, Weidhase L, et al. Early in-hospital course of critically ill nontrauma patients in a resuscitation room of a German emergency department (OBSERVE2 study). *Anaesthesiologie.* 2022;71(10):774–83. <https://doi.org/10.1007/s00101-021-00962-3>.

3. Dziegielewska J, Schulte FC, Jung C, et al. Resuscitation room management of patients with non-traumatic critical illness in the emergency department (OBSERVE-DUS-study). *BMC Emerg Med*. 2023;23(1):43. <https://doi.org/10.1186/s12873-023-00812-y>.
4. Piagnerelli M, Van Nuffelen M, Maetens Y, et al. A "shock room" for early management of the acutely ill. *Anaesth Intensive Care*. 2009;37(3):426–31. <https://doi.org/10.1177/0310057X0903700307>.
5. Thelen S, Michael M, Ashmawy H, et al. Schockraummanagement bei traumatologischen Patienten. *Anaesthesist*. 2019;68(1):49–66. <https://doi.org/10.1007/s00101-018-0523-5>.
6. Nolte PC, Häse D, Lefering R, et al. Training to identify red flags in the acute care of trauma: who are the patients at risk for early death despite a relatively good prognosis? An analysis from the TraumaRegister DGU®. *World J Emerg Surg*. 2020;15(1):47. <https://doi.org/10.1186/s13017-020-00325-0>.
7. Grönig I, Hoffmann F, Biermann H, et al. Das (PR_E-)AUD2IT-Schema als Rückgrat für eine strukturierte Notfallversorgung und Dokumentation nichttraumatologischer kritisch kranker Schockraumpatienten. *Notfall Rettungsmed*. 2022;25:491–8. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00878-w>.
8. Kramer A, Urban N, Döll S, et al. Early lactate dynamics in critically ill non-traumatic patients in a resuscitation room of a German emergency department (OBSERVE-Lactate-Study). *J Emerg Med*. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2021.04.011>.
9. Bernhard M, Kramer A, Döll S, et al. Admission blood glucose in the emergency department is associated with increased in-hospital mortality in nontraumatic critically ill patients. *J Emerg Med*. 2021;61(4):355–64. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2021.04.011>.
10. Bernhard M, Döll S, Kramer A, et al. Elevated admission lactate levels in the emergency department are associated with increased 30-day mortality in non-trauma critically ill patients. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2020;28(1):82. <https://doi.org/10.1186/s13049-020-00777-y>.
11. Kwon YS, Lee HJ, Park JS, et al. Association between early ICU admission and improved survival in critically ill patients. *J Crit Care*. 2023;78:154381. <https://doi.org/10.1016/j.jccr.2023.154381>.
12. Bernhard M, Kumle B, Dotz C, et al. Versorgung kritisch kranker, nicht-traumatologischer Patienten im Schockraum: Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Interdisziplinäre Notfall- und Akutmedizin zur Strukturierung, Organisation und Ausstattung sowie Förderung von Qualität, Dokumentation und Sicherheit in der Versorgung kritisch kranker, nicht-traumatologischer Patienten im Schockraum in der Bundesrepublik Deutschland. *Notf Rett Med*. 2022;25(Suppl 1):1–14. <https://doi.org/10.1007/s10049-022-00997-y>.
13. Rovas A, Paracikoglu E, Michael M, et al. Identification and validation of objective triggers for initiation of resuscitation management of acutely ill non-trauma patients: the INITIATE IRON MAN study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2021;29(1):160. <https://doi.org/10.1186/s13049-021-00973-4>.
14. Prasad H, Vempalli N, Agrawal N, et al. Correlation and agreement between arterial and venous blood gas analysis in patients with hypotension-an emergency department-based cross-sectional study. *Int J Emerg Med*. 2023;16(1):18. <https://doi.org/10.1186/s12245-023-00486-0>.
15. Uysal E, Acar YA, Kutur A, et al. How reliable are electrolyte and metabolite results measured by a blood gas analyzer in the ED? *Am J Emerg Med*. 2016;34(3):419–24. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2015.11.025>.
16. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing; 2022. Available from: <https://www.R-project.org>.
17. Li Y, Guo Y, Chen D. Emergency mortality of non-trauma patients was predicted by qSOFA score. *PLoS ONE*. 2021;16(2):e0247577. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247577>.
18. Ala A, Vahdati SS, Jalali M, et al. Rapid emergency medicine score as a predictive value for 30-day outcome of nonsurgical patients referred to the emergency department. *Indian J Crit Care Med*. 2020;24(6):418–22. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10071-23456>.
19. Garkaz O, Rezazadeh F, Golfrooz S, et al. Predicting the 28-day mortality of non-trauma patients using REMS and RAPS; a prognostic accuracy study. *Arch Acad Emerg Med*. 2022;10(1):e52. <https://doi.org/10.22037/aaem.v10i1.1601>.
20. Wu KH, Cheng FJ, Tai HL, et al. Predicting in-hospital mortality in adult non-traumatic emergency department patients: a retrospective comparison of the Modified Early Warning Score (MEWS) and machine learning approach. *PeerJ*. 2021;9:e11988. <https://doi.org/10.7717/peerj.11988>.
21. Ma X, Li J, Zhou Q, et al. Serum lactate and the mortality of critically ill patients in the emergency department: a retrospective study. *Exp Ther Med*. 2023;26(2):371. <https://doi.org/10.3892/etm.2023.12070>.
22. Schork A, Moll K, Haap M, et al. Course of lactate, pH and base excess for prediction of mortality in medical intensive care patients. *PLoS One*. 2021;16(12):e0261564. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261564>.
23. Guy C, Holmes NE, Kishore K, et al. Decompensated metabolic acidosis in the emergency department: epidemiology, sodium bicarbonate therapy, and clinical outcomes. *Crit Care Resusc*. 2023;25(2):71–7. <https://doi.org/10.1016/j.ccrj.2023.05.003>.
24. Gutgold A, Salameh S, Nashashibi J, et al. Prognosis of patients with extreme acidosis on admission to the emergency department: a retrospective cohort study. *Am J Emerg Med*. 2024;76:36–40. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2023.10.054>.
25. Samanta S, Singh RK, Baronia AK, et al. Early pH change predicts intensive care unit mortality. *Indian J Crit Care Med*. 2018;22(10):697–705. https://doi.org/10.4103/ijccm.IJCCM_129_18.
26. Achanti A, Szerlip HM. Acid-base disorders in the critically ill patient. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2023;18(1):102–12. <https://doi.org/10.2215/CJN.04500422>.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

3 Weitere Ergebnisse

3.1 Prävalenz als wichtiger Faktor der Entscheidungsfindung

Für die klinische Relevanz eines pathologischen Blutparameters sind vor allem zwei Aspekte entscheidend: a) seine Häufigkeit im Patientenkollektiv und b) die potenziellen Konsequenzen, wenn eine Normabweichung vorliegt. Parameter, die sowohl häufig auftreten als auch mit einer erhöhten Mortalität assoziiert sind, sollten daher bei der initialen Beurteilung besonders berücksichtigt werden. Aus diesem Grund wurde in dieser Arbeit neben der Schockraum- und 30-Tages-Mortalität auch die Prävalenz der verschiedenen POCT-BGA-Parameter innerhalb ihres Normbereichs sowie die pathologischen Abweichungen vom Normbereich untersucht (**Abb. 6**).

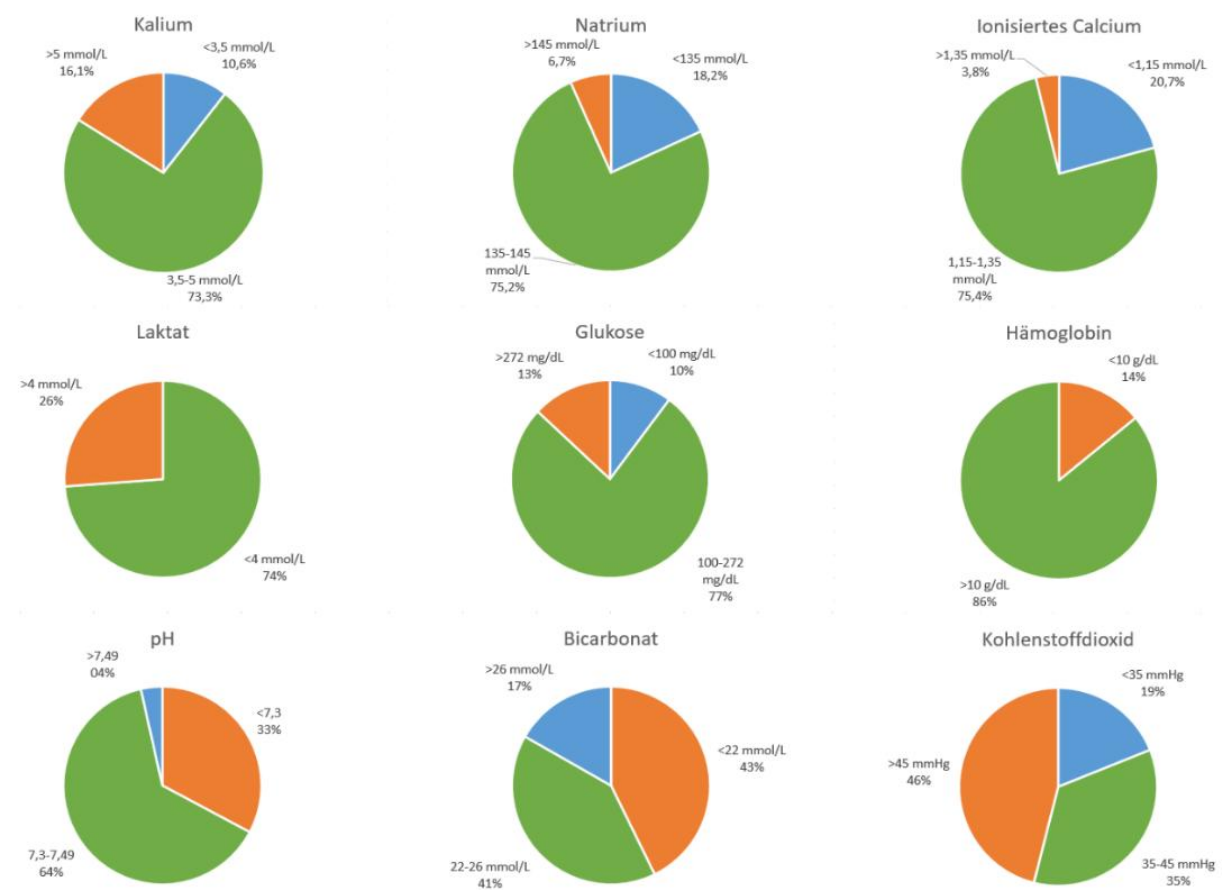


Abb. 6 Übersicht der Prävalenz normwertiger und pathologisch entgleister BGA-POCT-Parameter (Kalium, Natrium, ionisiertes Calcium, Laktat, Glukose, Hämoglobin, pH-Wert, Bicarbonat und Kohlenstoffdioxid) bei kritisch kranken nicht-traumatologischen Patienten im Schockraum (Angaben in %). Der grüne Anteil der Diagramme kennzeichnet Messwerte innerhalb des jeweiligen Referenzbereichs. Die orangefarbenen und blauen Segmente repräsentieren pathologische Abweichungen außerhalb des Referenzbereichs und unterscheiden Werte unterhalb (blau) bzw. oberhalb (orange) der Norm.

3.2 Prävalenz der Elektrolytenentgleisungen

In der Analyse des vorliegenden Patientenkollektivs zeigte sich eine unterschiedliche Verteilung der Abweichungen des Normbereichs der untersuchten BGA-POCT-Parameter. Betrachtet man zunächst die Elektrolyte, so hatten bei allen drei untersuchten Parametern Kalium, Natrium und ionisiertes Calcium jeweils etwa drei Viertel der Patienten einen normwertigen Befund, während ungefähr ein Viertel eine Abweichung vom Referenzbereich aufwies, wobei sich in allen Fällen eine der beiden Entgleisungsrichtungen als häufiger erwies.

3.2.1 Kalium

Die Kaliumwerte lagen in 73,3 % im Referenzbereich von 3,5–5,0 mmol/l, und 10,6 % der Patienten wiesen Werte unter 3,5 mmol/l (Hypokaliämie) bzw. 16,1 % Werte über 5,0 mmol/l (Hyperkaliämie) auf, sodass eine pathologische Dyskaliämie in 26,7 % vorlag. Der Median der gemessenen Kaliumkonzentrationen lag bei 4,2 mmol/l. Die Interquartilsperiode (25.–75. Perzentil) erstreckte sich ungefähr von 3,8–4,7 mmol/l. Das 95 %-Perzentilintervall lag zwischen 3,2–6,0 mmol/l, entsprechend einer relativ breiten Streuung der Kaliumwerte mit einzelnen deutlich erhöhten Konzentrationen (**Abb. 7**).

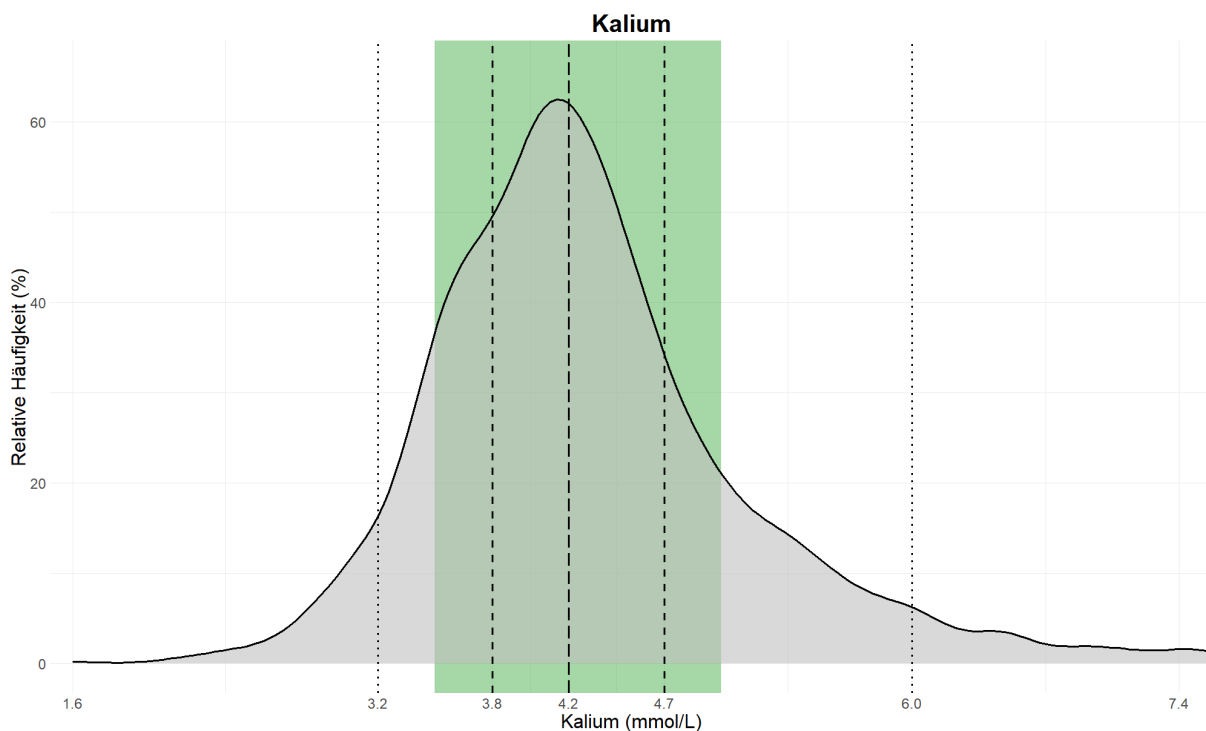


Abb.7: Verteilung der Kaliumwerte in dem untersuchten unselektionierten Patientenkollektiv als geglättete Dichteverteilung der relativen Häufigkeit (%). Der grün hinterlegte Bereich kennzeichnet den Referenzbereich (3,5–5,0 mmol/l). Die vertikale gestrichelte Linie mit langen Strichen markiert den Median, die gestrichelten Linien mit kurzen Strichen das 25. und 75. Perzentil (Interquartilbereich). Die punktierten vertikalen Linien zeigen das 2,5 und 97,5. Perzentil und damit das 95 %-Perzentilintervall der

gemessenen Kaliumwerte. Zur besseren Darstellbarkeit der Verteilung wurde die Abbildung beidseitig auf das 99. Perzentil begrenzt, um eine Verzerrung der Darstellung durch einzelne extreme Ausreißerwerte zu vermeiden.

3.2.2 Natrium

Für Natrium ergab sich ein ähnliches Bild wie für Kalium: 75,2 % der Messwerte befanden sich im Normbereich von 135-145 mmol/l, 18,2 % der Patienten wiesen eine Hyponatriämie mit Werten unter 135 mmol/l und 6,7 % eine Hypernatriämie mit Werten über 145 mmol/l auf. Entsprechend hatten ein Viertel aller Patienten eine Entgleisung außerhalb des Normwerts, wobei eine Hyponatriämie im Vergleich zu einer Hypernatriämie mehr als doppelt so häufig nachgewiesen wurde. Der Median der gemessenen Natriumkonzentrationen lag bei etwa 139 mmol/l. Die Interquartilsspanne (25.–75. Perzentil) erstreckte sich ungefähr von 136-142 mmol/l. Das 95 %-Perzentilintervall lag etwa zwischen 128-146 mmol/l und verdeutlicht damit die Streuung der Natriumwerte in der untersuchten Kohorte (**Abb. 8**).

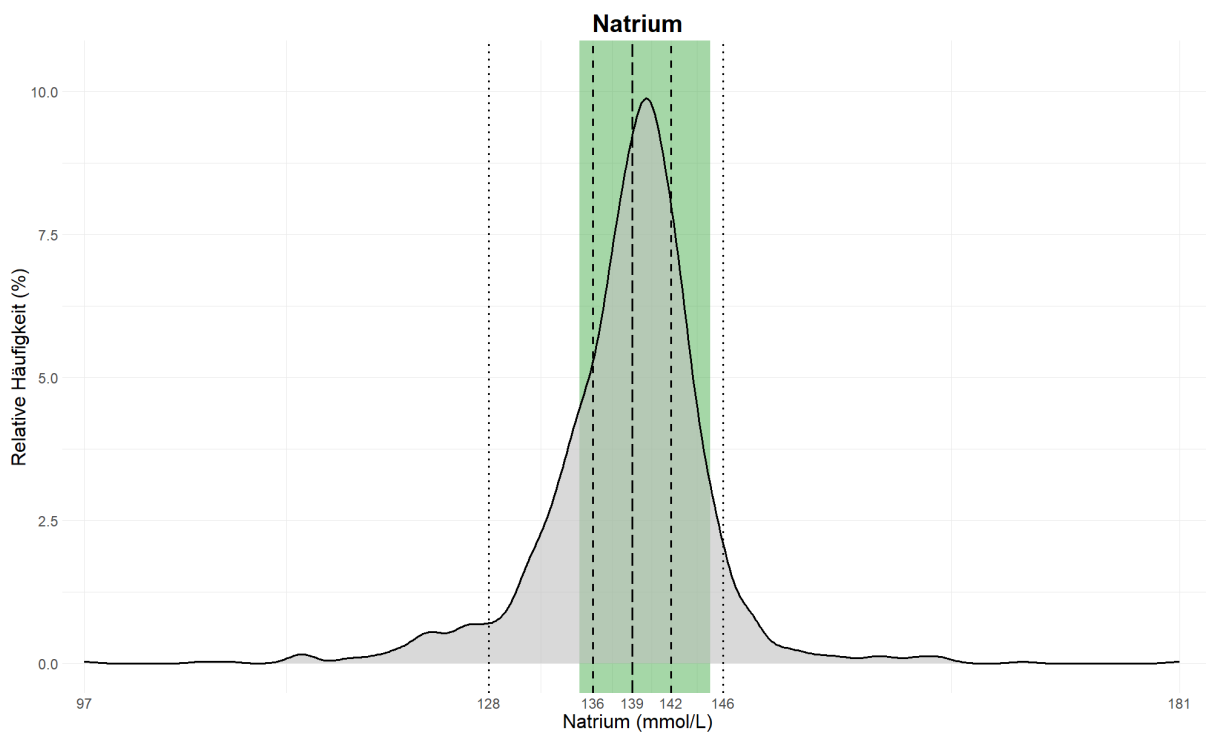


Abb. 8: Verteilung der Natriumwerte in dem untersuchten unselektionierten Patientenkollektiv als geglättete Dichteverteilung der relativen Häufigkeit (%). Der grün hinterlegte Bereich kennzeichnet den Referenzbereich (135-145 mmol/l). Die vertikale gestrichelte Linie mit langen Strichen markiert den Median, während die gestrichelten Linien mit kürzeren Strichen das 25. und 75. Perzentil (Interquartilbereich) darstellen. Die punktierten vertikalen Linien zeigen das 2,5. und 97,5. Perzentil und damit das 95 %-Perzentilintervall der gemessenen Natriumwerte.

3.2.3 Calcium

Beim ionisierten Calcium lagen 75,4 % der Messwerte im Referenzbereich von 1,15-1,35 mmol/l, während 20,7 % der Patienten mit Werten unter 1,15 mmol/l eine Hypokalzämie und 3,8 % mit Werten über 1,35 mmol/l eine Hyperkalzämie aufwiesen (**Abb. 9**). Der Median der gemessenen Calciumkonzentrationen lag bei etwa 1,20 mmol/l. Die Interquartilsrange (25.–75. Perzentil) erstreckte sich ungefähr von 1,15-1,24 mmol/l. Das 95 %-Perzentilintervall lag etwa zwischen 1,07-1,33 mmol/l und zeigt damit die Streuung der Calciumwerte innerhalb des untersuchten Patientenkollektivs.

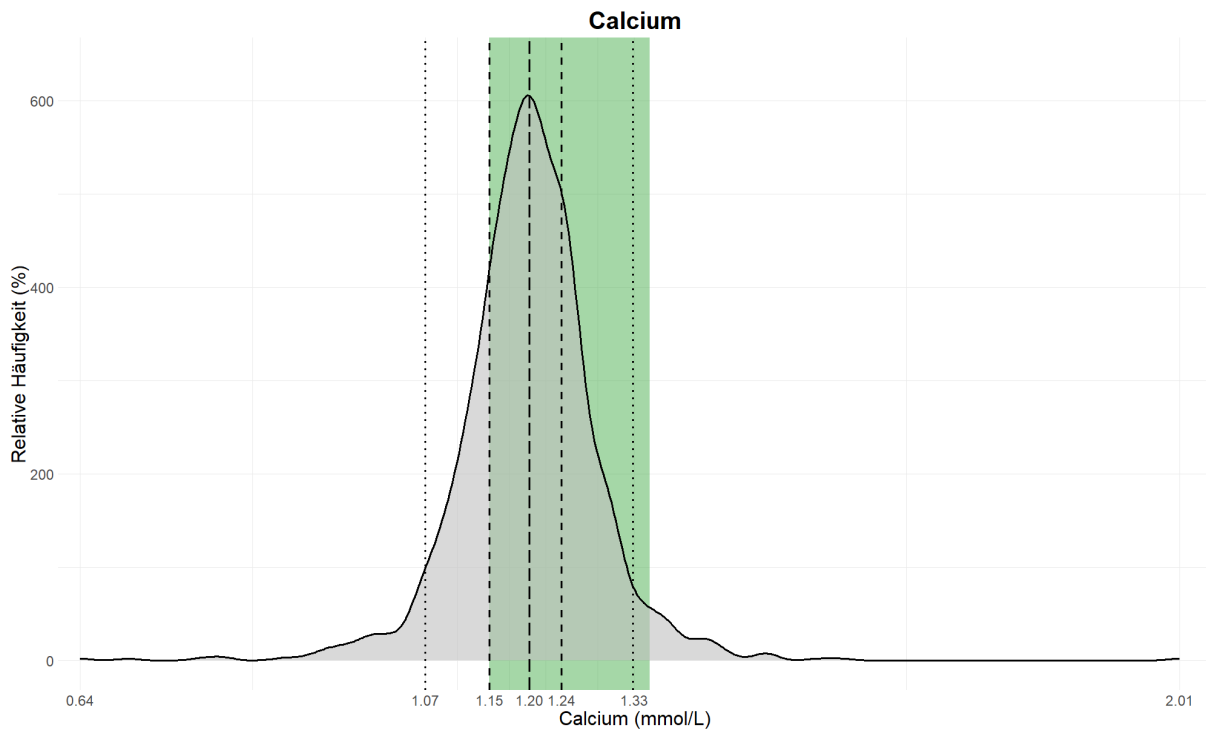


Abb. 9: Verteilung der Werte des ionisierten Calciums in dem untersuchten unselektionierten Patientenkollektiv als geglättete Dichteverteilung der relativen Häufigkeit (%). Der grün hinterlegte Bereich kennzeichnet den Referenzbereich (1,15–1,35 mmol/l). Die vertikale gestrichelte Linie mit langen Strichen markiert den Median, während die gestrichelten Linien mit kürzeren Strichen das 25. und 75. Perzentil (Interquartilbereich) darstellen. Die punktierten vertikalen Linien zeigen das 2,5. und 97,5. Perzentil und damit das 95 %-Perzentilintervall der gemessenen Calciumwerte.

3.3 Prävalenz von Laktat-, Glukose- und Hämoglobinentgleisungen

Für die Parameter Laktat, Glukose und Hämoglobin ergaben sich ebenfalls differenzierte Verteilungen. Diese Parameter haben keine streng definierten Normwerte, jedoch es gibt Daten, die auf eine erhöhte Mortalität zeigen, sollten bestimmte Schwellen überschritten werden. Die Arbeiten von Bernhard et al. (21) zeigten, dass bei kritisch kranken nicht-traumatologischen Patienten Glukosewerte von <100 mg/dL sowie >272 mg/dL mit erhöhter Mortalität assoziiert sind. In Bezug auf Laktatwerte bei kritisch-kranken unselektionierten nicht-traumatologischen Patienten deutet die Evidenz darauf hin, dass Laktatwerte >4 mmol/l ebenfalls mit einer erhöhten Mortalität im Schockraum verbunden sind (20,23). Für den Hämoglobinwert existieren

zwar keine direkten Studien, die niedrigere Hämoglobinspiegel mit einer erhöhten Mortalität in einem unselektionierten Patientenkollektiv kritisch kranker, nicht-traumatologischer Schockraumpatienten verknüpfen, die vorhandenen Daten legen jedoch nahe, dass ein Hämoglobinspiegel von <10 g/dL als geeigneter Schwellenwert angenommen werden kann (54).

3.3.1 Laktat

Die Laktatwerte lag bei 73,7 % der Patienten unter 4 mmol/l und bei 26,3 % bei Werten über 4 mmol/l, sodass etwa ein Viertel des Kollektivs eine Laktaterhöhung im Sinne eines Wertes > 4 mmol/l zeigte (**Abb. 10**). Der Median der gemessenen Laktatkonzentrationen lag bei etwa 1,4 mmol/l. Die Interquartilsrange (25.–75. Perzentil) erstreckte sich ungefähr von 0,8 mmol/l bis 2,2 mmol/l. Das 95 %-Perzentilintervall lag etwa zwischen 0,3–11,7 mmol/l und verdeutlicht die ausgeprägte rechtsschiefe Verteilung der Laktatwerte mit einzelnen deutlich erhöhten Konzentrationen im untersuchten Patientenkollektiv (**Abb. 10**).

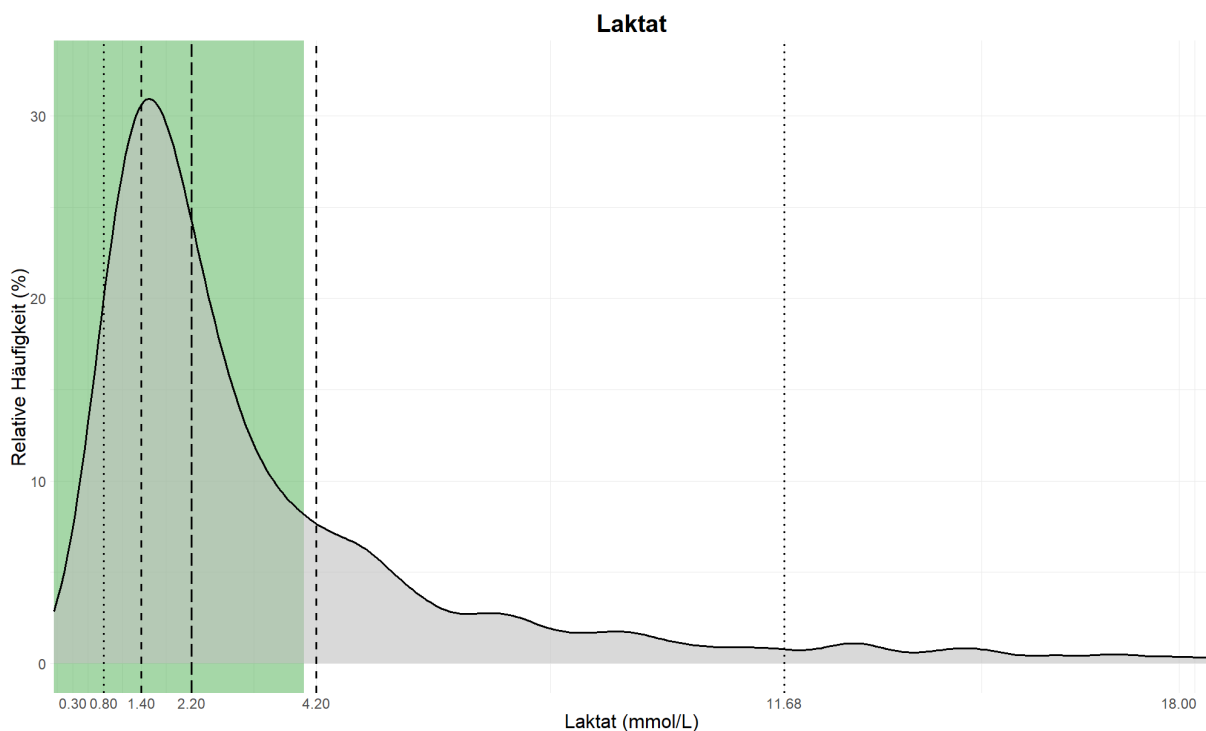


Abb. 10: Verteilung der Laktatwerte in dem untersuchten unselektionierten Patientenkollektiv als geglättete Dichteverteilung der relativen Häufigkeit (%). Der grün hinterlegte Bereich kennzeichnet den Referenzbereich (< 4 mmol/l). Die vertikale gestrichelte Linie mit langen Strichen markiert den Median, während die gestrichelten Linien mit kürzeren Strichen das 25. und 75. Perzentil (Interquartilbereich) darstellen. Die punktierten vertikalen Linien zeigen das 2,5. und 97,5. Perzentil und damit das 95 %-Perzentilintervall der gemessenen Laktatwerte. Zur besseren Darstellbarkeit der Verteilung wurde die Abbildung nach rechts auf das 99. Perzentil begrenzt, um eine Verzerrung der Darstellung durch einzelne extreme Ausreißerwerte zu vermeiden.

3.3.2 Glukose

Die Glukosewerte befanden sich bei 77,2 % der untersuchten Personen im für den Schockraum definierten Normbereich von 100–272 mg/dl; 9,8 % lagen unter 100 mg/dl und damit im hypoglykämischen Bereich, während 13,0 % Werte über 272 mg/dl und damit eine Hyperglykämie zeigten (**Abb. 11**). Der Median der gemessenen Glukosekonzentrationen lag bei etwa 150 mg/dl. Die Interquartilspanne (25.–75. Perzentil) erstreckte sich ungefähr von 117–210 mg/dl. Das 95 %-Perzentilintervall lag etwa zwischen 87–384 mg/dl und zeigt die deutliche rechtsschiefe Verteilung der Glukosewerte mit einzelnen ausgeprägt erhöhten Messwerten im untersuchten Patientenkollektiv (**Abb. 11**).

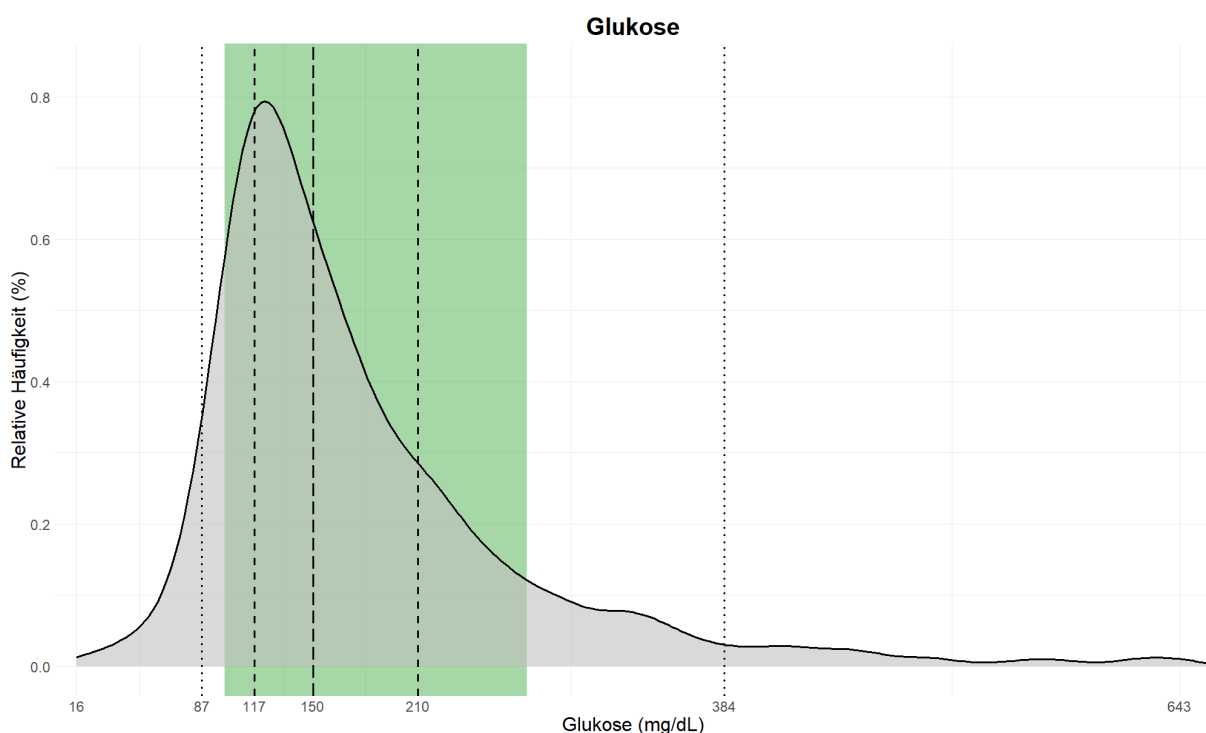


Abb. 11: Verteilung der Glukosewerte in dem untersuchten unselektionierten Patientenkollektiv als geglättete Dichteverteilung der relativen Häufigkeit (%). Der grün hinterlegte Bereich kennzeichnet den für den Schockraum definierten Referenzbereich (100–272 mg/dl). Die vertikale gestrichelte Linie mit langen Strichen markiert den Median, während die gestrichelten Linien mit kürzeren Strichen das 25. und 75. Perzentil (Interquartilbereich) darstellen. Die punktierten vertikalen Linien zeigen das 2,5. und 97,5. Perzentil und damit das 95% - Perzentilintervall der gemessenen Glukosewerte. Zur besseren Darstellbarkeit der Verteilung wurde die Abbildung nach rechts auf das 99. Perzentil begrenzt, um eine Verzerrung der Darstellung durch einzelne extreme Ausreißerwerte zu vermeiden.

3.3.3 Hämoglobin

Bei 82,5 % der Patienten lagen die Hämoglobinwerte im definierten Normbereich von 10–17 g/dl, während bei 14,1 % Werte unter 10 g/dl und damit im Bereich einer Anämie vorlagen und bei 3,4 % Werte über 17 g/dl, entsprechend einer Polyglobulie, gemessen wurden. (**Abb. 12**). Der Median der gemessenen Hämoglobinkonzentrationen lag bei etwa 13,1 g/dl. Die

Interquartilsrange (25.–75. Perzentil) erstreckte sich ungefähr von 11,3-14,8 g/dl. Das 95 %-Perzentilintervall lag etwa zwischen 8,1-16,6 g/dl und verdeutlicht die Streuung der Hämoglobinwerte im untersuchten Patientenkollektiv (**Abb. 12**).

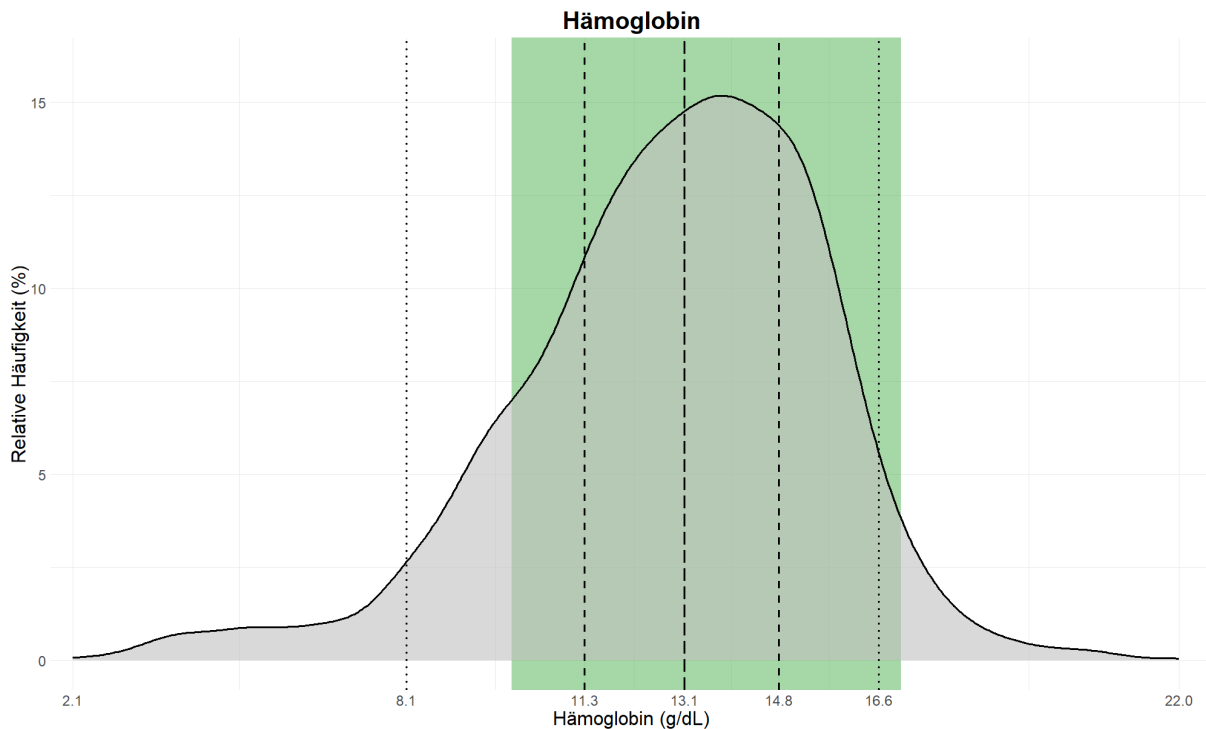


Abb. 12: Verteilung der Hämoglobinwerte in dem untersuchten unselektionierten Patientenkollektiv als geglättete Dichteverteilung der relativen Häufigkeit (%). Der grün hinterlegte Bereich kennzeichnet den klinisch relevanten Referenzbereich (10 - 17 g/dl). Die vertikale gestrichelte Linie mit langen Strichen markiert den Median, während die gestrichelten Linien mit kürzeren Strichen das 25. und 75. Perzentil (Interquartilbereich) darstellen. Die punktierten vertikalen Linien zeigen das 2,5. und 97,5. Perzentil und damit das 95 %-Perzentilintervall der gemessenen Hämoglobinwerte.

3.4 Prävalenz der Säure-Basen-Entgleisungen

Bei den Säure-Basen-Parametern zeigte sich eine im Vergleich breitere Verteilung der Messwerte über die Kategorien.

3.4.1 pH-Wert

Der pH-Wert lag bei 63,3 % der Patienten im Bereich zwischen 7,30-7,49; 33,0 % wiesen einen pH-Wert unter 7,30 und damit eine Azidose auf, während 3,7 % Werte über 7,49 im Sinne einer Alkalose zeigten (**Abb. 3**). Der Median der gemessenen pH-Werte lag bei 7,40. Die Interquartilsrange (25.–75. Perzentil) erstreckte sich von 7,35-7,40. Das 95 %-Perzentilintervall lag

etwa zwischen 7,02-7,48 und verdeutlicht die Streuung der pH-Werte im untersuchten Patientenkollektiv (**Abb. 13**).

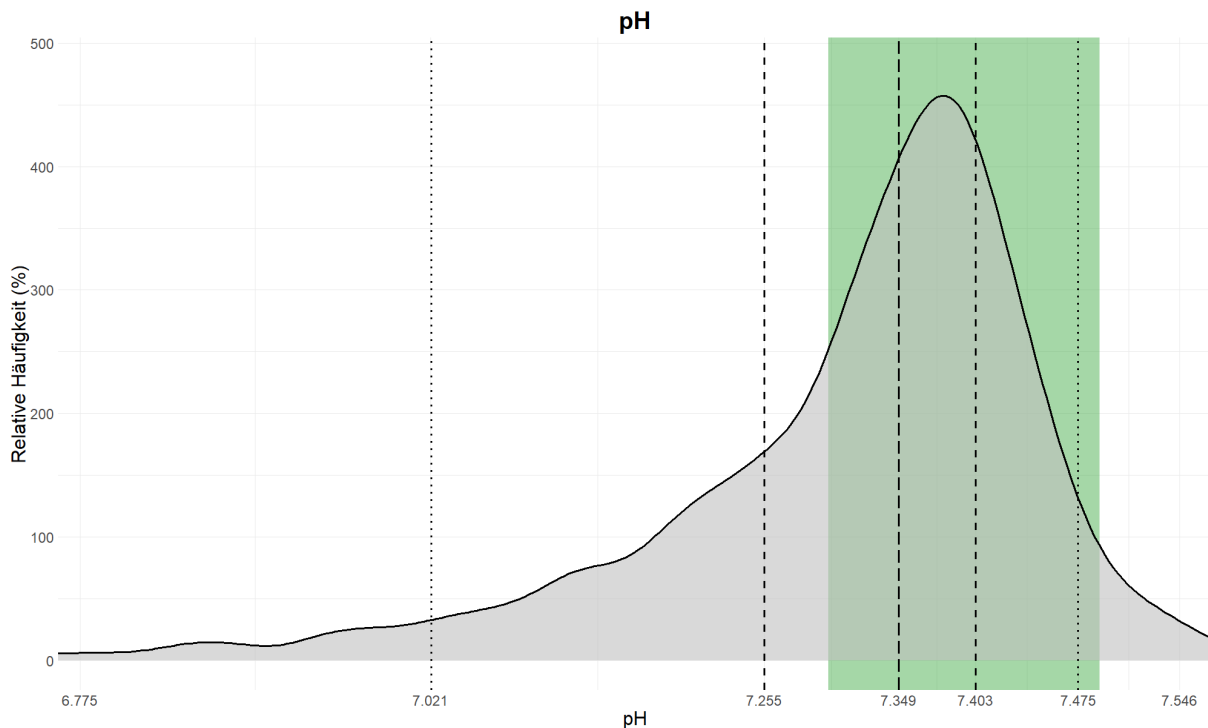


Abb. 13: Verteilung der pH-Werte in dem untersuchten unselektionierten Patientenkollektiv als geglättete Dichteverteilung der relativen Häufigkeit (%). Der grün hinterlegte Bereich kennzeichnet den Referenzbereich (pH 7,30-7,49). Die vertikale gestrichelte Linie mit langen Strichen markiert den Median, während die gestrichelten Linien mit kürzeren Strichen das 25. und 75. Perzentil (Interquartilbereich) darstellen. Die punktierten vertikalen Linien zeigen das 2,5. und 97,5. Perzentil und damit das 95 %-Perzentilintervall der gemessenen pH-Werte. Zur besseren Darstellbarkeit der Verteilung wurde die Abbildung auf das 99. Perzentil begrenzt, um eine Verzerrung der Darstellung durch einzelne extreme Ausreißerwerte zu vermeiden.

3.4.2 Bikarbonat

Das Bikarbonat befand sich bei 40,6 % der Patienten im Referenzbereich von 22–26 mmol/l, während 42,8 % Werte unter 22 mmol/l und 16,7 % Werte über 26 mmol/l aufwiesen (**Abb. 14**). Der Median der gemessenen Bikarbonatkonzentrationen lag bei etwa 22,8 mmol/l. Die Interquartilsbreite (25.–75. Perzentil) erstreckte sich von 19,4–25,0 mmol/l. Das 95 %-Perzentilintervall lag zwischen 10,9–29,4 mmol/l. (**Abb. 14**)

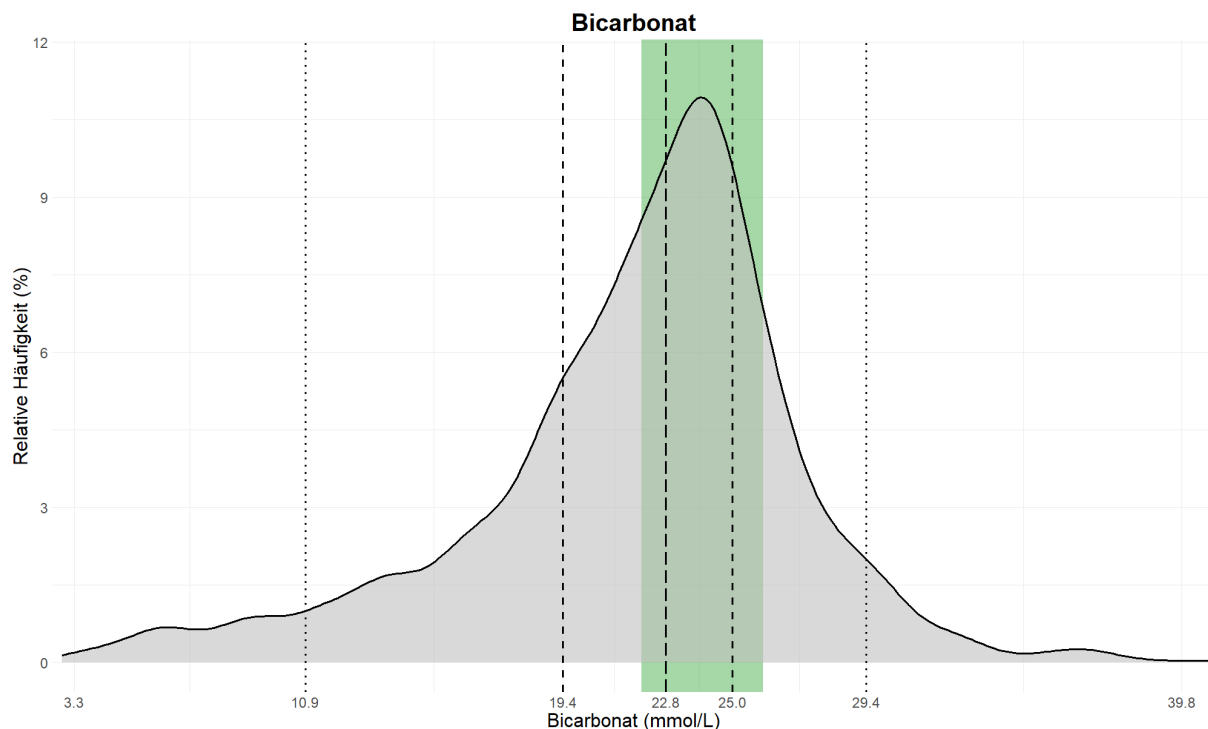


Abb. 14: Verteilung der Bikarbonatwerte in dem untersuchten unselektionierten Patientenkollektiv als geglättete Dichteverteilung der relativen Häufigkeit (%). Der grün hinterlegte Bereich kennzeichnet den Referenzbereich (22-26 mmol/l). Die vertikale gestrichelte Linie mit langen Strichen markiert den Median, während die gestrichelten Linien mit kürzeren Strichen das 25. und 75. Perzentil (Interquartilbereich) darstellen. Die punktierten vertikalen Linien zeigen das 2,5. und 97,5. Perzentil und damit das 95 %-Perzentilintervall der gemessenen Bikarbonatwerte. Zur besseren Darstellbarkeit der Verteilung wurde die Abbildung auf das 99. Perzentil begrenzt, um eine Verzerrung der Darstellung durch einzelne extreme Ausreißerwerte zu vermeiden.

3.4.3 Kohlendioxidpartialdruck

Für den Kohlendioxidpartialdruck ($p\text{CO}_2$) wurden bei 35,4 % der Patienten normokapnische Werte zwischen 35-45 mmHg gemessen, bei 18,3 % $p\text{CO}_2$ -Werte unter 35 mmHg (Hypokapnie) und bei 46,3 % Werte über 45 mmHg (Hyperkapnie) (**Abb. 15**); damit entfiel auf die hyperkapnische Kategorie nahezu die Hälfte der Fälle, während nur etwas mehr als ein Drittel normokapnische Werte zeigte. Der Median der gemessenen $p\text{CO}_2$ -Werte lag bei etwa 44 mmHg. Die Interquartilspanse (25.–75. Perzentil) erstreckte sich ungefähr von 38-44 mmHg. Das 95 %-Perzentilintervall lag etwa zwischen 26-90 mmHg und verdeutlicht die breite Streuung der $p\text{CO}_2$ -Werte mit einem deutlichen Anteil erhöhter Werte im untersuchten Patientenkollektiv (**Abb 15**).

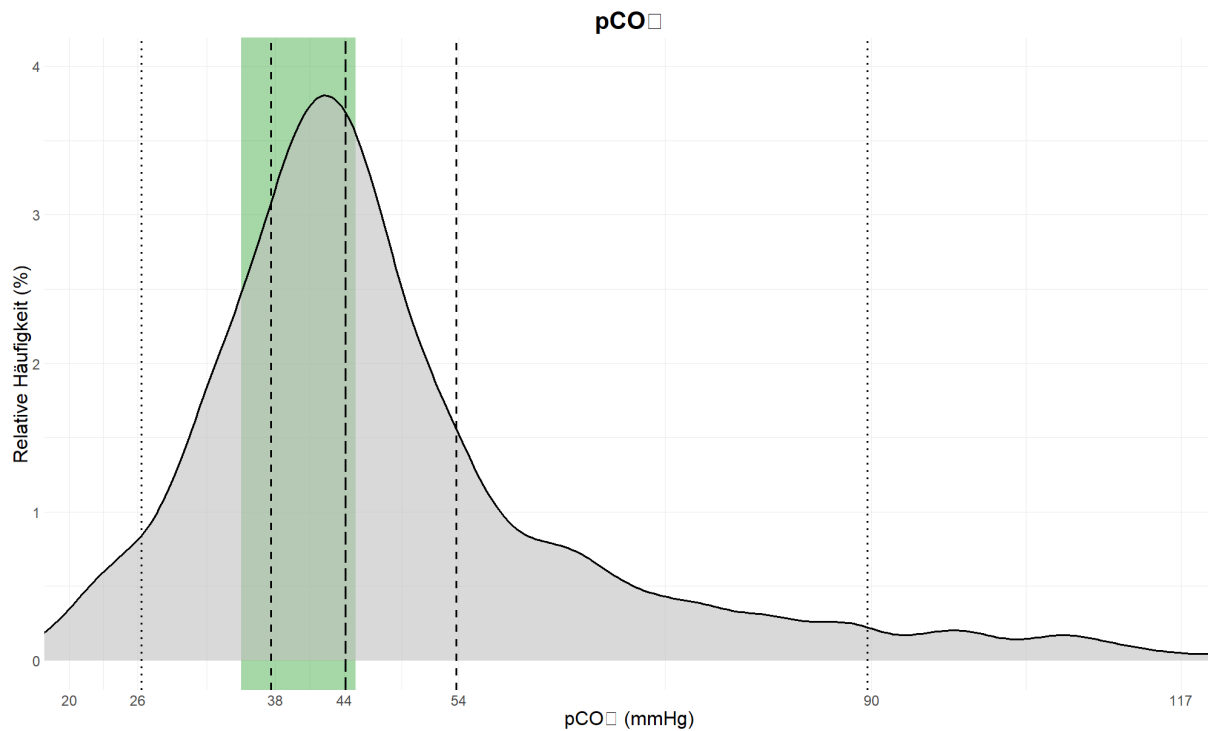


Abb. 15: Verteilung der Kohlendioxidpartialdruck ($p\text{CO}_2$)-Werte in dem untersuchten unselektionierten Patientenkollektiv als geglättete Dichteverteilung der relativen Häufigkeit (%). Der grün hinterlegte Bereich kennzeichnet den Referenzbereich (35-45 mmHg). Die vertikale gestrichelte Linie mit langen Strichen markiert den Median, während die gestrichelten Linien mit kürzeren Strichen das 25. und 75. Perzentil (Interquartilbereich) darstellen. Die punktierten vertikalen Linien zeigen das 2,5. und 97,5. Perzentil und damit das 95 %-Perzentilintervall der gemessenen $p\text{CO}_2$ -Werte. Zur besseren Darstellbarkeit der Verteilung wurde die Abbildung auf das 99. Perzentil begrenzt, um eine Verzerrung der Darstellung durch einzelne Ausreißerwerte zu vermeiden.

4 Diskussion

In der vorliegenden retrospektiven Untersuchung wurde an einem Kollektiv aus kritisch kranker, nicht-traumatologischer Patienten aus dem Schockraum der Zentralen Notaufnahme des Universitätsklinikums Düsseldorf analysiert, wie häufig Elektrolyt- und Säure-Basen-Entgleisungen bei Aufnahme vorkommen und in welchem Ausmaß diese Störungen mit einer erhöhten Mortalität im Schockraum und nach 30 Tagen assoziiert waren. Störungen von Natrium, Kalium und ionisiertes Calcium ebenso wie Abweichungen von pH, Kohlendioxidpartialdruck, Bikarbonat, Basenüberschuss (Base Excess), Glukose, Laktat und Hämoglobin wurden hierzu miteinbezogen.

Die Auswertung zeigt, dass Entgleisungen der üblichen BGA-POCT-Parameter bei nicht-traumatologischen Schockraumpatienten aufgrund des kritischen Patientenzustandes häufig vorkommen, und dass insbesondere bei Säuren-Basen-Abweichungen von den Normbereichen mit einer erhöhten Schockraum- und 30-Tage-Mortalität verknüpft waren. Insgesamt wiesen 32,8 % der Patienten bei Aufnahme in den Schockraum eine Azidämie mit einem pH-Wert $<7,30$ auf, während bei etwa 15 % der Patienten ein alkalischer pH-Wert $>7,45$ vorlag. So lag die Schockraum mortalität im physiologischen pH-Bereich (7,30–7,39) bei 1,4 %, während sie bei milder Azidämie (pH 7,20–7,29) bereits 3,9 % betrug. Ein ähnlicher Trend zeigte sich für die 30-Tage-Mortalität der gleichen Patientengruppe, die von 15,8 % im Normbereich auf 28,2 % bei pH-Werten zwischen 7,20–7,29 anstieg.

Der wahrscheinlichste Grund für die häufigen pathologischen Entgleisungen der BGA-POCT-Ergebnisse lag daran, dass kritisch kranke nicht-traumatologische Patienten im Schockraum häufig komplexe Kombinationen aus Volumenverschiebungen, Perfusionsstörung, Organfunktionsstörungen und medikamentenassoziierten Veränderungen aufweisen, die sich in typischen, gelegentlich auch atypischen Mustern von Elektrolyt- und Säure-Basen-Parametern widerspiegeln. Besonders deutlich wird dies bei Krankheitsbildern mit ausgeprägten metabolischen Azidosen. Ein klassisches Beispiel ist die diabetische Ketoazidose, bei der infolge einer absoluten oder relativen Insulininsuffizienz eine vermehrte Ketonkörperbildung und eine Anionenlücken-Azidose entsteht. In schweren Fällen werden typischerweise pH-Werte $<7,30$ sowie Bikarbonatkonzentrationen <18 mmol/l beobachtet; bei schweren Verlaufsformen können pH-Werte sogar $<7,00$ und Bikarbonatwerte <10 mmol/l auftreten (55). Gleichzeitig können aufgrund von Hypovolämie und relativer Gewebehypoperfusion zusätzlich erhöhte Laktatwerte auftreten, sodass Mischbilder aus Keto- und Laktatazidose entstehen können (56).

Auch andere häufige Ursachen kritisch kranker Patienten im Schockraum führen zu charakteristischen Säure-Basen-Konstellationen. Bei septischem oder kardiogenem Schock kommt es infolge eingeschränkter Gewebepерfusion zu einer vermehrten anaeroben Glykolyse mit

Hyperlaktämie und metabolischer Azidose; Laktatwerte ≥ 4 mmol/l gelten hierbei als Hinweis auf eine relevante Gewebhypoperfusion und sind mit einer erhöhten Mortalität assoziiert (57,58). Respiratorische Störungen stellen eine weitere wichtige Ursache von BGA-Entgleisungen dar: Bei respiratorischer Insuffizienz oder Hypoventilation entstehen respiratorische Azidosen mit $p\text{CO}_2$ -Werten >45 mmHg, während Hyperventilation – etwa bei Schmerz, Hypoxie oder Sepsis – zu einer respiratorischen Alkalose mit erniedrigten $p\text{CO}_2$ -Werten führen kann (59,60).

Die Relevanz dieser Ergebnisse ergibt sich aus dem Versorgungsalltag der Notaufnahmen. In einem Setting, in dem Entscheidungen häufig unter erheblichem Zeitdruck und bei begrenzten Erkenntnissen zum individuellen Patienten getroffen werden müssen, besteht ein hoher Bedarf an einfach verfügbaren, pathophysiologisch plausiblen Markern, die über das bloße Vorliegen einzelner Diagnosen hinaus das tatsächliche Risiko für einen ungünstigen Verlauf abbilden (61).

Die vorliegenden Daten zeigen, dass sich aus der Gesamtschau der Elektrolyt- und Säure-Basen-Situation bei Aufnahme wertvolle Hinweise auf Schweregrad, Reversibilität und Prognose der Erkrankung ableiten lassen, und legen nahe, Stoffwechselentgleisungen bei Patienten im nicht-traumatologischen Schockraum nicht nur als „Begleitbefund“, sondern als zentrale Komponente der Risikostratifizierung zu betrachten.

4.1 Einordnung der Ergebnisse und Charakterisierung des Patientenkollektivs

Das untersuchte Kollektiv umfasst erwachsene, nicht-traumatologische Patienten, die aufgrund einer akuten vitalen Bedrohung der Schockraumversorgung zugeführt wurden. Dieses Patientenkollektiv stellt in der täglichen Praxis von Notaufnahmen eine zahlenmäßig relevante und mit einer Letalität um 34 % zugleich eine besonders vulnerable Subpopulation an Notaufnahmepatienten dar. In epidemiologischen Arbeiten konnte bereits gezeigt werden, dass nicht-traumatologische Schockraumpatienten mit 1,5% aller Patientenkontakten der Notaufnahme anteilmäßig die klassischen Fälle schwerverletzter Patienten deutlich übertreffen und einen relevanten Anteil der zu versorgenden Patienten darstellen (22). Die vorliegende Untersuchung knüpft an diese Beobachtungen an, indem sie diese Gruppe nicht nur deskriptiv, sondern unter dem speziellen Blickwinkel von Elektrolyt- und Säure-Basen-Entgleisungen betrachtet, und damit einen Aspekt beleuchtet, der in vielen bisherigen Arbeiten nur am Rande erwähnt wurde.

In der vorliegenden Analyse zeigten sich pathologische Natriumwerte (Dysnatriämien) bei insgesamt 24,9 % der Patienten, bestehend aus Hyponatriämien (<135 mmol/L) in 18,2 % und

Hypernatriämien (>145 mmol/L) in 6,7 %. Pathologische Kaliumwerte (Dyskaliämien) traten in 26,7 % auf, darunter Hypokaliämien ($<3,5$ mmol/L) in 10,6 % und Hyperkaliämien (>5 mmol/L) in 16,1 %. Störungen des ionisierten Calciums lagen in 24,5 % vor, mit Hypokalzämien ($<1,15$ mmol/L) in 20,7 % und Hyperkalzämien ($>1,35$ mmol/L) in 3,8 %. Parameter des Säure-Basen-Haushalts waren ebenfalls häufig pathologisch: Eine Azidose ($\text{pH} < 7,3$) lag bei 33,0 % vor, während eine Alkalose ($\text{pH} > 7,49$) in 3,7 % beobachtet wurde, sodass insgesamt 36,7 % pathologische pH-Werte aufwiesen. Korrespondierend hierzu zeigten sich Bikarbonatabweichungen mit erniedrigten Werten (<22 mmol/L) in 42,8 % und erhöhten Werten (>26 mmol/L) in 16,7 %. Störungen des Kohlendioxids (pCO_2) traten ebenfalls häufig auf, mit Hypokapnie (<35 mmHg) in 18,3 % und Hyperkapnie (>45 mmHg) in 46,3 %. Diese Befunde verdeutlichen, dass Stoffwechselentgleisungen bei Patienten im nicht-traumatologischen Schockraum nicht als seltene Spezialkonstellationen anzusehen sind, sondern als Regelphänomen kritisch kranker Patienten bewusst wahrgenommen und aktiv adressiert werden müssen.

Die Besonderheit der vorliegenden Untersuchung lag darin, dass das gesamte Spektrum dieser Störungen systematisch erhoben und in Bezug zum Behandlungsergebnis gesetzt wurde. Frühere Arbeiten konzentrierten sich häufig entweder auf einzelne Elektrolytstörungen – beispielsweise Hyponatriämie oder Hyperkaliämie in selektierten internistischen Kollektiven (62,63) – oder auf Säure-Basen-Parameter im intensivmedizinischen Setting (64). In der vorliegenden Untersuchung wurde daher ein anderer Weg gewählt und bewusst ein breiteres Vorgehen verfolgt, weshalb eine Patientenkohorte eingeschlossen wurde, für die der nicht-traumatologische Schockraum als Nahtstelle zwischen prähospitaler Versorgung und weiterführender innerklinischer Therapie diente. In diesem Setting stehen in der Frühphase neben Anamnese und klinischer Untersuchung vor allem Vitalzeichen, eine Blutgasanalyse und mit zeitlichem Verzug und einer Turn-Around-Time von >30 Minuten ein erweitertes Laborpanel zur Verfügung. Die vorliegenden Daten zeigten, dass sich aus den bei Schockraumaufnahme gewonnenen Informationen bereits eine differenzierte Abbildung des Schweregrades der Stoffwechselentgleisung gewinnen lässt, und damit Entscheidungen vorbereitet werden können, die sich später im Verlauf als prognoserelevant erweisen könnten.

Vor dem Hintergrund zunehmender Arbeitsverdichtung, „crowding“ und begrenzter stationärer Kapazitäten kommt der initialen Einschätzung von potentiell kritisch kranken Patienten des Schockraum hinsichtlich des Risikos eine besondere Bedeutung zu. Die Ergebnisse legen nahe, dass nicht allein kardio-respiratorische Vitalparameter, sondern auch das Muster der Elektrolyt- und Säure-Basen-Entgleisungen als wesentlicher Bestandteil dieser Einschätzung herangezogen werden könnten. Darüber hinaus deutet sich an, dass Patienten ohne ausgeprägte Säure-Basen-Entgleisungen trotz Schockraumzuweisung eine günstigere Prognose im Sinne eines niedrigeren Schockraum- und 30-Tages-Mortalitätsrisikos aufweisen, ein

Ergebnis, dass langfristig zur Präzisierung der Indikationsstellung und zu einer gezielteren Ressourcensteuerung beitragen könnte.

4.2 Prognostische Bedeutung der Elektrolyt- und Säure-Basen-Entgleisungen

4.2.1 pH-Wert

Der pH-Wert gehört zu den am häufigsten entgleisten und zugleich klinisch aussagekräftigsten Laborparametern bei Patienten im Schockraum, insbesondere im Kontext von metabolischer Azidose infolge von Schock, Hypoxie oder schwerer Sepsis (65). Im Einklang mit der Literatur war auch die Prävalenz relevanter Azidosen ($\text{pH} < 7,30$) im vorliegenden Patientenkollektiv hoch, ein Ergebnis, dass seine breite Relevanz in der initialen Notfallversorgung nachvollziehbar widerspiegelt. Mit einer AUC von etwa 0,78 weist der pH-Wert die höchste prädiktive Vorhersagekraft für die Schockraum mortalität unter allen untersuchten Parametern auf. Darüber hinaus fanden sich Hinweise, dass das Mortalitätsrisiko kontinuierlich mit fallendem pH-Wert steigt (**Abb. 16**). Ursächlich für diese hohe Aussagekraft ist am ehesten aufgrund der unmittelbaren Reflexion der zellulären Perfusionslage sowie der respiratorischen und metabolischen Kompensation zurückzuführen: Studien bei traumatologischen Patienten weisen nach, dass ein niedriger pH-Wert mit höherem Transfusionsbedarf, Gerinnungsstörung und erhöhter Frühmortalität assoziiert ist (49,66). Ähnliche Ergebnisse zur erhöhten Mortalität in direktem Bezug zu Azidose sind auch bei Sepsispatienten und bei Patienten im kardiogenen Schock auf der Intensivstation nachgewiesen worden (67,68). Für die 30-Tage-Mortalität sank in der vorliegenden Untersuchung die AUC des pH-Wertes jedoch auf etwa 0,70, ein Ergebnis, dass darauf hinweist, dass die unmittelbare metabolische Entgleisung zwar ein starker Kurzzeitprädiktor ist, jedoch im weiteren klinischen Verlauf durch andere Faktoren wie Organersatztherapie, Infektionskontrolle oder funktionelle Reserve überlagert werden könnte. Auch könnten Stabilisierungsmaßnahmen während der Schockraumversorgung und der sich anschließenden intensivmedizinischen Versorgungsphase die initialen negativen Auswirkungen des pH-Wertes wieder kompensieren. Somit könnte der pH-Wert nach den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung ein akutsensitiver Marker mit hoher prädiktiver Vorhersagekraft für eine frühe Letalität darstellen, dessen Langzeitwertigkeit durch unterschiedlichen Variablen (z.B. therapeutische Interventionen, spätere Komplikationen) weiter moduliert wird. Dies wird durch mehrere Studien gestützt, die einen engen Zusammenhang zwischen Azidämie und Mortalität zeigen: So konnte in einer Untersuchung von Samanta et al. (69) gezeigt werden, dass bereits frühe Veränderungen des arteriellen pH-Werts mit einer erhöhten Mortalität während der intensivmedizinischen Versorgung assoziiert sind. Ebenso berichteten Henrique et al. (70), dass

Patienten mit ausgeprägter Azidose bei Aufnahme auf die Intensivstation eine signifikant erhöhte Sterblichkeit aufwiesen.

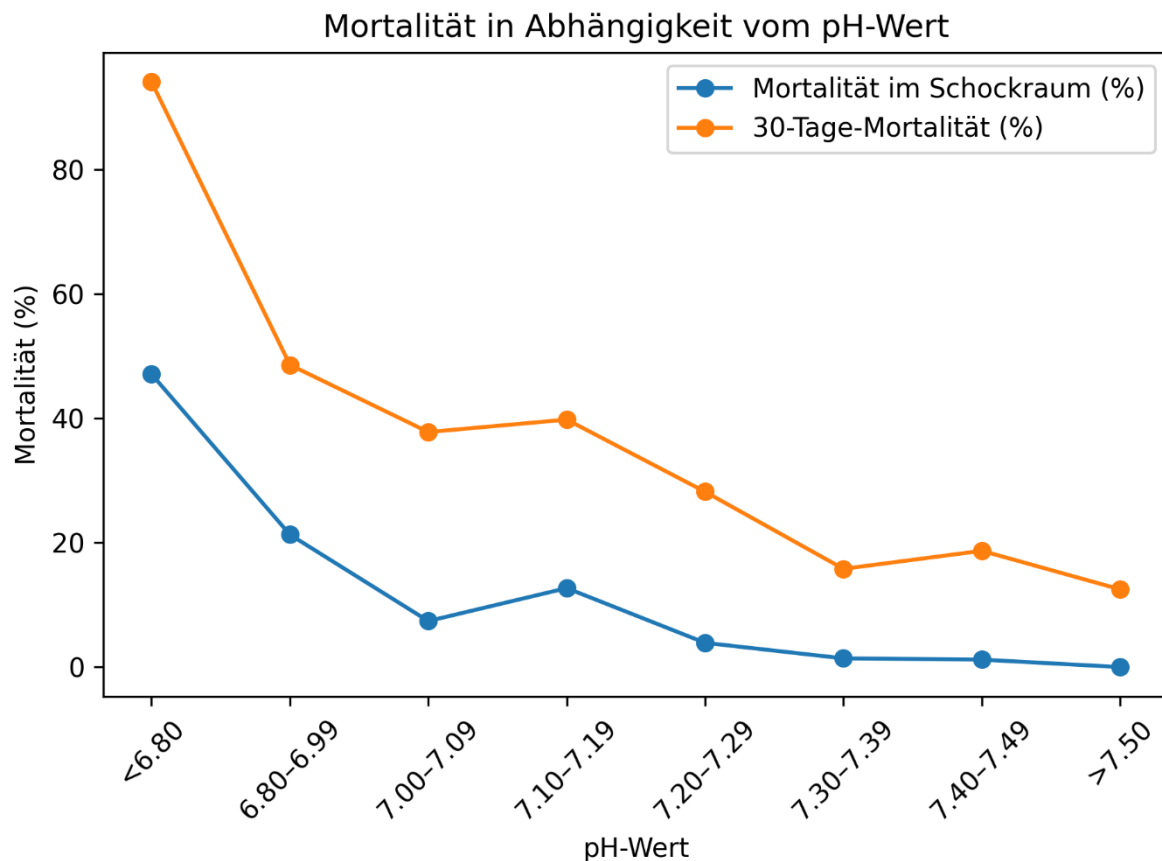


Abb. 16: Schockraum- und 30-Tage-Mortalität in Abhängigkeit von initialen pH-Wert bei nicht-traumatologisch kritisch kranken Patienten in der Notaufnahme.

4.2.2 Laktat

Laktaterhöhungen zählen zu den zuverlässigsten Indikatoren für systemische Hypoperfusion und treten somit in der vorliegenden Untersuchung auch mit hoher Prävalenz im Schockraum auf. Studien haben insbesondere bei Patienten mit Sepsis (71), Polytrauma (72) oder massiver Hypovolämie gezeigt, dass steigende Laktatwerte konsistent mit einer erhöhten Mortalität assoziiert sind (73). Damit finden sich die vorliegenden Studienergebnisse im Einklang mit der Literatur: Insbesondere die AUC von etwa 0,75 für die Schockraum mortalität in der vorliegenden Untersuchung bestätigt erneut die starke kurzfristige Aussagekraft dieses Parameters. Laktat reflektiert nicht nur anaeroben Zellstoffwechsel infolge gestörter Mikrozirkulation, sondern dient auch als Marker für den metabolischen Gesamtstress des Organismus (74). In der Intensivmedizin ist Laktat ein zentraler Bestandteil der Schockdiagnostik und unabhängiger

prognostischer Prädiktor der Mortalität bei Patienten mit Sepsis. Dabei weist es in einer Studie sogar eine höhere diskriminative Vorhersagekraft im Bezug auf Mortalität bei Patienten auf der Intensivstation mit Sepsis als der qSOFA-Score auf und zeigt eine vergleichbare prognostische Leistungsfähigkeit wie der SOFA-Score (71).

Interessanterweise bleibt in der vorliegenden Untersuchung die prognostische Vorhersagekraft des Laktates auch über den Schockraum hinaus bestehen: Mit einer AUC von etwa 0,72 für die 30-Tage-Mortalität zeigte Laktat seine Bedeutung als Prädiktor für systemische Resilienz, inflammatorische Last und Therapieansprechen und befindet sich damit im Einklang zu vorangegangenen Untersuchungen (75,76). Diese positiven Befunde hinsichtlich der akuten Dynamik und der Langzeitprognose heben Laktat von anderen Parametern als besondere geeigneter Prädiktor hervor. Darüber hinaus ist die Laktat-Clearance innerhalb der ersten Stunden ein anerkannter Surrogatmarker für Therapieerfolg, mit hoher Relevanz auch als Therapiesteuerungsinstrument insbesondere bei intensivpflichtigen Patienten mit septischem oder hämorrhagischem Schock (20). Laktat könnte damit sowohl in der initialen Triage als auch im klinischen Verlauf von unselektionierten nicht-traumatologischen kritisch kranken Schockraumpatienten ein essenzieller Marker mit hoher prognostischer Aussagekraft sein.

4.2.3 Bikarbonat

Bikarbonatentgleisungen – insbesondere erniedrigte Werte (<22 mmol/L) – sind häufig bei Patienten mit metabolischer Azidose, chronischer Niereninsuffizienz oder protrahiertem Volumenmangel (77,78). Die Prävalenz dieser Entgleisung ist bei Patienten der Notaufnahme hoch, was sich auch in den vorliegenden Daten widerspiegelt, in denen 57,3 % der Messwerte außerhalb des Normbereichs lagen.

In der vorliegenden Untersuchung wies eine AUC von etwa 0,72 für die Schockraum mortalität auf eine relevante, wenn auch nicht herausragende prognostische Rolle des Bikarbonats bei kritisch kranken nicht-traumatologischen Schockraumpatienten bezüglich der Kurz- und Langzeitsterblichkeit hin. Das Bikarbonat reagiert auf metabolische Stresszustände, ist jedoch ein relativ träger Parameter, der nicht so unmittelbar auf akute Hypoperfusion im Vergleich zum Laktat oder des pH-Wertes reagiert. In Studien mit traumatologischen Patienten konnte Bikarbonat als alleinstehender Parameter und guter Mortalitätsprädiktor bei einem relevanten traumaassoziierten Blutverlust nachgewiesen werden (79). Auf der Intensivstation ist ein chronisch reduzierter Bikarbonatspiegel häufig mit renaler Dysfunktion, respiratorischer Kompensation oder Sepsis assoziiert, und niedrigere Serum-Bicarbonatwerte sind signifikant mit einem erhöhten 28-Tage-Mortalitätsrisiko assoziiert, vor allem bei Patienten mit akutem Lungenversagen (ARDS) (80). In unserem Patientenkollektiv sank die AUC der 30-Tage-Mortalität auf

etwa 0,68. Ein Ergebnis, dass die begrenzte Aussagekraft im Langzeitverlauf, am ehesten bei der großen Breite eines nicht selektionierten Patientenkollektivs, widerspiegeln könnte. Dennoch könnte die Betrachtung des Bicarbonats in Kombination mit den anderen Parametern Laktat, pH oder Base Excess hilfreich zur differenzierten Einschätzung metabolischer Dekompensation sein. Als Einzelmarker besitzt Bicarbonat vor allem kurzfristige Aussagekraft, seine langfristige Relevanz bleibt in diesem Fall begrenzt.

4.2.4 Kohlendioxid-Partialdruck

Abnorme Kohlendioxid-Partialdruck ($p\text{CO}_2$)-Werte sind in der Notfallmedizin nicht selten, jedoch ist ihre prognostische Bedeutung uneinheitlich und stark von der zugrunde liegenden Erkrankung abhängig, sodass der Parameter allein nur eine begrenzte Aussagekraft für das Behandlungsergebnis besitzt (81). Die Prävalenz ist differenziert zu betrachten: Hypokapnien treten häufig als Reaktion auf metabolische Azidose oder Hyperventilation auf, während Hyperkapnien oft bei Chronisch Obstruktiver Lungenerkrankung (COPD) oder respiratorischer Erschöpfung als ventilatorisches Atemversagen beobachtet werden (82). Bei sowohl invasiv als auch nicht-invasiv beatmeten Patienten wird der Kohlendioxid-Partialdruck durch die Beatmungssteuerung beeinflusst, entweder gezielt als therapeutisches Ziel oder als Nebenerscheinung der Beatmung (83).

In der vorliegenden retrospektiven Analyse lag die Prävalenz der Hypokapnie bei 18,3 % und der Hyperkapnie bei 46,3 %; die AUC für die Schockraum mortalität betrug 0,66 und spiegelt damit die begrenzte Spezifität des $p\text{CO}_2$ als prognostischen Marker wider. Im Gegensatz zu pH oder Laktat, die unmittelbar mit Schockzuständen und Gewebeshypoperfusion assoziiert sind, wird der $p\text{CO}_2$ -Wert wesentlich durch Atemmechanik sowie kompensatorische ventilatorische Anpassungen beeinflusst. Studien zeigen zudem, dass der Zusammenhang zwischen PaCO_2 und Mortalität uneinheitlich ist und in einigen Krankheitsgruppen keine signifikante Assoziation mit dem Behandlungsergebnis nachweisbar war (84). In der Intensivmedizin ist der $p\text{CO}_2$ -Wert vor allem für die Einstellung der Beatmungsparameter relevant, nicht aber als Primärindikator für Mortalität. Limitierende Wirkung können $p\text{CO}_2$ -Werte aber dennoch für ein finales Beatmungsversagen haben, wenn auch extrakorporale Verfahren keine Extraktion mehr ermöglichen. Trotzdem besteht bereits Evidenz, dass bei Patienten mit akutem Lungenversagen (ARDS) auf der Intensivstation niedrigere Kohlendioxidpartialdruckwerte bei Aufnahme signifikant mit einer höheren 28-Tage-Mortalität assoziiert sind (60). Auch für die 30-Tage-Mortalität bleibt die AUC gering ($\sim 0,64$), da respiratorische Entgleisungen häufig kompensiert werden und daher nur selten isoliert zur Letalität führen, da der Kohlendioxidpartialdruck im Blut wesentlich durch die respiratorische Regulation und kompensatorische

Anpassungen der Ventilation beeinflusst wird (85). Für nicht selektionierten Traumakollektiven gibt es aktuell wenig Evidenz, ob eine Hyper- oder Hypokapnie mit einer erhöhten Mortalität assoziiert ist. In dem traumatologischen Setting spielt der $p\text{CO}_2$ -Spiegel eine wichtige Rolle in der Prognose und Behandlung von Patienten mit schwerem Schädel-Hirn-Trauma, v. a. in Beatmungssituationen, wobei insbesondere der Gradient zwischen arteriellem $p\text{CO}_2$ ($pa\text{CO}_2$) und endtidalem CO_2 (ETCO_2) von prognostischer Bedeutung ist, da ein erhöhter $pa\text{CO}_2$ – ETCO_2 -Gradient – insbesondere in der frühen Phase der Versorgung und bei Vorliegen zusätzlicher Begleitverletzungen – mit einer erhöhten Mortalität assoziiert wurde (86,87). Vor diesem Hintergrund erscheint der $p\text{CO}_2$ -Wert – insbesondere in Kombination mit Parametern des Säure-Basen-Haushalts – eher zur Einschätzung der respiratorischen Reserve oder zur Identifikation von Hyperkapnien bei Exazerbationen chronischer respiratorischer Erkrankungen (z.B. COPD) geeignet zu sein als zur Risikoabschätzung bei akut vital bedrohten, nicht-traumatologischen Schockraumpatienten.

4.2.5 Kalium

Kaliumveränderungen sind ein häufiges Laborbefund in der Notaufnahme – mit sowohl Hypokaliämien (z.B. Diuretika, metabolische Alkalose, Insulineffekte) als auch Hyperkaliämien (z.B. Rhabdomyolyse, Nierenversagen, Azidose) (88). In der vorliegenden Untersuchung war die Prävalenz beider Entgleisungstypen moderat bis hoch (Hyperkaliämie: 16,1 %, Hypokaliämie: 10,6 %). Die AUC für die Schockraum mortalität lag bei etwa 0,65 und zeigte eine geringe prognostische Aussagekraft, während sie für die 30-Tage-Mortalität sogar noch niedriger war ($\sim 0,60$). Diese Diskrepanz trotz klinischer Relevanz in Extremwertebereichen (z.B. $>6,5$ oder $<2,5$ mmol/L) lässt sich durch die gute therapeutische Kontrollierbarkeit erklären: Kalium kann in der Akutphase rasch korrigiert werden, wodurch potenziell letale Effekte (z.B. Arrhythmien) präventiv abgefangen werden (89). Dyskaliämien (sowohl Hypo- als Hyperkaliämie) sind in einer breiten Patientengruppe mit einer erhöhten Mortalität assoziiert, jedoch steht hier eher die chronische Dyskaliämie als akute Veränderungen im Vordergrund (90). In der Intensivmedizin ist das Monitoring des Kaliums essenziell und wird standardmäßig durchgeführt, da Kalium eine zentrale Rolle für die kardiovaskuläre und neuromuskuläre Funktion spielt und sowohl Hypo- als auch Hyperkaliämien mit relevanten Komplikationen und einer erhöhten Mortalität assoziiert sind (91). Besonders bei Trauma ist Kalium mehr ein Marker der pathophysiologischen Kaskade [infolge von Quetschverletzungen (Crush injury) oder einer Massentransfusion] als ein kausaler Letalitätsfaktor (92,93). Vor dem Hintergrund der geringen prognostischen Vorhersagekraft für die Mortalität erscheint die Bedeutung von Kaliumentgleisungen als eigenständiger Prognoseparameter bei nicht-traumatologischen, kritisch kranken Patienten im

Schockraum der Notaufnahme begrenzt. Möglicherweise hängt dies damit zusammen, dass ihre klinische Relevanz stark vom klinischen Kontext geprägt und therapeutischen Interventionen (je nach Befund: Kaliumsubstitution oder -elimination) zugänglich ist.

4.2.6 Natrium

Dysnatriämien stellen in der Notaufnahme keine Seltenheit dar und treten mit bemerkenswerter Prävalenz insbesondere bei älteren und multimorbiden Patienten auf (94). Dabei dominieren leichte Hyponatriämien, während Hypernatriämien seltener, aber in ihrer Pathophysiologie oft schwerwiegender sind – z.B. im Rahmen von Exsikkose oder schwerer metabolischer Dehydratation (95).

In der vorliegenden Arbeit befanden sich 75,2 % der Messwerte bezüglich des Natriums im Referenzbereich von 135-145 mmol/L, während 18,2 % der Patienten eine Hyponatriämie (<135 mmol/L) und 6,7 % eine Hypernatriämie (>145 mmol/L) aufwiesen, sodass insgesamt bei einem Viertel der Fälle (24,9 %) eine Dysnatriämie nachgewiesen werden konnte. Trotz dieser Häufigkeit zeigt Natrium eine niedrige AUC sowohl für die Schockraum mortalität ($\sim 0,64$) als auch für die 30-Tage-Mortalität ($\sim 0,62$).

Diese niedrige Vorhersagekraft lässt sich dadurch erklären, dass Natrium primär als chronisch-regulatorischer Parameter fungiert, dessen Abweichungen eher eine vorbestehende Vulnerabilität als eine akute Letalität anzeigen. In der akuten Schocksituation sind die Werte meist stabil oder verändern sich nur langsam, ein Ergebnis, dass die geringe Trennschärfe für frühe Vitalgefährdung unterstreicht (96). Nur extreme Wertebereiche (<120 oder >155 mmol/L) gelten als Prädiktoren für neurologische Komplikationen und erhöhte Mortalität in der Intensivmedizin – jedoch machen diese ausgeprägten Entgleisungen aus epidemiologischer Sicht in Patientenkollektiven der Notaufnahme einschließlich des Schockraums lediglich einen kleinen Anteil aller Natriumentgleisungen aus (97). Die Gefahr der extremen Natriumentgleisungen besteht häufig nicht durch die Entgleisung an sich, sondern durch die zu schnelle Korrektur des Natriumwerts, wobei die neuere Studien zeigen, dass auch eine zügigere Korrektur für die Patienten komplikationsarm bleibt (98,99). Die geringe diskriminative Leistungsfähigkeit für die Mortalität in dieser Untersuchung spricht dafür, dass Natriumentgleisungen trotz häufigem Auftreten nur eingeschränkt als Prognosemarker geeignet erscheinen. Denkbar ist, dass der Parameter stärker mit der längerfristigen Regulation des Wasserhaushalts und der osmotischen Homöostase verknüpft ist als mit den unmittelbaren pathophysiologischen Prozessen einer akuten vitalen Gefährdung.

4.2.7 Ionisiertes Calcium

Bei schwerverletzten Patienten steht das Calcium im Vordergrund der Diagnostik als Teil des „Diamond of Death“ (100) und ist damit einer der vier pathophysiologischen Hauptfaktoren aus Hypothermie, Azidose, Koagulopathie und Hypokalzämie, die sich gegenseitig verstärken und unbehandelt zu einer raschen Verschlechterung des Zustands und erhöhter Mortalität von Traumapatienten führen. Calcium spielt dabei eine zentrale Rolle, da es essenziell für die Myokardkontraktilität, den Gefäßtonus und insbesondere für mehrere Schritte der Blutgerinnung ist. Eine Hypokalzämie, häufig bedingt durch massive Transfusionen mit citrathaltigen Blutprodukten, aggraviert die Koagulopathie und hämodynamische Instabilität (50). Hypokalzämien sind bei Patienten im nicht traumatologischen Schockraum häufig zu beobachten und treten mit mittlerer bis hoher Prävalenz insbesondere bei Patienten mit Sepsis oder metabolischer Azidose auf (101). In der vorliegenden retrospektiven Analyse befanden sich beim ionisierten Calcium 75,4 % der Messwerte im Referenzbereich von 1,15–1,35 mmol/L, während 20,7 % der Patienten eine Hypokalzämie ($<1,15$ mmol/L) und 3,8 % eine Hyperkalzämie ($>1,35$ mmol/L) aufwiesen, sodass insgesamt 24,5 % der Fälle eine Abweichung vom Normbereich zeigten, wobei Hypokalzämien deutlich häufiger als Hyperkalzämien auftraten. Starke Entgleisungen im hypokalzämischen Bereich wurden bereits in mit einer erhöhten Mortalität kritisch kranker Patienten assoziiert (102). Hyperkalzämien kommen gehäuft in Patientenkollektiven mit diversen malignen Erkrankungen vor, jedoch eine direkte Korrelation zur erhöhten Mortalität aufgrund der Calciumentgleisung ist bis dato nicht beschrieben worden (103). Dennoch zeigen die AUC-Werte dieser Arbeit für ionisiertes Calcium und Mortalität eine nur begrenzte Korrelation – sowohl für die Schockraum mortalität ($\sim 0,65$) als auch für die 30-Tage-Mortalität ($\sim 0,61$). Die Diskrepanz zwischen klinischer Relevanz und prognostischer Leistungsfähigkeit in Bezug auf Mortalität lässt sich durch mehrere Faktoren erklären: Einerseits ist Calcium stark pH-abhängig und unterliegt physiologischen Schwankungen, die nicht zwangsläufig pathologisch sind (104). Andererseits verlaufen viele Hypokalzämien mild und klinisch stumm, insbesondere bei Patienten ohne aktive Blutung oder Gerinnungsstörung (105). In der Akutsituation mag ein niedriger Calciumwert Hinweis auf Transfusionsbedarf oder Kreislaufdepression sein (106). Im Langzeitverlauf sinkt die prognostische Aussagekraft weiter, ein Ergebnis, dass sich auch in dieser Arbeit widerspiegelt, am ehesten, weil Calcium schnell substituiert werden kann. Trotz seiner pathophysiologischen Relevanz – etwa für die Myokardfunktion und Koagulation – bleibt ionisiertes Calcium in der Stratifizierung des Behandlungsergebnis ein Randparameter mit geringer Aussagekraft bei gleichzeitig nicht unerheblicher Entgleisungshäufigkeit.

4.2.8 Glukose

Glukoseentgleisungen gehören zu den häufigsten laborchemischen Auffälligkeiten in der Notaufnahme, wobei sowohl Hypo- als auch Hyperglykämien regelmäßig bei akut erkrankten Patienten nachgewiesen werden können (107). In der vorliegenden retrospektiven Analyse zeigte sich dabei eine klare Dominanz der Hyperglykämien: Während 77,2 % der Messwerte im Referenzbereich (100–272 mg/dl) lagen, fanden sich 9,8 % im hypoglykämischen Bereich (<100 mg/dl) und 13,0 % im hyperglykämischen Bereich (>272 mg/dl), sodass Hyperglykämien häufiger als Hypoglykämien auftraten. Diese Entgleisungen entstehen vor allem als Teil der endokrinen Stressreaktion bei akuten Erkrankungen und werden zusätzlich durch präexistente Diabeteserkrankungen beeinflusst (108) – dieser Zusammenhang könnte die hohe Prävalenz in der vorliegenden Arbeit erklären. Trotz dieser Häufigkeit ist die AUC von Glukose für die Schockraum mortalität niedrig ($\sim 0,62$), und noch geringer für die 30-Tage-Mortalität ($\sim 0,58$). Dieser Befund unterstreicht die geringe Spezifität des Parameters: Während eine ausgeprägte Hyperglykämie in der Akutphase ein Hinweis auf adrenerge Gegenregulation sein kann, ist sie kein verlässlicher Indikator für tatsächliche Gewebhypoxie oder hämodynamische Instabilität. In der Intensivmedizin ist bekannt, dass die Glukosevariabilität – nicht der absolute Wert – eine höhere prognostische Relevanz in Bezug auf das Überleben besitzt (109,110). Hypoglykämien hingegen, die mit einer erhöhten Letalität assoziiert sind, treten in der Notaufnahme vergleichsweise selten auf und finden sich häufig im Kontext von Insulintherapie, Leberinsuffizienz oder anderen schweren Stoffwechselstörungen (111,112). In Bezug auf 30-Tages-Mortalität, zeigen Studiendaten und Metaanalysen, dass Patienten mit Sepsis eine erhöhte Mortalität auf der Intensivstation haben, wenn sie bei der Aufnahme hypoglykäm sind, jedoch ist die Evidenz schwach (113,114). Insgesamt legen sowohl die Ergebnisse der vorliegenden Analyse als auch die berichteten Befunde aus der Literatur nahe, dass Glukose trotz ihrer hohen Entgleisungsprävalenz in beiden Zeitfenstern eher als unspezifischer Marker mit begrenzter prognostischer Aussagekraft zu bewerten ist.

4.2.9 Hämoglobin

Hämoglobinentgleisungen, insbesondere Anämien, treten in der Notaufnahme mit hoher Prävalenz auf, sind jedoch meist chronischer Natur (115). Für den Hämoglobinwert existieren geschlechtsspezifische Referenzbereiche - nach Angaben der World Health Organization (WHO) liegen die Normwerte bei erwachsenen Männern bei 13–18 g/dL und bei nicht schwangeren Frauen bei 12–16 g/dL (116). Im Kontext der Notfall- und Intensivmedizin besteht jedoch bisher keine klare Evidenz dafür, dass eine Hyperhämoglobinämie einen relevanten Einfluss auf das

klinische Outcome hat. Prognostisch von Bedeutung ist vielmehr der anämische Zustand sowie transfusionsrelevante Schwellenwerte. In der aktuellen Evidenzlage wird eine Transfusion in der Regel ab einem Hämoglobinwert von ≤ 10 g/dL erwogen, unabhängig vom Geschlecht(117). Vor diesem Hintergrund wurde in der vorliegenden Arbeit ein einheitlicher Schwellenwert von 10 bis 17 g/dL definiert, wobei 10 g/dL der oberen Transfusionsgrenze und 17 g/dL der gemittelten Obergrenze beider Geschlechter entspricht. Die akuten Anämien sind bei Patienten im nicht-traumatologischen Schockraum am ehesten durch gastrointestinale Blutungen verursacht (118). Weitere Patienten präsentieren sich mit normochrom-normozytärer Anämie bei Tumorerkrankungen, renal Dysfunktion oder chronischer Entzündung (119). Eine Anämie kann durch Kompensationsmechanismen (z.B. Steigerung des Herzzeitvolumens) kompensiert und durch Bluttransfusionen rasch korrigiert werden (120). Diese beide Bewältigungsstrategien einer Anämie bieten eine plausible Erklärung für die niedrige AUC-Werte für die Schockraum mortalität ($\sim 0,63$) und eine noch geringere für die 30-Tage-Mortalität ($\sim 0,60$). Der Hb-Wert allein bildet das Risiko für eine akute lebensbedrohliche Dekompensation unzureichend ab, da sowohl Verdünnungseffekte (z.B. Volumengabe) als auch verzögerte Manifestation akuter Blutungen die Aussage verzerren können (120). Im intensivmedizinischen Verlauf hat sich gezeigt, dass Anämien zwar mit verlängerter Beatmungsdauer und schlechterem Behandlungsergebnis assoziiert sein können, jedoch nicht unabhängig prädiktiv für die Mortalität sind (121). Ohne begleitende Kontextparameter wie Hämatokritverlauf, Transfusionsbedarf oder Marker der Gewebeoxygenierung bleibt Hämoglobin ein labortechnisch prominenter, aber prognostisch in Bezug auf die Mortalität schwacher Parameter.

4.3 Einordnung die Ergebnisse in den Kontext des nicht-traumatologischen Schockraums

Die prognostische Analyse zeigt, dass sich Elektrolyt- und Säure-Basen-Entgleisungen sowohl in ihrer Prävalenz als auch in ihrer Bedeutung für das Behandlungsergebnis unterscheiden und dass sich innerhalb der untersuchten Parameter eine gewisse Hierarchie der Vorhersagekraft abzeichnet. Zunächst wird deutlich, dass sowohl Elektrolytstörungen als auch Säure-Basen-Entgleisungen mit erhöhter Mortalität assoziiert sind.

Neben den spezifischen Elektrolyt-, Hämoglobin- und Glukosestörungen rückt in der Analyse jedoch vor allem die Gesamtsituation des Säure-Basen-Haushalts in den Fokus. Parameter wie pH, Bicarbonat, Basenexzess und Laktat bilden die Summenwirkung unterschiedlicher pathophysiologischer Prozesse ab. Eine Azidose entsteht nicht nur durch Gewebhypoperfusion mit Laktatanstieg, sondern auch durch Einschränkungen der renalen und hepatischen Eliminationskapazität, durch ventilatorische Insuffizienz mit CO_2 -Retention und durch exogene oder

endogene Säurelast (122). Die Daten der Untersuchung zeigen, dass insbesondere eine ausgeprägte Azidose eng mit der Schockraum- und 30-Tage-Mortalität korreliert. Ein deutlich erniedrigter pH-Wert kann somit als globaler Marker der physiologischen Erschöpfung interpretiert werden, während Laktat, Bicarbonat und Basenexzess zusätzliche Informationen zur Differenzierung des zugrunde liegenden Mechanismus liefern, etwa zur Unterscheidung zwischen vorwiegend perfusionsbedingten oder vorwiegend respiratorischen Störungen.

Wie zuvor ausgeführt reflektieren Elektrolytstörungen häufig längerfristige oder chronische Belastungen, können aber im akuten Kontext auf rasche Volumenverschiebungen, endokrine Störungen, akute Nierenfunktionsänderungen oder Medikamenteneffekte hinweisen. Sie tragen damit eine andere Art von Information als Säure-Basen-Parameter: Während letztere die aktuelle Dekompensation abbilden, zeigen Elektrolyte eher die Vulnerabilität und die längerfristige „Vorgeschichte“ des Organismus.

Unter den untersuchten Parametern erweist sich der pH-Wert als besonders starker Prädiktor für die unmittelbare Schockraum mortalität, während Laktat und Bicarbonat ebenfalls relevante, wenn auch etwas geringere prognostische Beiträge liefern. Die Beobachtung, dass der pH-Wert – als integratives Maß – die höchste Kurzzeitprognose bietet, steht im Einklang mit der Vorstellung, dass in der Phase maximaler Bedrohung weniger die genaue Ursache, sondern vielmehr das Ausmaß der globalen Homöostase-Störung über Leben und Tod entscheidet.

Die geringere Trennschärfe einzelner Elektrolyte für die 30-Tage-Mortalität lässt sich am ehesten dadurch erklären, dass im weiteren Verlauf Faktoren wie Therapiequalität, das Auftreten von Komplikationen, die Dauer der Intensivtherapie und Patienten-individuelle Resilienz eine größere Rolle spielen als der initiale Elektrolytstatus. Dennoch behalten Elektrolytstörungen ihre Bedeutung als Marker erhöhter Vulnerabilität, insbesondere wenn sie persistieren oder sich unter Therapie verschlechtern. Aus der Gesamtschau wird deutlich, dass Elektrolyt- und Säure-Basen-Entgleisungen gemeinsam ein pathophysiologisches Profil bilden, das den Schweregrad der Erkrankung bei Aufnahme gut widerspiegelt und eine deutlich feinere Risikostratifizierung ermöglicht als Vitalzeichen allein.

Im Vergleich zu rein vitalzeichenbasierten Scores [z.B. qSOFA (71), NEWS2(123) , MEWS (124)], legen die Ergebnisse nahe, dass ein strukturierter Blick auf die initiale Blutgasanalyse und das Elektrolytprofil unverzichtbar ist, um für nicht-traumatologische Schockraumpatienten eine adäquate Risikostratifizierung zu erreichen. Daraus ergibt sich die Perspektive, bestehende Frühwarnsysteme durch einfache Laborparameter – insbesondere pH, Laktat, Bicarbonat – zu ergänzen und so zu einem kombinierten klinisch-laboranalytischen Risikomodell weiterzuentwickeln.

4.4 Klinische und gesundheitssystemische Implikationen

Die Erkenntnis, dass Elektrolyt- und Säure-Basen-Entgleisungen bei nicht-traumatologischen Schockraumpatienten hochprävalent und in differenzierter Weise mit der Mortalität verknüpft sind, hat unmittelbare Konsequenzen für die klinische Praxis: Zunächst stellt sich die Frage, wie diese Informationen in Schockraumalgorithmen und Standard Operating Procedures (SOPs) abgebildet werden können. Die Ergebnisse sprechen dafür, eine frühzeitige Blutgasanalyse mit Bestimmung von pH, Bicarbonat, Basenexzess und Laktat sowie ein erweitertes Elektrolytprofil konsequent als integraler Bestandteil und Standard bei Schockraumpatienten zu etablieren. Dies sollte nicht als optionaler Zusatz, sondern als integraler Bestandteil der initialen Diagnostik verstanden werden – vergleichbar mit EKG, Monitoring und Basislabor.

Darüber hinaus sollten die erhobenen Werte nicht nur dokumentiert, sondern aktiv in Entscheidungs- und Triageprozesse einfließen. Ausgeprägte Elektrolytstörungen und deutliche Säure-Basen-Entgleisungen sollten als eigenständige Warnsignale verstanden werden, die unabhängig von der vermuteten Grunderkrankung eine Intensivierung von Diagnostik und Therapie rechtfertigen. Dies kann die frühzeitige Einbindung spezialisierter Fachdisziplinen, die rasche Sicherung eines Intensivstationsbettes, die Indikationsstellung für invasive Monitoringverfahren sowie die priorisierte Durchführung bildgebender und interventioneller Maßnahmen beinhalten. Insbesondere bei Unsicherheit über die Dringlichkeit einer intensivmedizinischen Aufnahme kann ein ausgeprägtes Entgleisungsmuster den Ausschlag zugunsten einer großzügigeren Eskalation und Aufnahme auf die Intensivstation geben.

Für das medikamentöse Management haben die Befunde ebenfalls Konsequenzen. Viele in der Akutmedizin eingesetzte Medikamente – etwa Metformin, Diuretika, ACE-Hemmer, bestimmte Antiarrhythmika, Insulin, osmotische Substanzen oder Katecholamine – haben relevante Effekte auf den Elektrolyt- und Säure-Basen-Haushalt(125,126). Die Kenntnis des initialen Entgleisungsmusters kann helfen, Therapien individuell anzupassen, iatrogene Verschlechterungen zu vermeiden und Substitutionsstrategien gezielt zu planen. Beispielsweise sollten sich Therapieschemata bei bereits bestehender Hyperkaliämie deutlich von denen bei normokalämischen Patienten unterscheiden, und jede Entscheidung für eine aggressive Volumentherapie sollte den bestehenden Natriumstatus sowie die Gefahr weiterer Elektrolytverschiebungen berücksichtigen.

In der prähospitalen Versorgung bietet die zunehmende Verfügbarkeit von Point-of-Care-Test-Blutgasanalysen und Elektrolytbestimmungen zusätzliche Möglichkeiten. Wenn bereits im Rettungsdienst erhebliche Elektrolyt- oder Säure-Basen-Entgleisungen festgestellt werden, kann dies die Wahl der Zielklinik beeinflussen und die frühzeitige Aktivierung des Schockraums ermöglichen. Die vorliegenden Daten stützen den Ansatz, prähospitalen Messungen nicht nur für

einzelne spezifische Fragestellungen (z.B. Laktat bei Sepsisverdacht), sondern als integralen Bestandteil einer umfassenden Risikoeinschätzung zu nutzen. Langfristig könnten standardisierte prähospitale Algorithmen entwickelt werden, die definierte Grenzwerte – etwa für pH, Laktat oder Kalium – als Entscheidungskriterien für Transportziele, Alarmierung von Notärzten oder Aktivierung eines nicht-traumatologischen Schockraums verwenden.

Auf gesundheitssystemischer Ebene ergeben sich aus der Untersuchung mehrere Perspektiven: Zum einen kann die Verteilung von Elektrolyt- und Säure-Basen-Entgleisungen bei Aufnahme als Indikator für die Schwere des Patientengutes und die Komplexität der Versorgung dienen. Einrichtungen mit einem hohen Anteil schwer entgleister Schockraumpatienten benötigen andere strukturelle Ressourcen als Häuser mit geringerer Fallkomplexität, etwa mehr Intensivstationsbetten, engmaschigere internistische und nephrologische Konsiliardienste oder eine stärkere Präsenz von Notfallmediziner:innen. Zum anderen könnten Parameter wie „Zeit bis zur ersten Blutgasanalyse“, „Vollständigkeit der initialen Elektrolytbestimmung“ oder „Anteil der Patienten mit erkannter und adressierter schwerer Entgleisung“ als Qualitätsindikatoren im Notaufnahmewesen etabliert werden.

Schließlich hat die Arbeit auch Implikationen für Ausbildung, Fortbildung und Weiterbildung sowie interdisziplinäre Kommunikation. Die Interpretation komplexer Elektrolyt- und Säure-Basen-Befunde erfordert ein solides pathophysiologisches Verständnis, das in der Aus- und Weiterbildung von Notfall- und Intensivmediziner:innen sowie Pflegekräften einen festen Platz haben sollte. Die hier gewonnenen Erkenntnisse sprechen dafür, Schulungsprogramme stärker auf die praktische Nutzung dieser Informationen in Schockraumsituationen auszurichten und die Zusammenarbeit zwischen Notaufnahme, Intensivstation, Nephrologie, Kardiologie, Endokrinologie und anderen Disziplinen zu intensivieren. Interdisziplinäre Fallbesprechungen und Morbiditätskonferenzen könnten helfen, den Umgang mit komplexen Entgleisungsmustern zu standardisieren und zu verbessern.

5 Limitationen der Untersuchung

Die Interpretation der Ergebnisse muss vor dem Hintergrund mehrerer Limitationen sorgsam erfolgen. Es handelt sich um eine retrospektive monozentrische Untersuchung in einem universitären Maximalversorger. Die Patientenpopulation, die prähospitale Zuweisungspraxis, das Spektrum der Grunderkrankungen und die innerklinischen Abläufe können sich von denen anderer Einrichtungen deutlich unterscheiden. In Krankenhäusern niedrigerer Versorgungsebene, in anderen Regionen oder Gesundheitssystemen könnten sowohl die Prävalenz als auch die klinische Bedeutung von Elektrolyt- und Säure-Basen-Entgleisungen abweichen. Die

Generalisierbarkeit der Beobachtungen ist daher begrenzt und bedarf der Bestätigung durch weitere Studien.

Wie jede retrospektive Analyse ist auch diese Untersuchung anfällig für Dokumentationslücken und Residualkonfundierung. Nicht in allen Fällen standen vollständige Informationen zu prähospitalen Maßnahmen, Begleiterkrankungen, Langzeitmedikation oder zeitkritischen Prozessparametern zur Verfügung, sodass nicht alle potenziell einflussreichen Faktoren kontrolliert werden konnten. Der beobachtete Zusammenhang zwischen Elektrolyt- bzw. Säure-Basen-Entgleisungen und Mortalität ist daher vor allem als statistische Assoziation zu interpretieren. Die Frage, in welchem Ausmaß die Entgleisungen selbst zum ungünstigen Verlauf beitragen und in welchem Umfang sie lediglich Ausdruck der Schwere der Grunderkrankung sind, kann auf dieser Grundlage nicht abschließend beantwortet werden.

Ein weiterer methodischer Aspekt betrifft den Verzicht auf komplexe multivariable Modelle, in denen alle Elektrolyt- und Säure-Basen-Parameter gemeinsam betrachtet werden. Aufgrund der begrenzten Ereigniszahl, der Heterogenität der Population und der engen Korrelationen zwischen den Variablen wäre die Stabilität solcher Modelle eingeschränkt gewesen. Die gewählte Herangehensweise mit Fokus auf univariate und ausgewählte bivariate Analysen erleichtert die klinische Interpretation, lässt jedoch offen, welche unabhängige Zusatzinformation einzelne Parameter – insbesondere der pH-Wert – gegenüber anderen Variablen tatsächlich liefern. Zudem wurden zeitliche Dynamiken, etwa die Korrektur von Entgleisungen im Verlauf oder die Laktat- und pH-Clearance in den ersten Stunden, nicht systematisch erfasst, sodass wichtige Informationen zur Therapieresponse unberücksichtigt bleiben.

Hinzu kommt, dass die ätiologiespezifischen Unterschiede der Entgleisungen nicht systematisch untersucht wurden. Verschiedene Krankheitsbilder führen auf unterschiedlichen Wegen zu vergleichbaren Elektrolyt- und Säure-Basen-Konstellationen; gleichzeitig können Prognose, Behandlungsergebnis und therapeutische Optionen erheblich variieren. Eine differenzierte Analyse einzelner Subgruppen in Bezug auf die ersten BGA-POCT-Blutanalyse – beispielsweise sepsisassoziierte Stoffwechselentgleisungen, kardiogener Schock, akute respiratorische Insuffizienz, diabetische Ketoazidose, Intoxikationen oder neurologische Notfälle – sind zukünftigen Arbeiten vorbehalten, um die hier gewonnenen Erkenntnisse weiter zu präzisieren. Die Belastbarkeit der Schlussfolgerungen ist daher insbesondere für die Gesamtheit der nicht-traumatologischen Schockraumklientel hoch, muss aber für spezifische Diagnosen vorsichtig und unter Berücksichtigung weiterer Evidenz bewertet werden.

Trotz dieser Limitationen liefert die Untersuchung einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung der Versorgung im nicht-traumatologischen Schockraum. Es wird deutlich, dass Elektrolyt- und Säure-Basen-Entgleisungen bei kritisch kranken nicht-traumatologischen Schockraumpatienten hochprävalent und in komplexer Weise mit dem Behandlungsergebnis

verknüpft sind. Die Gesamtheit der Befunde stützt die Auffassung, dass der initiale Stoffwechselstatus bei Aufnahme nicht nur als Hintergrundinformation, sondern als zentraler Bestandteil der Risikostratifizierung verstanden werden sollte. Innerhalb der untersuchten Parameter kommt insbesondere den globalen Säure-Basen-Markern – allen voran dem pH-Wert, aber auch Laktat und Bikarbonat – eine herausgehobene Rolle als Prädiktoren der frühen Mortalität zu, während Elektrolytstörungen zusätzliche Hinweise auf Vulnerabilität und längerfristige Verläufe geben.

6 Schlussfolgerung und Ausblick

Für die Zukunft erscheint eine prospektive, multizentrische Validierung der Ergebnisse sinnvoll, in der Elektrolyt- und Säure-Basen-Profile systematisch erhoben und mit standardisierten Behandlungsergebnis korreliert werden. Hierbei sollten unterschiedliche Versorgungsstufen, regionale Strukturen und klinische Schwerpunkte einbezogen werden, um die Übertragbarkeit der Befunde zu prüfen und gegebenenfalls kontextabhängige Schwellenwerte zu definieren. Darüber hinaus bietet sich die Entwicklung einfacher Risikomodelle an, die den pH-Wert und andere zentrale Säure-Basen-Parameter zusammen mit ausgewählten Elektrolyten und Vitalzeichen in einem notaufnahmefähigen Score bündeln. Ziel solcher Modelle wäre es, in der hochdynamischen Schockraumsituation mit wenigen, schnell verfügbaren Variablen eine verlässliche Risikoeinschätzung zu ermöglichen.

Ein weiterer methodischer Aspekt betrifft die Art der verwendeten Blutgasanalysen. Für die vorliegende Auswertung wurden sowohl arterielle als auch venöse Blutgasanalysen berücksichtigt, da in der klinischen Routine des nicht-traumatologischen Schockraums beide Probenarten situationsabhängig eingesetzt werden. Für zentrale Parameter wie pH-Wert und Laktat besteht zwischen arteriellen und venösen Messungen in der Regel eine gute Übereinstimmung, sodass beide in vielen klinischen Kontexten vergleichend herangezogen werden können (34). Unterschiede können jedoch insbesondere bei den CO_2 -Werten auftreten, da venöse Proben physiologischerweise tendenziell höhere pCO_2 -Werte aufweisen als arterielle Messungen. In der vorliegenden Analyse wurde daher der Fokus primär auf den globalen metabolischen Status und die Gesamtbewertung der Säure-Basen-Situation gelegt. Da auch die klinische Entscheidungsfindung im Schockraum häufig auf der jeweils verfügbaren Blutgasprobe basiert, spiegelt dieses Vorgehen die Versorgungsrealität wider und dürfte die Aussagekraft der Ergebnisse nur in begrenztem Maß beeinflussen, sollte jedoch bei der Interpretation der respiratorischen Parameter berücksichtigt werden.

Ein weiterer Forschungsansatz liegt in ätiologiespezifischen Analysen, die untersuchen, welche Konstellationen von Elektrolyt- und Säure-Basen-Entgleisungen in bestimmten Krankheitsbildern besonders prognostisch relevant sind und inwiefern korrigierende Therapieansätze das Behandlungsergebnis tatsächlich verbessern. Schließlich könnte die Betrachtung der zeitlichen Dynamik – etwa in Form einer „pH-“ oder „Laktat-Clearance“ sowie der Korrektur von Elektrolytstörungen in den ersten Stunden – zusätzliche Erkenntnisse über die Bedeutung der frühen Therapieresponse für das Behandlungsergebnis liefern.

Insgesamt legen die Ergebnisse nahe, dass die retrospektive Analyse der Prävalenz von Elektrolyt- und Säure-Basen-Entgleisungen und deren Einfluss auf das Behandlungsergebnis nicht nur akademische Relevanz besitzt, sondern direkte Konsequenzen für die Gestaltung der Notfallversorgung, die Planung von Ressourcen und die Priorisierung zukünftiger Forschungsprojekte hat. Insbesondere die herausgehobene Rolle des pH-Wertes als globalem Kurzzeitprognosemarker und die ergänzende Bedeutung ausgewählter Elektrolyte unterstreichen, dass ein strukturierter, integrierter Blick auf den initialen Stoffwechselstatus einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Versorgung kritisch kranker nicht-traumatologischer Schockraumpatienten leisten kann.

7 Literatur

1. Bundesärztekammer. (2024, April 4). Konzeptpapier – Zukünftige Ausgestaltung einer patientengerechten sektorenübergreifenden akut- und notfallmedizinischen Versorgung aus ärztlicher Perspektive [Concept paper]. https://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/BAEK/Politik/Programme-Positionen/Konzeptpapier_Akut-_und_Notfallversorgung_BAEK_2024_04_04.pdf.
2. DGINA, Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft interdisziplinäre Notfall- und Akutmedizin (DGINA eV) zum Referentenentwurf des Bundesministeriums für Gesundheit. 2020.
3. Knapp, J., et al., Influence of prehospital physician presence on survival after severe trauma: Systematic review and meta-analysis. *J Trauma Acute Care Surg*, 2019. 87(4): p. 978-989.
4. Fischer M, Harding U, Genzwürker H, Seewald S, Gretenkort P, Reifferscheid F. Eintreffzeiten des Rettungsdienstes bei außerklinischem Herz-Kreislauf-Stillstand – überlebensrelevante Unterschiede zwischen den Bundesländern in Deutschland [Arrival times of emergency services in out-of-hospital cardiac arrest-Survival-relevant differences between federal states in Germany]. *Anaesthesiologie*. 2025 Oct;74(10):634-645. German. doi: 10.1007/s00101-025-01592-9. Epub 2025 Sep 16. PMID: 40958064; PMCID: PMC12484265.
5. Regierungskommission und für eine moderne und bedarfsgerechte Krankenhausversorgung, Reform der Notfall- und Akut- versorgung in Deutschland Integrierte Notfallzentren und Integrierte Leitstellen. 2023. Vierte Stellungnahme und Empfehlung.
6. Gräff I, Goldschmidt B, Glien P, Bogdanow M, Fimmers R, Hoeft A et al. The German Version of the Manchester Triage System and Its Quality Criteria – First Assessment of Validity and Reliability. *PLoS ONE*. 2014;9(2):e88995. DOI:10.1371/journal.pone.0088995. PMID: 24586477.
7. Storm-Versloot MN, Ubbink DT, Kappelhof J, Luitse JS. Comparison of an informally structured triage system, the emergency severity index, and the manchester triage system to distinguish patient priority in the emergency department. *Acad Emerg Med*. 2011 Aug;18(8):822-9. doi: 10.1111/j.1553-2712.2011.01122.x. PMID: 21843217.
8. Gemeinsamer Bundesausschuss, Regelungen des Gemeinsamen Bundesausschusses zu einem gestuften System von Notfallstrukturen in Krankenhäusern gemäß § 136c Absatz 4 des Fünften Buches Sozialgesetzbuch (SGB V). 2018.
9. Bernhard M, Kumle B, Dodt C, Gräff I, Michael M, Michels G, Gröning I, Pin M. ; Deutsche Gesellschaft für Interdisziplinäre Notfall- und Akutmedizin (DGINA) e. V.. Versorgung kritisch kranker, nicht-traumatologischer Patienten im Schockraum: Empfehlungen der Deutschen

Gesellschaft für Interdisziplinäre Notfall- und Akutmedizin zur Strukturierung, Organisation und Ausstattung sowie Förderung von Qualität, Dokumentation und Sicherheit in der Versorgung kritisch kranker, nicht-traumatologischer Patienten im Schockraum in der Bundesrepublik Deutschland [Care of critically ill nontrauma patients in the resuscitation room]. Notf Rett Med. 2022;25(Suppl 1):1-14. German. doi: 10.1007/s10049-022-00997-y. Epub 2022 Apr 13. PMID: 35431645; PMCID: PMC9006203.

10. Bernhard M, Kumle B, Dodt C, Gräff I, Michael M, Michels G, Gröning I, Pin M; Deutsche Gesellschaft für Interdisziplinäre Notfall- und Akutmedizin (DGINA) e. V. Versorgung kritisch kranker, nicht-traumatologischer Patienten im Schockraum: Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Interdisziplinäre Notfall- und Akutmedizin zur Strukturierung, Organisation und Ausstattung sowie Förderung von Qualität, Dokumentation und Sicherheit in der Versorgung kritisch kranker, nicht-traumatologischer Patienten im Schockraum in der Bundesrepublik Deutschland [Care of critically ill nontrauma patients in the resuscitation room]. Notf Rett Med. 2022;25(Suppl 1):1-14. German. doi: 10.1007/s10049-022-00997-y. Epub 2022 Apr 13. PMID: 35431645; PMCID: PMC9006203. Notf Rett Med. 2022;25(Suppl 1):1-14. German. doi: 10.1007/s10049-022-00997-y. Epub 2022 Apr 13. PMID: 35431645; PMCID: PMC9006203.

11. Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V.: S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung (AWMF Registernummer 187-023), Version 4.0 (31.12.2022).

12. Dziegielewski J, Schulte FC, Jung C, Wolff G, Hannappel O, Kümpers P, Bernhard M, Michael M. Resuscitation room management of patients with non-traumatic critical illness in the emergency department (OBSERvE-DUS-study). BMC Emerg Med. 2023 Apr 17;23(1):43. doi: 10.1186/s12873-023-00812-y. PMID: 37069547; PMCID: PMC10111786.

13. Bernhard M, Döll S, Hartwig T, Ramshorn-Zimmer A, Yahiaoui-Doktor M, Weidhase L, Petros S, Gries A. Resuscitation room management of critically ill nontraumatic patients in a German emergency department (OBSERvE-study). Eur J Emerg Med. 2018 Aug;25(4):e9-e17. doi: 10.1097/MEJ.0000000000000543. PMID: 29406398.

14. Brod, T., Bernhard, M., Blaschke, S. et al. Empfehlungen der DGINA und DIVI zur Struktur und Ausstattung von Notaufnahmen 2024. Notfall Rettungsmed 27 (Suppl 3), 223–240 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10049-024-01380-9>.

15. Georgiev AS, Filla T, Dziegielewski J, Bandmann K, Kienbaum P, Distler J, Böhm L, Bernhard M, Michael M. Acidosis as a promising early indicator of mortality among point-of-care parameters and vital signs in non-traumatic critically ill patients. Scand J Trauma Resusc Emerg Med. 2025 May 14;33(1):86. doi: 10.1186/s13049-025-01409-z. PMID: 40369637; PMCID: PMC12080171.

16. Rovas A, Paracikoglu E, Michael M, Gries A, Dziegielewska J, Pavenstädt H, Bernhard M, Kümpers P. Identification and validation of objective triggers for initiation of resuscitation management of acutely ill non-trauma patients: the INITIATE IRON MAN study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2021 Nov 13;29(1):160. doi: 10.1186/s13049-021-00973-4. PMID: 34774074; PMCID: PMC8590263. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2021 Nov 13;29(1):160. doi: 10.1186/s13049-021-00973-4. PMID: 34774074; PMCID: PMC8590263.
17. Michael M, Kumle B, Kümpers P, Pin M, Bernhard M, Kuhn S. ABCDE im nicht-traumatologischen Schockraum. *Bd. 64. 22. Mai 2023*;64:160–72. doi:10.19224/ai2023.160
18. Michael M, Biermann H, Gröning I, Pin M, Kümpers P, Kumle B, Bernhard M. Development of the Interdisciplinary and Interprofessional Course Concept „Advanced Critical Illness Life Support“. *Front Med (Lausanne)*. 2022 Jul 14;9:939187. doi: 10.3389/fmed.2022.939187. PMID: 35911405; PMCID: PMC9331170. *Front Med (Lausanne)*. 2022 Jul 14;9:939187. doi: 10.3389/fmed.2022.939187. PMID: 35911405; PMCID: PMC9331170.
19. Gröning I, Hoffmann F, Biermann H, Pin M, Michael M, Wasser C, Kumle B, Bernhard M: The (PR_E-)AUD(2)IT scheme as a backbone for structured emergency care and documentation in critically ill nontraumatic patients. *Notfall Rettungsmed* 2021.
20. Kramer A, Urban N, Döll S, Hartwig T, Yahiaoui-Doktor M, Burkhardt R, Petros S, Gries A, Bernhard M. Early Lactate Dynamics in Critically Ill Non-Traumatic Patients in a Resuscitation Room of a German Emergency Department (OBSERvE-Lactate-Study). *J Emerg Med*. doi:10.1016/j.jemermed.2018.10.033. Epub 2018 Dec 8. PMID: 30538084.
21. Bernhard M, Kramer A, Döll S, Weidhase L, Hartwig T, Petros S, Gries A. Admission Blood Glucose in the Emergency Department is Associated with Increased In-Hospital Mortality in Nontraumatic Critically Ill Patients. *J Emerg Med* 2021 Oct;61(4):355-364 doi: 10.1016/j.jemermed202104011 Epub 2021 Jun 17 PMID: 34148776.
22. Grahl C, Hartwig T, Weidhase L, Laudi S, Petros S, Gries A, Bernhard M. Early in-hospital course of critically ill nontrauma patients in a resuscitation room of a German emergency department (OBSERvE2 study). *Anaesthesiologie*. 2022 Oct;71(10):774-783. doi: 10.1007/s00101-021-00962-3. Epub 2021 Apr 30. PMID: 33929555; PMCID: PMC9525338.
23. Bernhard M, Döll S, Kramer A, Weidhase L, Hartwig T, Petros S, Gries A. Elevated admission lactate levels in the emergency department are associated with increased 30-day mortality in non-trauma critically ill patients. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2020 Aug 17;28(1):82. doi: 10.1186/s13049-020-00777-y. PMID: 32807232; PMCID: PMC7433202. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2020 Aug 17;28(1):82. doi: 10.1186/s13049-020-00777-y. PMID: 32807232; PMCID: PMC7433202.

24. Harrison RA. Acid-base balance. *Respir Care Clin N Am*. 1995 Sep;1(1):7-21. PMID: 9390847.
25. Adrogué HE, Adrogué HJ. Acid-base physiology. *Respir Care*. 2001 Apr;46(4):328-41. PMID: 11345941.
26. Bistrian BR, McCowen KC, Driscoll D. Acid-base disorders. *N Engl J Med*. 1998 May 28;338(22):1628-9. PMID: 9606126.
27. Kraut JA, Madias NE. Metabolic acidosis: pathophysiology, diagnosis and management. *Nat Rev Nephrol*. 2010 May;6(5):274-85. doi: 10.1038/nrneph.2010.33. Epub 2010 Mar 23. PMID: 20308999.
28. Epstein SK, Singh N. Respiratory acidosis. *Respir Care*. 2001 Apr;46(4):366-83. PMID: 11262556.
29. Emmett M. Metabolic Alkalosis: A Brief Pathophysiologic Review. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2020 Dec 7;15(12):1848-1856. doi: 10.2215/CJN.16041219. Epub 2020 Jun 25. PMID: 32586924; PMCID: PMC7769018.
30. Foster GT, Vaziri ND, Sassoon CS. Respiratory alkalosis. *Respir Care*. 2001 Apr;46(4):384-91. PMID: 11262557.
31. Sanghavi SF, Swenson ER. Arterial Blood Gases and Acid-Base Regulation. *Semin Respir Crit Care Med*. 2023 Oct;44(5):612-626. doi: 10.1055/s-0043-1770341. Epub 2023 Jun 27. PMID: 37369215.
32. Hamm LL, Nakhoul N, Hering-Smith KS. Acid-Base Homeostasis. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2015 Dec 7;10(12):2232-42. doi: 10.2215/CJN.07400715. Epub 2015 Nov 23. PMID: 26597304; PMCID: PMC4670772.
33. Yee J, Frinak S, Mohiuddin N, Uduman J. Fundamentals of Arterial Blood Gas Interpretation. *Kidney360*. 2022 Jun 3;3(8):1458-1466. doi: 10.34067/KID.0008102021. PMID: 36176645; PMCID: PMC9416819.
34. Kelly AM. Review article: Can venous blood gas analysis replace arterial in emergency medical care. *Emerg Med Australas*. 2010 Dec;22(6):493-8. doi: 10.1111/j.1742-6723.2010.01344.x. PMID: 21143397.
35. Kost GJ. New whole blood analyzers and their impact on cardiac and critical care. *Crit Rev Clin Lab Sci*. 1993;30(2):153-202. doi: 10.3109/10408369309084667. PMID: 8363743.
36. Andersen LW, Mackenhauer J, Roberts JC, Berg KM, Cocchi MN, Donnino MW. Etiology and therapeutic approach to elevated lactate levels. *Mayo Clin Proc*. Oktober

2013;88(10):1127–40. doi:10.1016/j.mayocp.2013.06.012 PubMed PMID: 24079682; PubMed Central PMCID: PMC3975915.

37. Garcia-Alvarez M, Marik P, Bellomo R. Sepsis-associated hyperlactatemia. *Crit Care*. 9. September 2014;18(5):503. doi:10.1186/s13054-014-0503-3 PubMed PMID: 25394679; PubMed Central PMCID: PMC4421917.

38. Levy MM, Evans LE, Rhodes A. The Surviving Sepsis Campaign Bundle: 2018 update. *Intensive Care Med*. Juni 2018;44(6):925–8. doi:10.1007/s00134-018-5085-0 PubMed PMID: 29675566.

39. Gerich JE. Physiology of Glukose homeostasis. *Diabetes Obes Metab*. Dezember 2000;2(6):345–50. doi:10.1046/j.1463-1326.2000.00085.x PubMed PMID: 11225963.

40. Kwon KT, Tsai VW. Metabolic emergencies. *Emerg Med Clin North Am*. 2007 Nov;25(4):1041-60, vi. doi: 10.1016/j.emc.2007.07.009. PMID: 17950135.

41. Co I, Gunnerson K. Emergency Department Management of Acute Kidney Injury, Electrolyte Abnormalities, and Renal Replacement Therapy in the Critically Ill. *Emerg Med Clin North Am*. August 2019;37(3):459–71. doi:10.1016/j.emc.2019.04.006 PubMed PMID: 31262415.

42. Trachtman H. Sodium and water homeostasis. *Pediatr Clin North Am*. Dezember 1995;42(6):1343–63. doi:10.1016/s0031-3955(16)40088-x PubMed PMID: 8614590.

43. Palmer BF, Clegg DJ. Physiology and Pathophysiology of Potassium Homeostasis: Core Curriculum 2019. *Am J Kidney Dis*. November 2019;74(5):682–95. doi:10.1053/j.ajkd.2019.03.427 PubMed PMID: 31227226.

44. Matikainen N, Pekkarinen T, Ryhänen EM, Schalin-Jäntti C. Physiology of Calcium Homeostasis: An Overview. *Endocrinol Metab Clin North Am*. Dezember 2021;50(4):575–90. doi:10.1016/j.ecl.2021.07.005 PubMed PMID: 34774235.

45. Kumar A, Mehan S, Tiwari A, Khan Z, Gupta GD, Narula AS, u. a. Magnesium (Mg²⁺): Essential Mineral for Neuronal Health: From Cellular Biochemistry to Cognitive Health and Behavior Regulation. *Curr Pharm Des*. 2024;30(39):3074–107. doi:10.2174/0113816128321466240816075041 PubMed PMID: 39253923.

46. Raut SK, Singh K, Sanghvi S, Loyo-Celis V, Varghese L, Singh ER, u. a. Chloride ions in health and disease. *Biosci Rep*. 29. April 2024;44(5):BSR20240029. doi:10.1042/BSR20240029 PubMed PMID: 38573803; PubMed Central PMCID: PMC11065649.

47. Lippi G, Mullier F, Thonon H, Favaloro EJ. Overview of laboratory diagnostics for immediate management of patients presenting to the emergency department with acute bleeding. *Clin*

Chem Lab Med. 2025 Aug 13;63(11):2149-2162. doi: 10.1515/cclm-2025-0775. PMID: 40792355.

48. Rajsic S, Breitkopf R, Bachler M, Trembl B. Diagnostic Modalities in Critical Care: Point-of-Care Approach. *Diagnostics* (Basel). 2021 Nov 25;11(12):2202. doi: 10.3390/diagnostics11122202. PMID: 34943438; PMCID: PMC8700511.

49. Mikhail J. The trauma triad of death: hypothermia, acidosis, and coagulopathy. *AACN Clin Issues*. 1999 Feb;10(1):85-94. PMID: 10347389.

50. Wray JP, Bridwell RE, Schauer SG, Shackelford SA, Bebart VS, Wright FL, Bynum J, Long B. The diamond of death: Hypocalcemia in trauma and resuscitation. *Am J Emerg Med*. 2021 Mar;41:104-109. doi: 10.1016/j.ajem.2020.12.065. Epub 2020 Dec 28. PMID: 33421674.

51. Vasudeva M, Mathew JK, Fitzgerald MC, Cheung Z, Mitra B. Hypocalcaemia and traumatic coagulopathy: an observational analysis. *Vox Sang*. Februar 2020;115(2):189–95. doi:10.1111/vox.12875 PubMed PMID: 31845341.

52. Barletta JF, Muir J, Brown J, Dzierba A. A Systematic Approach to Understanding Acid-Base Disorders in the Critically Ill. *Ann Pharmacother*. 2024 Jan;58(1):65-75. doi: 10.1177/10600280231165787. Epub 2023 Apr 26. PMID: 37125739.

53. Rief M, Eichinger M, Eichlseder M, Pichler A, Prause G, Bornemann-Ciment H, Zajic P. Utilization of Multi-Parameter Blood Gas Analysis in Prehospital Emergency Medicine-A Scoping Review. *J Emerg Med*. 2024 Sep;67(3):e277-e287. doi: 10.1016/j.jemermed.2024.04.014. Epub 2024 May 9. PMID: 39025715.

54. Yang P, Yuan J, Yu L, Yu J, Zhang Y, Yuan Z, Chen L, Zhang X, Tang X, Chen Q. Clinical significance of hemoglobin level and blood transfusion therapy in elderly sepsis patients: A retrospective analysis. *Am J Emerg Med*. 2023 Nov;73:27-33. doi: 10.1016/j.ajem.2023.08.005. Epub 2023 Aug 9. PMID: 37579529.

55. Kitabchi AE, Umpierrez GE, Miles JM, Fisher JN. Hyperglycemic crises in adult patients with diabetes. *Diabetes Care*. Juli 2009;32(7):1335–43. doi:10.2337/dc09-9032 PubMed PMID: 19564476; PubMed Central PMCID: PMC2699725.

56. Fayfman M, Pasquel FJ, Umpierrez GE. Management of Hyperglycemic Crises: Diabetic Ketoacidosis and Hyperglycemic Hyperosmolar State. *Med Clin North Am*. Mai 2017;101(3):587–606. doi:10.1016/j.mcna.2016.12.011 PubMed PMID: 28372715; PubMed Central PMCID: PMC6535398.

57. Mikkelsen ME, Miltiades AN, Gaieski DF, Goyal M, Fuchs BD, Shah CV, et al. Serum lactate is associated with mortality in severe sepsis independent of organ failure and shock. *Crit Care*

Med. Mai 2009;37(5):1670–7. doi:10.1097/CCM.0b013e31819fcf68 PubMed PMID: 19325467.

58. Rhodes A, Evans LE, Alhazzani W, Levy MM, Antonelli M, Ferrer R, u. a. Surviving Sepsis Campaign: International Guidelines for Management of Sepsis and Septic Shock: 2016. Crit Care Med. März 2017;45(3):486–552. doi:10.1097/CCM.0000000000002255 PubMed PMID: 28098591.

59. Tucker AM, Johnson TN. Breathing and balance: Clinical insights and management strategies of respiratory acid-base disorders. Nutr Clin Pract. August 2025;40(4):774–92. doi:10.1002/ncp.11328 PubMed PMID: 40483586; PubMed Central PMCID: PMC12242095.

60. Tiruvoipati R, Pilcher D, Buscher H, Botha J, Bailey M. Effects of Hypercapnia and Hypercapnic Acidosis on Hospital Mortality in Mechanically Ventilated Patients. Crit Care Med. 2017 Jul;45(7):e649-e656. doi: 10.1097/CCM.0000000000002332. PMID: 28406813.

61. Schuetz P, Hausfater P, Amin D, Amin A, Haubitz S, Faessler L, u. a. Biomarkers from distinct biological pathways improve early risk stratification in medical emergency patients: the multinational, prospective, observational TRIAGE study. Crit Care. 1. Dezember 2015;19(1):377. doi:10.1186/s13054-015-1098-z

62. Lindner G, Schwarz C, Haidinger M, Ravioli S. Hyponatremia in the emergency department. Am J Emerg Med. 2022 Oct;60:1-8. doi: 10.1016/j.ajem.2022.07.023. Epub 2022 Jul 19. PMID: 35870366.

63. Pollack K, Manning KR, Balassone J, Bui C, Taylor DM, Taylor SE. Hyperkalaemia in the emergency department: Epidemiology, management and monitoring of treatment outcomes. Emerg Med Australas. 2022 Oct;34(5):751-757. doi: 10.1111/1742-6723.13971. Epub 2022 Apr 11. PMID: 35411698.

64. Yagi K, Fujii T. Management of acute metabolic acidosis in the ICU: sodium bicarbonate and renal replacement therapy. Crit Care. 2021 Aug 31;25(1):314. doi: 10.1186/s13054-021-03677-4. Erratum in: Crit Care. 2024 Apr 5;28(1):110. doi: 10.1186/s13054-024-04857-8. PMID: 34461963; PMCID: PMC8406840.

65. Guy C, Holmes NE, Kishore K, Marhoon N, Serpa-Neto A. Decompensated metabolic acidosis in the emergency department: Epidemiology, sodium bicarbonate therapy, and clinical outcomes. Crit Care Resusc. Juni 2023;25(2):71–7. doi:10.1016/j.ccrj.2023.05.003 PubMed PMID: 37876600; PubMed Central PMCID: PMC10581257.

66. Lier H, Krep H, Schroeder S, Stuber F. Preconditions of hemostasis in trauma: a review. The influence of acidosis, hypocalcemia, anemia, and hypothermia on functional hemostasis

in trauma. *J Trauma*. 2008 Oct;65(4):951-60. doi: 10.1097/TA.0b013e318187e15b. PMID: 18849817.

67. Jentzer JC, Kashani KB, Wiley BM, Patel PC, Baran DA, Barsness GW, Henry TD, Van Diepen S. Laboratory Markers of Acidosis and Mortality in Cardiogenic Shock: Developing a Definition of Hemometabolic Shock. *Shock*. 2022 Jan 1;57(1):31-40. doi: 10.1097/SHK.0000000000001812. PMID: 33988540.

68. Wernly B, Heramvand N, Masyuk M, Rezar R, Bruno RR, Kelm M, Niederseer D, Lichtenauer M, Hoppe UC, Bakker J, Jung C. Acidosis predicts mortality independently from hyperlactatemia in patients with sepsis. *Eur J Intern Med*. 2020 Jun;76:76-81. doi: 10.1016/j.ejim.2020.02.027. Epub 2020 Mar 3. PMID: 32143899.

69. Samanta S, Singh RK, Baronika AK, Mishra P, Poddar B, Azim A, u. a. Early pH Change Predicts Intensive Care Unit Mortality. *Indian J Crit Care Med*. Oktober 2018;22(10):697–705. doi:10.4103/ijccm.IJCCM_129_18 PubMed PMID: 30405279; PubMed Central PMCID: PMC6201653.

70. Henrique LR, Souza MB, El Kadri RM, Boniatti MM, Rech TH. Prognosis of critically ill patients with extreme acidosis: A retrospective study. *J Crit Care*. Dezember 2023;78:154381. doi:10.1016/j.jcrc.2023.154381 PubMed PMID: 37480659.

71. Liu Z, Meng Z, Li Y, Zhao J, Wu S, Gou S, Wu H. Prognostic accuracy of the serum lactate level, the SOFA score and the qSOFA score for mortality among adults with Sepsis. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2019 Apr 30;27(1):51. doi: 10.1186/s13049-019-0609-3. PMID: 31039813; PMCID: PMC6492372.

72. Jyoti D, Kumar A, Halim T, Hai AA. The Association Between Serum Lactate Concentration, Base Deficit, and Mortality in Polytrauma Patients as a Prognostic Factor: An Observational Study. *Cureus*. 2022 Aug 20;14(8):e28200. doi: 10.7759/cureus.28200. PMID: 36158397; PMCID: PMC9484334.

73. Droś J, Świstek R, Kasongo P, Koniecznyński J, Bielański P, Sajdyk A, Wrzosek A, Składzień T, Depukat R, Marusińska M, Czech K, Frączek K, Paciorek K, Skoczeń W, Stachera B, Chaba W, Peszek A, Pabian G, Pawlik M, Zięba K, Wolak K, Włodarczyk A, Tomaszczek W, Drygański T, Terlecki M. Association of the Lactate/Albumin Ratio with Mortality and Hypovolemia in Critically Ill Patients: A Retrospective Cohort Study. *J Clin Med*. 2025 Sep 7;14(17):6321. doi: 10.3390/jcm14176321. PMID: 40944081; PMCID: PMC12429822.

74. Müller J, Radej J, Horak J, Karvunidis T, Valesova L, Kriz M, u. a. Lactate: The Fallacy of Oversimplification. *Biomedicines*. 1. Dezember 2023;11(12):3192. doi:10.3390/biomedicines11123192 PubMed PMID: 38137413; PubMed Central PMCID: PMC10741081.

75. Park YJ, Kim DH, Kim SC, Kim TY, Kang C, Lee SH, u. a. Serum lactate upon emergency department arrival as a predictor of 30-day in-hospital mortality in an unselected population. *PLoS One*. 2018;13(1):e0190519. doi:10.1371/journal.pone.0190519 PubMed PMID: 29293610; PubMed Central PMCID: PMC5749837.
76. Villar J, Short JH, Lighthall G. Lactate Predicts Both Short- and Long-Term Mortality in Patients With and Without Sepsis. *Infect Dis (Auckl)*. 6. August 2019;12:1178633719862776. doi:10.1177/1178633719862776 PubMed PMID: 31431799; PubMed Central PMCID: PMC6686323.
77. Kim HJ. Metabolic Acidosis in Chronic Kidney Disease: Pathogenesis, Clinical Consequences, and Treatment. *Electrolyte Blood Press*. Dezember 2021;19(2):29–37. doi:10.5049/EBP.2021.19.2.29 PubMed PMID: 35003283; PubMed Central PMCID: PMC8715222.
78. Hamilton PK, Morgan NA, Connolly GM, Maxwell AP. Understanding Acid-Base Disorders. *Ulster Med J*. September 2017;86(3):161–6. PubMed PMID: 29581626; PubMed Central PMCID: PMC5849971.
79. Talbott MM, Waguespack AN, Armstrong PA, Davis JW, Paul KK, Williams SM, Golovko G, Person J, Jehle D. Bicarbonate and Serum Lab Markers as Predictors of Mortality in the Trauma Patient. *West J Emerg Med*. 2024 Jul;25(4):661-667. doi: 10.5811/westjem.18363. PMID: 39028253; PMCID: PMC11254141.
80. Han J, Wang L, Jin L, Liu M. Association between bicarbonate levels and mortality among acute respiratory distress syndrome patients: An analysis based on Medical Information Mart for Intensive Care database. *PLoS One*. 2025 Jun 10;20(6):e0325498. doi: 10.1371/journal.pone.0325498. PMID: 40493595; PMCID: PMC12151428.
81. Vonderbank S, Gibis N, Schulz A, Boyko M, Erbuth A, Gürleyen H, u. a. Hypercapnia at Hospital Admission as a Predictor of Mortality. *Open Access Emerg Med*. 2020;12:173–80. doi:10.2147/OAEM.S242075 PubMed PMID: 32617025; PubMed Central PMCID: PMC7326210.
82. Csoma B, Vulpi MR, Dragonieri S, Bentley A, Felton T, Lázár Z, u. a. Hypercapnia in COPD: Causes, Consequences, and Therapy. *J Clin Med*. 2. Juni 2022;11(11):3180. doi:10.3390/jcm11113180 PubMed PMID: 35683563; PubMed Central PMCID: PMC9181664.
83. Hassan W, Elkhateb M. Adjusting Ventilator Settings Based on ABG Results. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 [zitiert 4. März 2026]. Verfügbar unter: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK606131/> PubMed PMID: 39163420.

84. Yassin Z, Saadat M, Abtahi H, Rahimi Foroushani A, Peiman S. Prognostic value of on admission arterial PCO₂ in hospitalized patients with community-acquired pneumonia. *J Thorac Dis.* Oktober 2016;8(10):2765–71. doi:10.21037/jtd.2016.10.21 PubMed PMID: 27867552; PubMed Central PMCID: PMC5107471.
85. Pathophysiological determinants of arterial carbon dioxide tension (PaCO₂) in spontaneously breathing and mechanically ventilated patients - John - *Journal of Emergency and Critical Care Medicine* [Internet]. [zitiert 4. März 2026]. Verfügbar unter: <https://jeccm.amegroups.org/article/view/6820/html>
86. Bossers SM, Mansvelder F, Loer SA, Boer C, Bloemers FW, Van Lieshout EMM, Den Hartog D, Hoogerwerf N, van der Naalt J, Absalom AR, Schwarte LA, Twisk JWR, Schober P; BRAIN-PROTECT Collaborators. Association between prehospital end-tidal carbon dioxide levels and mortality in patients with suspected severe traumatic brain injury. *Intensive Care Med.* 2023 May;49(5):491-504. doi: 10.1007/s00134-023-07012-z. Epub 2023 Apr 19. PMID: 37074395; PMCID: PMC10205841.
87. Sardesai N, Hibberd O, Price J, Ercole A, Barnard EBG. Agreement between arterial and end-tidal carbon dioxide in adult patients admitted with serious traumatic brain injury. *PLoS One.* 2. Februar 2024;19(2):e0297113. doi:10.1371/journal.pone.0297113 PubMed PMID: 38306331; PubMed Central PMCID: PMC10836696.
88. Singer AJ, Thode HC, Peacock WF. A retrospective study of emergency department potassium disturbances: severity, treatment, and outcomes. *Clin Exp Emerg Med.* Juni 2017;4(2):73–9. doi:10.15441/ceem.16.194 PubMed PMID: 28717776; PubMed Central PMCID: PMC5511959.
89. Montford JR, Linas S. How Dangerous Is Hyperkalemia? *J Am Soc Nephrol.* November 2017;28(11):3155–65. doi:10.1681/ASN.2016121344 PubMed PMID: 28778861; PubMed Central PMCID: PMC5661285.
90. Collins AJ, Pitt B, Reaven N, Funk S, McGaughey K, Wilson D, Bushinsky DA. Association of Serum Potassium with All-Cause Mortality in Patients with and without Heart Failure, Chronic Kidney Disease, and/or Diabetes. *Am J Nephrol.* 2017;46(3):213-221. doi: 10.1159/000479802. Epub 2017 Sep 2. PMID: 28866674; PMCID: PMC5637309.
91. Zhao G, Gu Y, Chen Y, Xia X. Association of serum potassium levels with mortality in critically ill patients with sepsis during hospitalization. *PLoS One.* 9. Dezember 2024;19(12):e0314872. doi:10.1371/journal.pone.0314872 PubMed PMID: 39652542; PubMed Central PMCID: PMC11627424.

92. Long B, Liang SY, Gottlieb M. Crush injury and syndrome: A review for emergency clinicians. *Am J Emerg Med*. 2023 Jul;69:180-187. doi: 10.1016/j.ajem.2023.04.029. Epub 2023 Apr 25. PMID: 37163784.
93. Sihler KC, Napolitano LM. Complications of massive transfusion. *Chest*. 2010 Jan;137(1):209-20. doi: 10.1378/chest.09-0252. Erratum in: *Chest*. 2010 Mar;137(3):744. PMID: 20051407.
94. Brouns SHA, Dortmans MKJ, Jonkers FS, Lambooij SLE, Kuijper A, Haak HR. Hyponatraemia in elderly emergency department patients: a marker of frailty. *Neth J Med*. Juli 2014;72(6):311–7. PubMed PMID: 25319856.
95. Lindner G, Schwarz C, Haidinger M, Ravioli S. Hyponatremia in the emergency department. *Am J Emerg Med*. Oktober 2022;60:1–8. doi:10.1016/j.ajem.2022.07.023 PubMed PMID: 35870366.
96. Raman V, Ramanan M, Edwards F, Laupland KB. A Contemporary Narrative Review of Sodium Homeostasis Mechanisms, Dysnatraemia, and the Clinical Relevance in Adult Critical Illness. *J Clin Med*. 29. September 2025;14(19):6914. doi:10.3390/jcm14196914 PubMed PMID: 41095998; PubMed Central PMCID: PMC12524940.
97. Chaba A, Phongphithakchai A, Pope O, Rajapaksha S, Ranjan P, Maeda A, u. a. Severe intensive care unit-acquired hypernatraemia: Prevalence, risk factors, trajectory, management, and outcome. *Crit Care Resusc*. Dezember 2024;26(4):311–8. doi:10.1016/j.ccrj.2024.09.004 PubMed PMID: 39781493; PubMed Central PMCID: PMC11704420.
98. Chauhan K, Pattharanitima P, Patel N, Duffy A, Saha A, Chaudhary K, Debnath N, Van Vleck T, Chan L, Nadkarni GN, Coca SG. Rate of Correction of Hypernatremia and Health Outcomes in Critically Ill Patients. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2019 May 7;14(5):656-663. doi: 10.2215/CJN.10640918. Epub 2019 Apr 4. PMID: 30948456; PMCID: PMC6500955.
99. Kitisin N, Raykateeraroj N, Hikasa Y, Bianchini L, Pattamin N, Chaba A, Maeda A, Spano S, Eastwood G, White K, Bellomo R. Systematic review and meta-analysis of the treatment of hypernatremia in adult hospitalized patients: impact on mortality, morbidity, and treatment-related side effects. *J Crit Care*. 2025 Jun;87:155012. doi: 10.1016/j.jcrc.2024.155012. Epub 2025 Jan 6. PMID: 39765195.
100. Wray JP, Bridwell RE, Schauer SG, Shackelford SA, Bebarta VS, Wright FL, u. a. The diamond of death: Hypocalcemia in trauma and resuscitation. *Am J Emerg Med*. März 2021;41:104–9. doi:10.1016/j.ajem.2020.12.065 PubMed PMID: 33421674.
101. Kelly A, Levine MA. Hypocalcemia in the critically ill patient. *J Intensive Care Med*. 2013;28(3):166–77. doi:10.1177/0885066611411543 PubMed PMID: 21841146.

102. Fernandes C, Pereira L. Hypocalcemia in critical care settings, from its clinical relevance to its treatment: A narrative review. *Anaesth Crit Care Pain Med*. 2024 Dec;43(6):101438. doi: 10.1016/j.accpm.2024.101438. Epub 2024 Oct 11. PMID: 39395659.
103. Ravioli S, Lafranchi A, Exadaktylos AK, Haidinger M, Lindner G. Characteristics and outcome of severe hypercalcemia on admission to the emergency department: a retrospective cohort study. *Swiss Med Wkly*. 2023 Apr 20;153:40069. doi: 10.57187/smw.2023.40069. PMID: 37191138.
104. Peoples JB. The role of pH in altering serum ionized calcium concentration. *Surgery*. August 1988;104(2):370–4. PubMed PMID: 3400067.
105. Melchers M, van Zanten ARH. Management of hypocalcaemia in the critically ill. *Current Opinion in Critical Care*. August 2023;29(4):330. doi:10.1097/MCC.0000000000001059
106. Liaud-Laval G, Libert N, Pissot M, Chrisment A, Ponsin P, Boutonnet M, u. a. Severe hypocalcemia at admission is associated with increased transfusion requirements: A retrospective study in a level 1 trauma center. *Injury*. Januar 2024;55(1):111168. doi:10.1016/j.injury.2023.111168 PubMed PMID: 37926665.
107. Driver BE, Olives TD, Bischof JE, Salmen MR, Miner JR. Discharge Glukose Is Not Associated With Short-Term Adverse Outcomes in Emergency Department Patients With Moderate to Severe Hyperglycemia. *Ann Emerg Med*. Dezember 2016;68(6):697-705.e3. doi:10.1016/j.annemergmed.2016.04.057 PubMed PMID: 27353284.
108. Marik PE, Bellomo R. Stress hyperglycemia: an essential survival response! *Crit Care*. 6. März 2013;17(2):305. doi:10.1186/cc12514 PubMed PMID: 23470218; PubMed Central PMCID: PMC3672537.
109. Hermanides J, Vriesendorp TM, Bosman RJ, Zandstra DF, Hoekstra JB, Devries JH. Glukose variability is associated with intensive care unit mortality. *Crit Care Med*. 2010 Mar;38(3):838-42. doi: 10.1097/CCM.0b013e3181cc4be9. PMID: 20035218.
110. Todi S, Bhattacharya M. Glycemic variability and outcome in critically ill. *Indian J Crit Care Med*. 2014 May;18(5):285-90. doi: 10.4103/0972-5229.132484. PMID: 24914256; PMCID: PMC4047689.
111. Krinsley JS, Schultz MJ, Spronk PE, Harmsen RE, van Braam Houckgeest F, van der Sluijs JP, u. a. Mild hypoglycemia is independently associated with increased mortality in the critically ill. *Crit Care*. 25. Juli 2011;15(4):R173. doi:10.1186/cc10322 PubMed PMID: 21787410; PubMed Central PMCID: PMC3387616.

112. Fischer KF, Lees JA, Newman JH. Hypoglycemia in hospitalized patients. Causes and outcomes. *N Engl J Med.* 13. November 1986;315(20):1245–50. doi:10.1056/NEJM198611133152002 PubMed PMID: 3534567.
113. Wang J, Zhu CK, Yu JQ, Tan R, Yang PL. Hypoglycemia and mortality in sepsis patients: A systematic review and meta-analysis. *Heart Lung.* 2021 Nov-Dec;50(6):933-940. doi: 10.1016/j.hrtlng.2021.07.017. Epub 2021 Aug 22. PMID: 34433111.
114. Shao Y, Shao F, Zhou J, Fang S, Zhu J, Li F. The association between hypoglycemia and mortality in sepsis and septic shock: A systematic review and meta-analysis. *Adv Clin Exp Med.* 2024 Mar;33(3):197-205. doi: 10.17219/acem/166656. PMID: 37386859.
115. Coisy F, Anselme C, Goulabchand R, Grau-Mercier L, Markarian T, Bobbia X, u. a. In-hospital stay of anemic patients in the ED with/without transfusion: a single-center propensity-matched study. *BMC Emerg Med.* 23. Februar 2025;25(1):29. doi:10.1186/s12873-025-01187-y PubMed PMID: 39988701; PubMed Central PMCID: PMC11849158.
116. El Brihi J, Pathak S. Normal and Abnormal Complete Blood Count With Differential. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 [zitiert 5. April 2026]. Verfügbar unter: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK604207/> PubMed PMID: 38861622.
117. Carson JL, Stanworth SJ, Dennis JA, Trivella M, Roubinian N, Fergusson DA, u. a. Transfusion thresholds for guiding red blood cell transfusion. *Cochrane Database Syst Rev.* 21. Dezember 2021;2021(12):CD002042. doi:10.1002/14651858.CD002042.pub5 PubMed PMID: 34932836; PubMed Central PMCID: PMC8691808.
118. Janz TG, Johnson RL, Rubenstein SD. Anemia in the emergency department: evaluation and treatment. *Emerg Med Pract.* 2013 Nov;15(11):1-15; quiz 15-6. PMID: 24716235.
119. Weiss G, Ganz T, Goodnough LT. Anemia of inflammation. *Blood.* 3. Januar 2019;133(1):40–50. doi:10.1182/blood-2018-06-856500 PubMed PMID: 30401705; PubMed Central PMCID: PMC6536698.
120. Weiskopf RB, Viele MK, Feiner J, Kelley S, Lieberman J, Noorani M, u. a. Human cardiovascular and metabolic response to acute, severe isovolemic anemia. *JAMA.* 21. Januar 1998;279(3):217–21. doi:10.1001/jama.279.3.217 PubMed PMID: 9438742.
121. Song X, Liu XY, Wang HR, Guo XY, Kashani KB, Ma PL. Association between anemia and ICU outcomes. *Chin Med J (Engl).* 2021 Jul 12;134(14):1744-1746. doi: 10.1097/CM9.0000000000001669. PMID: 34397599; PMCID: PMC8318639.

122. Kraut JA, Madias NE. Metabolic acidosis: pathophysiology, diagnosis and management. *Nat Rev Nephrol.* Mai 2010;6(5):274–85. doi:10.1038/nrneph.2010.33 PubMed PMID: 20308999.
123. Yunin NSM, Tan TL. National Early Warning Score 2 (NEWS2) as a prognostic tool for adult patients in emergency department: A retrospective observational study. *PLOS ONE.* 16. Juni 2025;20(6):e0326058. doi:10.1371/journal.pone.0326058
124. Aygun H, Eraybar S, Ozdemir F, Armagan E. Predictive Value of Modified Early Warning Scoring System for Identifying Critical Patients with Malignancy in Emergency Department. *Arch Iran Med.* 1. August 2020;23(8):536–41. doi:10.34172/aim.2020.56 PubMed PMID: 32894965.
125. Tzavella E, Rizos C, Elisaf M, Liamis G. Acid-base and electrolyte disorders associated with the use of antidiabetic drugs. *Expert Opinion on Drug Safety.* 27. Juli 2017;16. doi:10.1080/14740338.2017.1361400
126. Buckley MS, Leblanc JM, Cawley MJ. Electrolyte disturbances associated with commonly prescribed medications in the intensive care unit. *Crit Care Med.* Juni 2010;38(6 Suppl):S253-264. doi:10.1097/CCM.0b013e3181dda0be PubMed PMID: 20502178.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die zum Gelingen dieser Dissertation beigetragen und mich während ihrer Erstellung unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt an erster Stelle meinem Doktorvater Herrn Professor Bernhard für seine hervorragende und kontinuierliche Betreuung. Seine fachliche Expertise, sein wissenschaftlicher Anspruch sowie seine jederzeitige Ansprechbarkeit haben diese Arbeit in entscheidender Weise geprägt. Darüber hinaus danke ich ihm ausdrücklich für die Förderung meiner klinischen Entwicklung als Arzt. Seine konstruktive Kritik, seine wertvollen Impulse und sein konsequenter Bezug zur klinischen Relevanz der Forschung waren für den erfolgreichen Abschluss dieser Dissertation von zentraler Bedeutung.

Ein weiterer Dank gilt allen beteiligten Koautoren für ihre engagierte und fachkundige Unterstützung. Insbesondere die Hilfe bei der Datenerhebung, der Analyse und Interpretation der Ergebnisse sowie die wissenschaftliche Begleitung bei der Umsetzung und Einordnung der gewonnenen Erkenntnisse waren für diese Arbeit von großem Wert. Der interdisziplinäre Austausch und die kritischen Diskussionen haben maßgeblich zur Qualität und Aussagekraft der Ergebnisse beigetragen.

Abschließend danke ich meiner Familie für ihre stetige Unterstützung und ihren Rückhalt während der gesamten Promotionszeit. Ihre Geduld, ihr Verständnis und ihre kontinuierliche Motivation haben wesentlich dazu beigetragen, diese Arbeit erfolgreich abschließen zu können.