

Aus der Klinik für Anästhesiologie  
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Benedikt Pannen

**Retrospektive Analyse des Schockraummanagements  
nicht-traumatologisch kritisch kranker Kinder  
in einer universitären Zentralen Notaufnahme**

(OBSERvE-DUS-PED-Studie)

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Claudia Priebe

2025

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

gez.:

Dekan: Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Prof. Michael Bernhard

Zweitgutachter: PD Dr. Hans Martin Bosse

„Unsere Einstellung der Zukunft gegenüber muss sein:  
Wir sind jetzt verantwortlich für das, was in der Zukunft geschieht.“

Karl Raimund Popper (1902-94),  
brit. Philosoph und Wissenschaftslogiker österreichischer Herkunft

Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht:

**Claudia Priebe**, Hans Martin Bosse, Mark Michael, Olaf Picker, Michael Bernhard, Juliane Tautz. Retrospektive Analyse des Schockraummanagements nicht-traumatologisch kritisch kranker Kinder in einer universitären Zentralen Notaufnahme (OBSERvE-DUS-PED-Studie). Die Anästhesiologie (2024), 73:656-66

## **Zusammenfassung - Deutsch**

Rund 10% aller prähospitalen Notarzteinsätze entfallen auf Kindernotfälle. Diese kommen bisher an unterschiedlichen Lokalisationen innerhalb der Krankenhauslandschaft zur Aufnahme, entweder in Kindernotaufnahmen, auf Kinderintensivstationen oder in Zentralen Notaufnahmen. Die Entwicklung und Etablierung eines Konzeptes zur Schockraumversorgung für nicht-traumatologisch kritisch kranke Kinder in Zentralen Notaufnahmen erscheint sinnvoll.

In der retrospektiven OBSERvE-DUS-PED-Studie (November 2019 bis Oktober 2022) wurden Kinder (Alter <18 Jahre), die eine Schockraumversorgung aus nicht-traumatologischer Ursache benötigten und der Zentralen Notaufnahme eines Universitätsklinikums zugeführt wurden, erfasst. Die routinemäßig dokumentierten Versorgungsdaten wurden gemäß des etablierten OBSERvE-Datensatzes dem Krankenhausinformationssystem und dem Patientendatenmanagementsystem entnommen. Ein positives Ethikvotum der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität lag vor (Nr. 2023-2377).

Für den dreijährigen Untersuchungszeitraum konnten 52 Schockraumpatienten evaluiert werden, wobei in der Kohorte Jugendliche zwischen 14-17 Jahren mit 37% am häufigsten und Neugeborene/Säuglinge (0-1 Jahr) mit 8% am seltensten vertreten waren. Die führenden Symptome - kategorisiert nach ABCDE-Problemen - waren Vigilanzminderung (D): 61%, Kreislaufinsuffizienz inkl. Herzkreislaufstillstand (C): 25%, respiratorische Insuffizienz (B): 6%, Atemwegsverlegung (A) und Umfeldfaktoren (E-Probleme) jeweils in 4%. Prähospitale bzw. innerklinische Notfallmaßnahmen erfolgten mit folgenden Häufigkeiten: peripherer (58 vs. 65%), intraossärer (14 vs. 2%) und zentralvenöser Gefäßzugang (0 vs. 12%), invasives Atemwegsmanagement (35% vs. 8%), kardiopulmonale Reanimation (21 vs. 10%), Katecholamintherapie (15 vs. 17%) und intraarterielle Druckmessung (0 vs. 17%). Die Schockraumversorgung dauerte  $70 \pm 43$  min. Die 30-Tagesletalität betrug 17%. Die OBSERvE-DUS-PED-Studie zeigt die besonderen Herausforderungen nicht-traumatologisch kritisch kranker Kinder in der prähospitalen und innerklinischen Versorgung. Die Vielfalt und Komplexität der Einweisungsdiagnosen und die unmittelbare Vitalbedrohung der Patienten lassen es sinnvoll erscheinen, derartige Patienten aufgrund der vorhandenen materiellen, infrastrukturellen und personellen Ressourcen in einer Zentralen Notaufnahme primär zu behandeln.

## Summary - English

Pediatric emergencies account for around 10% of all prehospital rescue missions. To date, these have been admitted to different locations in the hospital, e.g. to pediatric emergency departments, to pediatric intensive care units and emergency departments. The development and establishment of a concept for resuscitation room care for non-traumatological critically ill children in emergency departments seems reasonable.

The retrospective OBSERvE-DUS-PED study (November 2019–October 2022) recorded children (age <18 years) who were admitted to the emergency department (ED) of an university hospital for resuscitation room care. The routinely documented data on treatment was taken from the hospital information system and the patient data management system in accordance with the OBSERvE dataset. The study was approved by the Ethics Committee of the Medical Faculty of the Heinrich Heine University (2023-2377).

The study included 52 pediatric resuscitation room patients. Adolescents aged 14–17 years were the most frequent in the cohort representing 37% of the total and neonates/infants (0–1 year) were lowest at 8%. The most common symptoms categorized according to ABCDE problems were disturbance of consciousness (D) at 61%, cardiovascular failure including cardiac arrest (C) at 25%, respiratory insufficiency (B) at 6%, airway obstruction (A) and exposure/environment (E) problems each at 4%. The out-of-hospital and in-hospital emergency procedures were performed with the following frequencies: venous (58% vs. 65%), intraosseous (14% vs. 2%) and central venous access (0% vs. 12%), invasive airway management (35% vs. 8%), cardiopulmonary resuscitation (21% vs. 10%), vasopressors (15% vs. 17%), and intra-arterial pressure measurement (0% vs. 17%). The mean duration of resuscitation room management was  $70 \pm 43$  min. The 30-day mortality was 17%. The OBSERvE-DUS-PED study demonstrates the major challenges in the care of critically ill nontraumatic pediatric patients, both in out-of-hospital and in-hospital management. The variety and complexity of the referral diagnoses as well as the immediate vital threat to the patients make it appear sensible to treat such patients primarily in a resuscitation room of the ED due to the available material, infrastructural and personnel resources.

## Abkürzungsverzeichnis

ACiLS	Advanced Critical Care in Life Support
ATLS	Advanced Trauma Life Support
Baby-NAW	Baby-Notarztwagen
CPR	Cardiopulmonary Resuscitation
CT	Computertomographie
DGINA	Deutsche Gesellschaft für interdisziplinäre Notfall- und Akutmedizin
DGU	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
ECMO	Extrakorporale Membranoxygenierung
eFAST	extended Focused Assessment with Sonography for Trauma
EKG	Elektrokardiogramm
ERC	European Resuscitation Council
GCS	Glasgow Coma Scale
ISS	Injury Severity Score
MRT	Magnetresonanztomographie
MTS	Manchester Triage System
NACA	National Advisory Committee for Aeronautics
NAW	Notarztwagen
NEF	Notarzteinsatzfahrzeug
RTW	Rettungswagen
SHT	Schädel-Hirn-Trauma
TR-DGU	Traumaregister der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie
ZNA	Zentrale Notaufnahme
ZVK	Zentralvenenkatheter

# Inhaltsverzeichnis

<u>ZUSAMMENFASSUNG - DEUTSCH</u> .....	I
<u>SUMMARY - ENGLISH</u> .....	II
<u>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</u> .....	III
<u>EINLEITUNG</u> .....	1
1.0. ALLGEMEINE NOTFALLVERSORGUNG IN DEUTSCHLAND .....	1
1.1. PRÄHOSPITALE VERSORGUNG IN DEUTSCHLAND.....	1
1.1.1. EINSATZAUFKOMMEN .....	2
1.1.2. INTERVENTIONEN .....	2
1.1.3. ORGANISATION DES RETTUNGSDIENSTES .....	4
1.2. INNERKLINISCHE VERSORGUNG .....	5
1.2.1. ZENTRALE NOTAUFNAHME.....	5
1.2.1.1. EPIDEMIOLOGIE UND ORGANISATION .....	5
1.2.2. SCHOCKRAUMVERSORGUNG.....	6
1.2.2.1. PATIENTENAUFKOMMEN.....	7
1.2.2.2. INTERVENTIONEN UND BEHANDLUNGSERGEBNISSE.....	7
1.2.2.3. ORGANISATION DES SCHOCKRAUMMANAGEMENTS .....	8
1.3. KINDERNOTFALLVERSORGUNG IN DEUTSCHLAND .....	10
1.3.2. EINSATZAUFKOMMEN .....	10
1.3.3. INTERVENTIONEN .....	10
1.3.4. ORGANISATION DER KINDERVERSORGUNG IM RETTUNGS- UND NOTARZTDIENST ...	11
1.4. INNERKLINISCHE NOTFALLVERSORGUNG VON KINDERN IN DEUTSCHLAND .....	11
1.4.1. KINDERNOTAUFNAHME .....	12
1.4.2. ZENTRALE NOTAUFNAHME.....	12
1.4.3. KINDERSCHOCKRAUM.....	12
1.4.4. KINDERINTENSIVSTATION.....	13
1.5. DER KINDERNOTFALL.....	13
1.5.1. PÄDIATRISCHE KRANKHEITSBILDER NACH LEITSYMPTOMEN (ABCDE-PROBLEM) ..	14
1.5.2. DER KRITISCH KRANKE KINDERNOTFALL .....	16
1.5.3. DER KRITISCH KRANKE TRAUMATOLOGISCHE KINDERNOTFALL .....	16
1.5.4. DER KRITISCH KRANKE NICHT-TRAUMATOLOGISCHE KINDERNOTFALL .....	17
1.6. HINTERGRÜNDE UND ZIELE DER STUDIE .....	17
1.7. ETHIKVOTUM .....	18
<u>2. PUBLIZIERTE ORIGINALARBEIT</u> .....	19
<u>3. DISKUSSION</u> .....	20

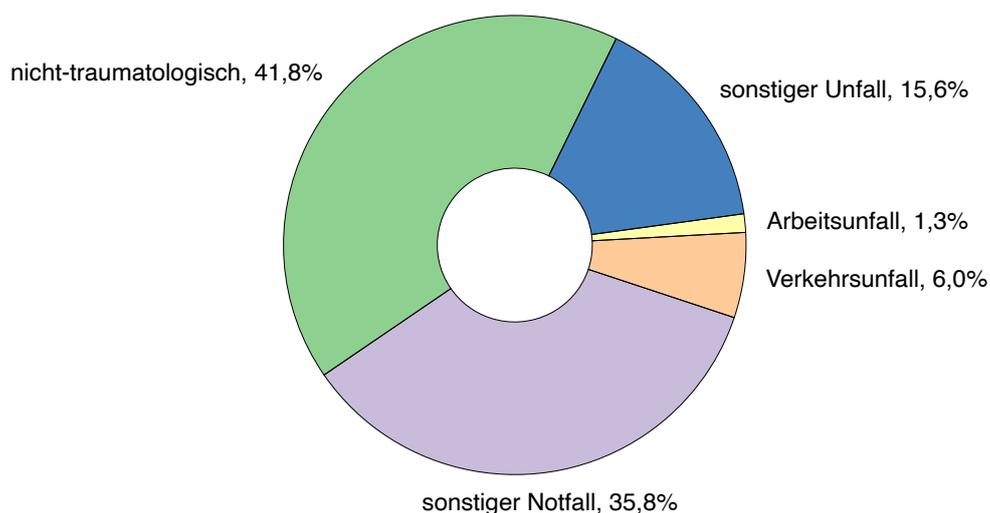
3.1.	VORANGEGANGENE ARBEITEN.....	20
3.2.	AUFNAHMELOKALISATION UND VERSORGUNGSKONZEPTE .....	20
3.3.	PATIENTENKOLLEKTIV .....	22
3.4.	ERKRANKUNGSSPEKTRUM.....	23
3.5.	PRÄHOSPITALE UND INNERKLINISCHE NOTFALLMAßNAHMEN.....	26
3.6.	VERLEGUNG NACH VERSORGUNG .....	29
3.7.	BEHANDLUNGSERGEBNIS .....	30
3.8.	LIMITATIONEN.....	30
4.	<u>SCHLUSSFOLGERUNG .....</u>	<u>32</u>
5.	<u>AUSBLICK .....</u>	<u>33</u>
6.	<u>LITERATURVERZEICHNIS.....</u>	<u>35</u>
7.	<u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</u>	<u>43</u>
	<u>DANKSAGUNG.....</u>	<u>44</u>

# Einleitung

## 1.0. Allgemeine Notfallversorgung in Deutschland

### 1.1. Prähospitaler Versorgung in Deutschland

Die prähospitaler Notfallversorgung in Deutschland ist eine öffentliche Aufgabe und wird in einem Rettungsdienstwesen organisiert. Hauptaufgaben des Rettungswesens sind lebensrettende Maßnahmen, Stabilisierung des Patienten und der Transport in eine geeignete medizinische Einrichtung, mit dem Ziel, schwere gesundheitliche Schäden noch am prähospitalen Einsatzort abzuwenden [1]. In Deutschland gibt es 320 Rettungsleitstellen und 325 Rettungsdienstbereiche, die jeweils rund 253.000 Patienten auf 1.104 km<sup>2</sup> betreuen. Etwa 1.800 Rettungswachen und 1.050 Notarztstandorte mit über 17.000 Notärzten sind im Einsatz. [2]. Der bodengebundene Notarztendienst wird im Rendezvous- oder Stationssystem betrieben. Beim Rendezvoussystem fahren NEF und RTW separat, im Stationssystem starten sie gemeinsam aus einer Wache oder einem Krankenhaus in einem Notarztwagen (NAW) [2].



**Abb. 1:** Verteilung von Notfalleinsätzen der Jahre 2000/2001 nach Angaben des Unfallverhütungsberichts Straßenverkehr, Bundestagsdrucksache 14/9730 vom 04.07.2002 (mod. nach [2])

### 1.1.1. Einsatzaufkommen

Die Anzahl der Rettungsdienstalarmierungen in Deutschland variiert jährlich und wird durch Faktoren wie Bevölkerungszahl und Gesundheitslage beeinflusst. In den Jahren 2000/2001 gab es etwa 10,3 Millionen Alarmierungen, davon 43% Notfalleinsätze, wovon die Hälfte notärztlich begleitet wurde [1]. Im Jahr 2016 stieg die Zahl der Notfalleinsätze auf 15 Millionen [1], und in den Jahren 2020/21 wurden jährlich rund 13,1 Millionen Notfalleinsätze registriert, davon 61,7% Notfallrettungen und 38,3% Krankentransporte. In etwa 16,7% der Fälle wurde ein Notarzt zum Einsatz alarmiert [3].

Auf Kindernotfälle entfallen rund 4% der prähospitalen Notfalleinsätze. Andere, teilweise internationale Studien beschreiben prozentuale Anteile von Kindern in prähospitalen Patientenkollektiven von knapp über 10% [4, 8, 16, 17].

In den letzten Jahren ist die Anzahl der Notfalleinsätze gestiegen, besonders in urbanen Gebieten. Der nicht-traumatologische Notfall stellt immer noch den häufigsten Notfalleinsatz in Deutschland dar [2]. Dies liegt auch daran, dass sich der Aufgabenbereich des Rettungsdienstes zunehmend wandelt und eine umfangreichere notfallmedizinische Behandlung bereits am Einsatzort möglich ist, bedingt durch eine bessere medizinische Ausstattung und veränderte Qualifikationen und Handlungsberechtigungen. Demografische und gesellschaftliche Veränderungen wie Migration oder sozioökonomische Disparitäten beeinflussen ebenfalls den Versorgungsbedarf [1].

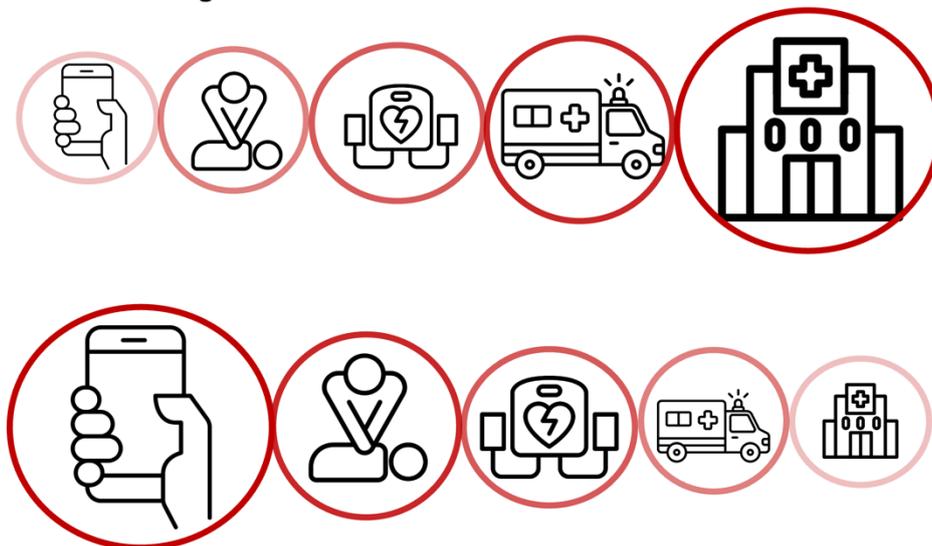
### 1.1.2. Interventionen

Die Aufgaben einer Rettungsleitstelle umfassen die Notrufbearbeitung mit Entsendung geeigneter Rettungsmittel in einer bestimmten Hilfsfrist und telefonischer Erste-Hilfe-Anleitung bis hin zur Telefonreanimation, die Steuerung verfügbarer Ressourcen sowie die Planung von Krankentransporten und Kommunikation mit Rettungsdiensten und Kliniken (**Abb.2**) [1]. Die Rettungsleitstellen ermöglichen den Übergang von der Versorgung durch Laienhelfende hin zur professionellen Notfallversorgung und fungieren als zentraler Distributor kritischer Infrastrukturen und als wichtiges

Verbindungsglied zur aufnehmenden Klinik [1]. Ziel ist eine lückenlose Versorgung des Notfallpatienten vom Ort des Geschehens bis zur definitiven innerklinischen Versorgung [2].

Das Rettungsdienstfachpersonal stabilisiert Patienten unter prähospitalen Bedingungen mit begrenzten Mitteln, um Transportfähigkeit herzustellen und eine schnelle Überführung in die innerklinische Versorgung zu gewährleisten. Verschiedene Versorgungsstrategien wie „**load & go**“ (schnellstmögliche Verlastung des Patienten und Verbringung in ein Krankenhaus) und „**stay & play**“ (optimale Versorgung vor Ort und nachfolgende Zuführung des Patienten in ein Krankenhaus) kommen dabei zum Einsatz. Häufige rettungsdienstliche Maßnahmen umfassen die Initiierung einer Atemwegssicherung und Beatmung, die Schaffung von Zugängen zum Gefäßsystem, eine adaptierte Katecholamintherapie und Maßnahmen der kardiopulmonalen Reanimation. Invasive Eingriffe im Sinne einer ultima ratio (z.B. Koniotomie, Clamshell-Thorakotomie) sind seltene Ausnahmefälle und Gegenstand einzelner Fallberichte.

#### Derzeitige relative Betonung der Elemente in der Überlebenskette

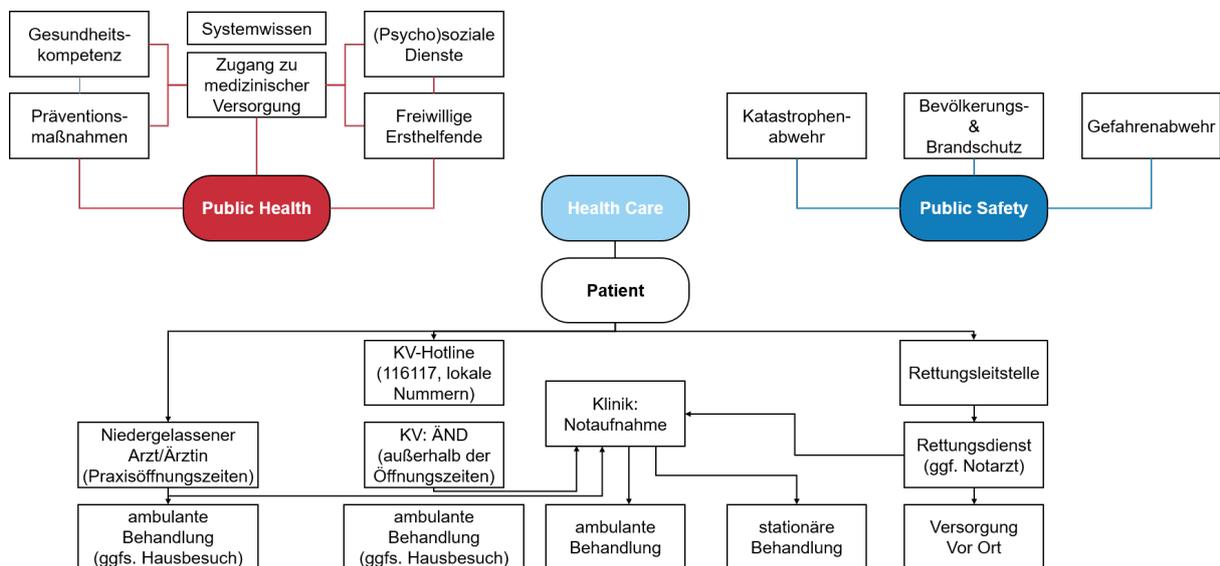


#### Auswirkungen der Elemente in der Überlebenskette auf das Überleben

**Abb. 2:** Bedeutung der Leitstelle in der Rettungskette (mod. nach [69])

### 1.1.3. Organisation des Rettungsdienstes

Der Rettungsdienst in Deutschland wird föderalistisch durch die einzelnen Landesrettungsdienstgesetze der Bundesländer geregelt, die Zielvorgaben wie die Rettungsdienstbereiche und die Rettungsmittel festlegen. Die Umsetzung erfolgt meist auf kommunaler Ebene, mit der Folge einer großen Heterogenität in Organisation, Abläufen und Leistungsfähigkeit. Oft schließen sich Kommunen zu Rettungsdienstzweckverbänden zusammen und verschiedene Akteure wie Feuerwehren, Hilfsorganisationen und private Unternehmen arbeiten zusammen, getragen von rund 300 Organisationen bundesweit [1].



**Abb. 3:** Darstellung der Notfallversorgung in Anlehnung an den Sachverständigenrat zur Begutachtung der Entwicklung im Gesundheitswesen (SVR) (2018) und EMS.gov (EMS.gov ist die offizielle Webseite des U.S. Department of Health and Human Services (HHS), bezieht sich auf den Emergency Medical Services (EMS)-Sektor der USA und dient als zentrale Informationsquelle für die verschiedenen Aspekte des Notfallmedizinischen Dienstes in den Vereinigten Staaten) - (modifiziert nach [1])

## **1.2. Innerklinische Versorgung**

### **1.2.1. Zentrale Notaufnahme**

Zentrale Notaufnahmen stellen als durchgehend geöffnete Behandlungseinrichtungen die Nahtstelle zwischen prähospitaler und innerklinischer Versorgung dar und sind in erster Linie für die medizinische Akut- und Notfallversorgung sowie zur Abklärung eines weiteren stationären Versorgungsbedarfs zuständig [1].

Alle Patienten, die eine Zentrale Notaufnahme aufsuchen, sind gemäß der Richtlinie des Gemeinsamen Bundesausschusses zur gestuften Notfallversorgung in Krankenhäusern administrativ zu erfassen, einer Behandlungsdringlichkeit zuzuordnen und ärztlich zu untersuchen, nur so kann die notwendige Versorgungsform eruiert werden. Die Abweisung eines Patienten ohne ärztliche Untersuchung ist medizinethisch und medikolegal nicht vertretbar [8].

#### **1.2.1.1. Epidemiologie und Organisation**

In Zentralen Notaufnahmen werden als eine zentrale Anlaufstelle für Notfälle jährlich rund 21 Millionen Patienten versorgt, deren Erkrankungs- und Verletzungsspektrum von Bagatellerkrankungen bis hin zu lebensbedrohlichen Zuständen reichen [8]. Rund 30-40% der Patienten benötigen eine stationäre Aufnahme, während die Mehrheit ambulant behandelt wird. Zentrale Notaufnahmen als barrierefreie, rund um die Uhr geöffnete und umfassende Versorgungseinrichtungen werden in den letzten Jahren zunehmend frequentiert, wobei die Patientenzahlen jährlich um bis zu 9% steigen [62, 63, 64]. Die Zunahme des Anteils ambulant behandelter Patienten in Zentralen Notaufnahmen lässt sich vor allem auf veränderte Patientenpräferenzen, Herausforderungen beim Zugang zur regulären ambulanten Versorgung durch niedergelassene Ärzte sowie auf die erwarteten Qualitätsvorteile der interdisziplinären Behandlungsmöglichkeiten in Krankenhäusern zurückführen [6].

Patienten kommen überwiegend fußläufig (60-80%), seltener per Rettungswagen oder Hubschrauber in die Notaufnahme. Eine erste Einschätzung erfolgt meist durch das Manchester-Triage-System (MTS) als strukturiertes und validiertes Ersteinschätzungsinstrument [10], durch das Patienten nach Dringlichkeit in fünf Kategorien für einen Arztkontakt eingeteilt werden [rot (sofortiger Arztkontakt), orange (binnen 10 Minuten), gelb (binnen 30 min), grün (binnen 90 min), blau (binnen 120

min)]. Kritisch Kranke der Kategorien „rot“ und „orange“ machen rund 15% des gesamten Patientenspektrums aus, mit höherer Prävalenz bei älteren Patienten [6]. Die Altersverteilung des Patientenspektrums in Notaufnahmen liegt im Durchschnitt bei 50 Jahren. Dabei machen Kinder rund 10% und Senioren über 70 Jahre 25% aus. Die größte Patientengruppe stellt die der 18- bis 29-Jährigen dar, die durchschnittliche Geschlechterverteilung ist annähernd ausgeglichen [6]. Ein Drittel der Patienten hat traumatologische/chirurgische Beschwerden, mit einem deutlichen Überwiegen jüngerer Männer in dieser Patientenkohorte. Die stationäre Aufnahmequote (Konversionsrate) variiert je nach Zuweisungsweg: Patienten, die über den Rettungsdienst der Notaufnahme zugeführt werden, werden häufiger stationär aufgenommen (50–85%) als Selbsteinweiser (16%) [5]. Ältere und männliche Patienten, sowie Patienten der Leitsymptomgruppe „nicht-traumatologischer Notfall“ hatten dabei ein signifikant höheres Risiko für eine stationäre Aufnahme [6].

### **1.2.2. Schockraumversorgung**

Der Schockraum ist ein spezialisierter Akutversorgungsbereich innerhalb der Zentralen Notaufnahme, der für die Behandlung kritisch kranker und schwerverletzter Patienten ausgelegt ist. Er verbindet als Nahtstelle die prähospital im Rettungs- und Notarztdienst versorgten Patienten zur innerklinischen Stabilisierung mit strukturierter Diagnostik und Therapieentscheidung im interdisziplinären Team [12]. Um den hohen Anforderungen gerecht zu werden, sind umfassende Schulungen und auf Algorithmen basierte Arbeitsabläufe essenziell, wobei der Schockraumleiter eine zentrale Rolle einnimmt - neben einer hohen fachlichen Expertise muss dieser ein besonderes Maß an interpersonellen Fähigkeiten sowie Kernkompetenzen nach Advanced Trauma Life Support (ATLS)-Richtlinien im Bereich Zeit- und Personalmanagement vorweisen [12]. Seit Jahrzehnten formuliert die Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU®) in der S3-Leitlinie notwendige Empfehlungen zum Thema personeller und apparativer Ausstattung sowie zum Schockraummanagement von Traumapatienten [12].

Anders als bei schwerverletzten Patienten existierten für kritisch kranke nicht-traumatologische Patienten lange keine Empfehlungen für eine strukturierte Schockraumversorgung. Diese Patienten benötigen jedoch aufgrund ihrer Erkrankungsschwere und hohen innerklinischen Letalität bereits in der initialen Versorgungsphase relevante Ressourcen der Notaufnahme sowie eine geeignete personelle Besetzung mit hoher Qualifikation. Analog den Strukturen zur

Traumaversorgung entstand im Jahr 2022 das Weißbuch für kritisch kranke nicht-traumatologische Schockraumpatienten der Deutschen Gesellschaft für interdisziplinäre Notfall- und Akutmedizin (DGINA) in deutschen Zentralen Notaufnahmen [11].

#### **1.2.2.1. Patientenaufkommen**

Für Traumapatienten wurde über Jahre eine verlässliche Datenquelle zur Schockraumversorgung durch das TraumaRegister DGU® entwickelt. Für nicht-traumatologische, kritisch kranke Patienten fehlten entsprechende Daten, obwohl Studien eine bis zu viermal höhere Anzahl dieser Patienten im Vergleich zu Traumapatienten gezeigt haben [9]. Im Jahr 2023 wurden im TraumaRegister DGU® insgesamt 31.217 Traumapatienten erfasst, die überwiegend männlich und im Durchschnitt 55 Jahre alt waren. Weiterführende intensivmedizinische Maßnahmen benötigten 83% dieser Patienten und die 30-Tages-Mortalität betrug 12%. Bei 15% der Patienten handelte es sich unter Berücksichtigung des Injury Severity Scores (ISS) definitionsgemäß um Polytraumata [12].

Zunehmend beschäftigen sich Untersuchungen nun auch mit dem nicht-traumatologischen Schockraumkollektiv in deutschen Zentralen Notaufnahmen: In mehreren Studien wurden für nicht-traumatologische Schockraumpatienten Anteile zwischen 0,5-2% aller Patientenkontakte der untersuchten Notaufnahmen ermittelt [9,11]. Diese Patienten waren häufig in mittlerem bis fortgeschrittenem Alter und wurden vor allem über den Rettungs- und Notarztdienst zugeführt. Es ergaben sich standortspezifische Unterschiede bezüglich dem zur Schockraumaufnahme führenden Leitsymptom, wobei beim Erwachsenen-Kollektiv das C-Problem an allen Standorten dominierte. Es fanden sich in 20-30% ein prähospitaler Herz-Kreislaufstillstand, außerdem hohe Raten von respiratorischer Insuffizienz und Vigilanzminderung [9,11]. Insgesamt zeigte sich ein kritisch-krankes, höchst vulnerables Patientenkollektiv mit einem hohen Bedarf an apparativen und personellen Ressourcen und qualifizierte sich somit für eine interdisziplinäre Schockraumversorgung.

#### **1.2.2.2. Interventionen und Behandlungsergebnisse**

Eine Indikation zur Schockraumbehandlung besteht bei traumatischen und nicht-traumatischen Patienten insbesondere bei akuten Störungen des Atemwegs, der

Atmung, des Kreislaufs oder des Bewusstseins [9]. Daraus folgt häufig die Notwendigkeit einer raschen Durchführung diagnostischer Maßnahmen und die daraus folgende Ableitung effizienter Therapiestrategien, von welchen die kritisch-kranken oder schwerverletzten Patienten in hohem Maße profitieren.

Zu den häufigen Interventionen gehören daher auch die Atemwegssicherung und invasive sowie nicht-invasive Beatmung, die Katecholamintherapie sowie invasive Blutdruckmessung. Schwerverletzte profitieren von der Möglichkeit, chirurgische Eingriffe direkt im Schockraum durchzuführen [9,11].

Wesentliche diagnostische Maßnahmen umfassen unter anderem die Anfertigung eines 12-Kanal-EKG, Labordiagnostik, die fokussierte Echokardio- und Sonographie, die Anfertigung eines Röntgenthorax und einer Großgerätebildgebung (CT/MRT) [9]. Die durchschnittliche Verweildauer im Schockraum beträgt 30–45 Minuten, mit häufigen Verlegungen auf Intensivstationen. Die Mortalität variiert je nach Zustand und Vorbehandlung der Patienten, mit einer Schockraumtatalität von 4-8% und einer Krankenhausüberlebensrate bei nicht-traumatologischen Patienten nach prähospitaler Reanimation von über 30% [9,11].

### **1.2.2.3. Organisation des Schockraummanagements**

In Studien wurde nachgewiesen, dass die Versorgung im Schockraum einer Zentralen Notaufnahme am besten nach standardisierten Verfahrensanweisungen erfolgt, beginnend mit definierten Anmelde- und Übergabekonzepten, um vor Ankunft des Patienten im kompletten Schockraum einsatzbereit zu sein [11,12,37]. Über 90% der Patienten werden über den Rettungs- und Notarzdienst zugeführt und nur wenige Patienten kommen über die Erstein-schätzung als initial fußläufig zugeführte Patienten zur Schockraumversorgung. Die Schockraumversorgung fungiert hierbei als Nahtstelle zwischen einer prähospitalen Versorgung und einer weiterführenden intensivmedizinischen Behandlung [11,12]. Die Teammitglieder des Schockraumbasisteams werden in der Regel vorab alarmiert, wobei es je nach Fallkonstellation Sinn macht, weiterbehandelnde Fachabteilungen (z.B. Anästhesiologie, Radiologie, Neurochirurgie, Pädiatrie und pädiatrische Intensivmedizin) frühzeitig zu involvieren, um das weitere Vorgehen optimal im erweiterten Schockraumteam abzustimmen [11,12]. Das Schockraumbasisteam besteht aus 4-5 Personen (je zur Hälfte ärztliches und pflegerisches Personal), wobei bei schwerverletzten Patienten Fachärzte aus Unfallchirurgie, Radiologie und

Anästhesiologie sowie ggf. weitere chirurgische Disziplinen hinzugezogen werden [11,12].

Für die personelle Besetzung eines nicht-traumatologischen Schockraums gibt es seit 2018 durch die Zusatzweiterbildung „Akut- und Notfallmedizin“ und das Weißbuch für nicht-traumatologische Schockraumpatienten erstmals klare Empfehlungen [15]: Es wird mindestens ein Fach- oder Oberarzt in der Notaufnahme mit Zusatzbezeichnung „Klinische Akut- und Notfallmedizin“, möglichst mit gültigem Zertifikat im Advanced Critical Illness Life Support (ACiLS) gefordert, ab 2025 auch ein Assistenzarzt mit diesem Zertifikat [9]. Auch (Notfall-)Pflegekräfte sollen entsprechende Qualifikationen besitzen.

Auch bestimmte räumliche und apparative Anforderungen müssen in einem Schockraum erfüllt sein, z.B. eine Mindestgröße von 25-50 qm und ein rascher Zugang zu einer Großgeräteabteilung. Zusätzlich ist eine Beobachtungsstation sinnvoll, um Wartezeiten vor der Aufnahme auf Intensivstationen zu überbrücken und die Ressourcen des Schockraums zu schonen [11]. Gerade die Etablierung der Zentralen Notaufnahmen in den letzten 20 Jahren und die zunehmende Versorgung kritisch kranker Patienten in den angegliederten Schockräumen führte zu einer besseren Identifizierung des zugrundeliegenden Problems und einer Verbesserung des Behandlungsergebnisses [11].

Die Patientenversorgung im Schockraum beginnt mit einer sofortigen Ersteinschätzung („Five Second Round“), gefolgt von der notärztlichen Übergabe, auch unter laufenden erweiterten Reanimationsmaßnahmen [11,12]. Danach erfolgt die systematische Stabilisierung nach dem ABCDE-Schema. Die Leitung übernimmt der Schockraumleiter oder eine interdisziplinäre Führungsgruppe, wobei eine leitensymptomorientierte und ganzheitliche Versorgungsstrategie angewendet wird [11,12]. Die Dokumentation und Datenerfassung sind entscheidend für das Schockraummanagement und sollten bundesweit etabliert werden. Defizite bestehen in der personellen Besetzung und Ausstattungsmerkmalen, sowie bei der Facharztpräsenz zu allen Tages- und Nachtzeiten. Regelmäßige Schulungen zur Qualitätssicherung werden empfohlen [12].

### **1.3. Kindernotfallversorgung in Deutschland**

#### **1.3.1. Prähospitale Versorgung von Kindern im Rettungs- und Notarztdienst**

Kindernotfälle stellen eine besondere Herausforderung für das Rettungsdienstwesen dar, da Kinder aufgrund von anatomischen und physiologischen Besonderheiten im Vergleich zu Erwachsenen anders auf Verletzungen und Krankheiten reagieren [34]. Kinder haben unterschiedliche anatomische Strukturen (z.B. kleinere Atemwege) und physiologische Reaktionen (z.B. höhere Herzfrequenz), die bei der Behandlung berücksichtigt werden müssen. Diese Unterschiede des Kinderkollektivs erfordern spezielle Kenntnisse in der Kindernotfallmedizin, z.B. bezüglich Medikamentendosierungen, Techniken zur Atemwegssicherung und Beatmung [56]. Dabei ist die prähospitale Versorgung eine entscheidende Phase der Behandlung, um die Überlebenschancen und das langfristige Wohlbefinden von Kindern zu verbessern [19].

#### **1.3.2. Einsatzaufkommen**

Die häufigsten Kindernotfälle sind Traumata, Atemwegserkrankungen und neurologische Notfälle, wobei Unfälle die häufigste Ursache für schwere Verletzungen sind [19]. Die prähospitale Versorgung von Kindern stellt aufgrund ihrer Seltenheit eine besondere Herausforderung dar, da nur etwa 4-10% der prähospitalen Notfälle Kinder betreffen [4,8,16,17,18].

#### **1.3.3. Interventionen**

Die prähospitale Notfallversorgung von Kindern erfordert eine schnelle Einschätzung des Schweregrads der Notfallsituation sowie spezifisches Wissen über Normwerte der Vitalfunktionen und kindlicher Erkrankungen und Verletzungen. Die Stabilisierung der Vitalfunktionen erfolgt vergleichbar zum Erwachsenen nach dem ABCDE-Schema. Besondere Aufmerksamkeit gilt Medikamentendosierungen, insbesondere bei der analgetischen Therapie. Zudem spielt das Atemwegsmanagement eine zentrale Rolle, da Kinder empfindlicher auf Hypoxie reagieren.

Für die prähospitale Behandlung von Kindern ist das kontinuierliche Monitoring der pulsoxymetrischen Sauerstoffsättigung ( $SpO_2 >90\%$ ) und des endtidalen Kohlendioxidgehalts ( $etCO_2$  35–40 mmHg) im Rahmen einer Beatmung entscheidend. Bei eingeschränktem Bewusstsein sollte ein erweitertes Atemwegsmanagement in

Erwägung gezogen werden, wobei die Erfahrung des Notarztes oder des gesamten Behandlungsteams zu berücksichtigen ist [19]. Die invasive Atemwegssicherung wird selten benötigt, da Notärzte nur alle drei Jahre bei einem Kind und alle 13 Jahre bei einem Säugling prähospital eine Atemwegssicherung durchführen müssen [4]. Die endotracheale Intubation sollte daher individuell und situationsabhängig bewertet und ggf. bis ins Krankenhaus durch suffiziente Masken-Beutel-Beatmung bzw. durch einen supraglottischen Atemweg prolongiert werden [16].

Die Einbeziehung von Eltern stärkt Vertrauen und reduziert Ängste. Eine nicht optimierte Versorgungssituation erschwert die Behandlung, da viele Rettungsteams keine standardisierten Protokolle oder altersgerechte Dosierungen verwenden und häufig nicht ausreichend geschult sind [18].

#### **1.3.4. Organisation der Kinderversorgung im Rettungs- und Notarzteinsatz**

In Deutschland wird die prähospitalen Versorgung von Kindern häufig von medizinischem Personal durchgeführt, das nicht auf diese Altersgruppe spezialisiert ist: Dies kann zu einer erhöhten Fehlerquote und Teambelastung führen [16]. Während in Ballungsräumen spezielle „Baby/Kinder-Notarztwagen“ (Baby-NAW) verfügbar sind, fehlt in ländlichen Regionen eine flächendeckende prähospitalen Kinder-Notfallversorgung. Studien zeigen, dass eine notarztbesetzte prähospitalen Versorgung signifikante Vorteile für Kinder hat, mit besseren klinischen Ergebnissen, geringerer Mortalität und weniger Komplikationen [17]. Eine enge Kooperation zwischen Rettungsdienst und Klinik sowie fortlaufende Schulungen und Simulationstrainings sind entscheidend für eine optimierte Versorgung [16,19].

#### **1.4. Innerklinische Notfallversorgung von Kindern in Deutschland**

Die innerklinische Notfallversorgung von Kindern in Deutschland umfasst spezialisierte Behandlungsräume in Kindernotaufnahmen und Kinderintensivstationen, oder Schockräumen von Zentralen Notaufnahmen, die je nach lokalem Protokoll als Aufnahmelokalisation eingesetzt werden. Kinder erfordern alters- und gewichtsspezifische Geräte, Medikamente und ein multidisziplinäres Team für eine sichere Versorgung. Die verschiedenen Behandlungsräume richten sich an unterschiedliche Patientengruppen und erfüllen spezifische Funktionen in der Versorgungskette [67].

#### **1.4.1. Kindernotaufnahme**

Kindernotaufnahmen sind die erste Anlaufstelle für akute, nicht lebensbedrohliche Erkrankungen und leichte Verletzungen. Hier werden Entscheidungen zur Weiterbehandlung im Krankenhaus oder zur Ambulantisierung getroffen. In seltenen Fällen erfolgt eine direkte Verlegung auf die Kinderintensivstation [21]. Die Untersuchungsräume sind kindgerecht gestaltet und mit passenden Diagnostik- und Therapieinstrumenten ausgestattet. In das Versorgungsspektrum entfallen häufige Fälle von Atemwegsinfektionen, leichten Verletzungen, Dehydratationen oder Fieberkrämpfen. Speziell ausgebildetes Ärzte- und Pflegepersonal, im Regelfall Pflegekräfte mit pädiatrischer Weiterbildung und Kinderärzte, übernehmen die Versorgung und werden konsiliarisch durch weitere Fachdisziplinen (z.B. Kinderchirurgie, Kinderradiologie) unterstützt.

#### **1.4.2. Zentrale Notaufnahme**

Zentrale Notaufnahmen übernehmen die Erstversorgung von Kindern, einschließlich Ersteinschätzung und Stabilisierung, wenn keine spezialisierten Kindernotaufnahmen verfügbar sind, bevor eine Verlegung in eine geeignete Kinderklinik erfolgen kann. Sie fungieren als Nahtstelle zwischen der prähospitalen Versorgung und der innerklinischen Betreuung. Rund 10% der jährlich behandelten Patienten in der Zentralen Notaufnahme des Universitätsklinikum Düsseldorf entfallen auf Menschen im Alter unter 18 Jahren [8], wobei standortspezifisch 40% der Fälle chirurgische Ursachen haben. In das Spektrum der nicht-traumatologischen Patienten entfallen vorwiegend die kritisch kranken Kinder. Zentrale Notaufnahmen sind mit kindgerechten Materialien ausgestattet und es können - je nach lokaler Struktur und Vorhaltung im Krankenhaus - Kinderärzte bei Bedarf entweder direkt oder telemedizinisch hinzugezogen werden. Regelmäßige Schulungen und Simulationen sowie unterstützende Leitlinien und Nachbesprechungen sind entscheidend für die Qualität der Notfallversorgung [20,22].

#### **1.4.3. Kinderschockraum**

Im Kinderschockraum werden schwerverletzte polytraumatisierte Kinder, Kinder nach stattgehabter prähospitaler Reanimation, Kinder mit kritischer Atemwegsverlegung oder Schockzuständen aufgrund schwerer Blutung oder Sepsis und Kinder mit einer

relevanten Vigilanzstörung behandelt. Die Versorgung erfolgt durch ein multidisziplinäres Team, das aus ärztlichem Personal der Notfallmedizin, Pädiatrie, Anästhesie, spezialisierten Pflegekräften sowie bei Bedarf Radiologie und (Neuro-)Chirurgie besteht. Dies ermöglicht eine schnelle und systematische Anwendung des ABCDE-Schemas zur optimalen Versorgung [19]. Der Schockraum trägt zur Entlastung der kinderintensivmedizinischen Ressourcen bei und kann durch standardisierte Handlungsanweisungen die Mortalität senken und das Behandlungsergebnis verbessern [20].

#### **1.4.4. Kinderintensivstation**

Kinderintensivstationen sind spezialisiert auf die Versorgung lebensbedrohlich erkrankter Kinder und die Überwachung bei intensivem Therapiebedarf (z.B. schwere Sepsis mit Multiorganversagen). Kinderintensivstationen sind je nach lokalen Gegebenheiten zum Teil mit hochspezialisierter Ausstattung wie Computertomographie (CT), Magnetresonanztomographie (MRT) und Extrakorporaler Membranoxygenierung (ECMO) ausgestattet und bieten spezielle Überwachungsgeräte sowie Reanimationsmöglichkeiten. Das Team besteht aus spezialisiertem ärztlichem Personal im Bereich Neonatologie und Kinderintensivmedizin sowie Intensivpflegepersonal mit spezieller Weiterbildung im Bereich Kinderintensivpflege. Häufige Fälle sind schwere Atemwegserkrankungen, Schädel-Hirn-Traumata (SHT) und Schockzustände. Die Kinderintensivstation spielt eine zentrale Rolle bei der Übernahme kritisch kranker Kinder aus Kindernotaufnahmen und dem Schockraum von Zentralen Notaufnahmen, leidet jedoch unter kapazitären Engpässen, oft bedingt durch Personalmangel [41].

#### **1.5. Der Kindernotfall**

Die Notfall- und Akutmedizin im Kindesalter unterscheidet sich erheblich von der Erwachsenenmedizin aufgrund altersbedingter physiologischer Unterschiede und variierender Krankheitsbilder [56]. Im Säuglingsalter dominieren respiratorische Probleme, im Kleinkindalter neurologische Erkrankungen, und im Schulkindalter steigen traumatologische Notfälle [12, 13, 24, 45]. Das ABCDE-Schema hilft, lebensbedrohliche Zustände systematisch zu erkennen und zu behandeln. Der

folgende Abschnitt beschreibt die wichtigsten Krankheitsbilder im Kindesalter und deren Unterschiede zur Erwachsenenmedizin.

### 1.5.1. Pädiatrische Krankheitsbilder nach Leitsymptomen (ABCDE-Problem)

**A-Problem:** Im Kindesalter äußern sich Atemwegsverlegungen durch Symptome wie Tachypnoe, Dyspnoe, Stridor, Husten, Zyanose und gegebenenfalls Bewusstseinsstörungen. Die entscheidende Frage bei der initialen Einschätzung ist, ob der Atemweg offen, gefährdet oder verlegt ist. Um den Atemweg zu sichern, wird bei Säuglingen der Kopf in Neutralposition und bei älteren Kindern leicht überstreckt positioniert. In bestimmten Fällen kann der Esmarch-Handgriff als unterstützende Maßnahme angewendet werden [19]. Häufige Ursachen sind respiratorische Infektionen, Fremdkörperaspirationen und allergische Reaktionen. Im Gegensatz zu Erwachsenen entwickeln sich Atemwegsobstruktionen bei Kindern schneller, bei Erwachsenen dominieren mechanische Obstruktionen, zum Beispiel bedingt durch Tumorgewebe oder posttraumatische Atemwegskomplikationen.

**B-Problem:** Im Kindesalter zeigen sich B-Probleme häufig durch Tachypnoe, Dyspnoe, Hypoxie und Einziehungen. Letzteres Symptom, häufig begleitet mit Nasenflügeln bei kleineren Kindern und Säuglingen, dient der Erhöhung der funktionellen Residualkapazität. Kinder sind aufgrund kleinerer und weicherer Atemwege, begrenzter Sauerstoffreserven und höherem Sauerstoffverbrauch besonders anfällig, was Atemnot schnell lebensbedrohlich macht. Etwa 15-35 % der prähospitalen Notfalleinsätze betreffen Atemstörungen [29,50,51]. Häufige Ursachen sind Infektionen wie RSV-Bronchiolitis, virale Laryngotracheitis, Pneumonien und Asthma bronchiale sowie seltener allergische Reaktionen oder Thoraxtraumata. In der Neonatologie tritt häufig das Atemnotsyndrom bei Frühgeborenen aufgrund von Surfactantmangel auf. Im Gegensatz dazu dominieren bei Erwachsenen die chronisch obstruktive Lungenerkrankung und Pneumothoraces als Ursache für ein relevantes B-Problem.

**C- Problem:** Im Kindesalter zeigen sich C-Probleme durch Tachy- oder Bradykardie, blasse, kaltschweißige Haut und eine verlängerte Rekapillarierungszeit. Zur frühzeitigen Erkennung werden Herzfrequenz, periphere Perfusion, Blutdruck und Pulsqualität bewertet [25]. Häufige Ursachen sind Schockzustände (z.B.

hypovolämischer oder septischer Schock), seltener kongenitale Herzfehler und Arrhythmien. Eine verlängerte Rekapillarierungszeit ist ein frühes Warnsignal für kardiozirkulatorische Dekompensation. Im Gegensatz zu Erwachsenen können Kinder einen normalen Blutdruck trotz Hypovolämie oder eingeschränkter Herzfunktion aufrechterhalten, was eine arterielle Hypotonie als Spätzeichen für einen dekompensierten Schock kennzeichnet [25]. Bei Erwachsenen dominiert der kardiogene Schock, zum Beispiel im Rahmen eines Myokardinfarktes als zugrundeliegende Diagnose für ein akutes C-Problem, während bei Kindern Herzkreislaufstillstände oft durch respiratorische Insuffizienz entstehen [30, 65].

**D-Problem:** Im Kindesalter äußern sich D-Probleme durch Bewusstseinsveränderungen, Krampfanfälle oder fokale neurologische Defizite. Eine schnelle Identifikation ist entscheidend, da Verzögerungen die Prognose verschlechtern können [66]. Zunächst wird die Stabilisierung der Atem- und Kreislauffunktionen durchgeführt, gefolgt von einer neurologischen Untersuchung [25]. Häufige Ursachen sind Fieberkrämpfe, Meningitis, Enzephalitis, Status epilepticus sowie Hypoglykämien und Intoxikationen. Ein Status epilepticus stellt einen medizinischen Notfall dar, der häufig eine Behandlung im Schockraum durch ein multidisziplinäres Team erfordert [47, 66]. Diese ist besonders wichtig bei Notwendigkeit einer Atemwegssicherung bzw. für eine schnellstmögliche Bildgebung zum Ausschluss kritischer Differentialdiagnosen [19].

Im Gegensatz zur Erwachsenenmedizin treten bei Kindern neurologische Notfälle seltener aufgrund vaskulärer Ursachen wie Schlaganfällen oder subduralen Hämatomen auf.

**E-Problem:** Im Kindesalter äußern sich E-Probleme hauptsächlich durch Unterkühlung, Verletzungen der Hautoberfläche und Anzeichen von Traumata. Kinder sind aufgrund ihres größeren Verhältnisses von Körperoberfläche zu Masse besonders anfällig für Hypo- und Hyperthermie. Häufige Ursachen für E-Probleme sind Verbrennungen, Verbrühungen durch Haushaltsunfälle sowie traumatische Verletzungen durch Stürze. Im Vergleich zu Erwachsenen erleiden Kinder häufiger thermische Verletzungen, während Erwachsene oft schwerere Traumata durch Gewalteinwirkung oder Verkehrsunfälle erfahren [68].

### **1.5.2. Der kritisch kranke Kindernotfall**

Ein kritisch kranker Patient im Kindesalter hat akut gefährdete vitale Funktionen wie Atmung, Kreislauf oder neurologische Integrität. Altersbedingte physiologische, anatomische und pathophysiologische Unterschiede machen Kinder in der Notfallmedizin zu einer besonders vulnerablen Patientengruppe. Faktoren wie kleinere Atemwegsdurchmesser, höhere Stoffwechselrate und geringere Sauerstoffreserven beschleunigen Probleme wie Atemwegsobstruktionen oder Hypoxie. Zudem können Kinder akute Kreislaufprobleme länger kompensieren, bevor eine Dekompensation eintritt [19]. Hilfsmittel wie das vereinfachte pädiatrische „Blickdiagnosedreieck“ können dabei unterstützen, in kurzer Zeit eine erste Beurteilung der Atemarbeit, des Bewusstseins und der Hautperfusion vorzunehmen [25]. Die schnelle Erkennung eines kritischen Zustands und die Anwendung des ABCDE-Schemas sind entscheidend für eine gezielte und lebensrettende Behandlung [48, 65].

### **1.5.3. Der kritisch kranke traumatologische Kindernotfall**

Die professionelle Versorgung eines polytraumatisierten Kindes beginnt bereits am Unfallort, mit dem Fokus auf eine schnelle und systematische Erfassung der Verletzungen sowie deren gezielte Behandlung. Obwohl Kinder nur 3-4% der schwerverletzten Personen ausmachen [26], haben sie ein spezifisches Verletzungsmuster, das oft Schädel-Hirn-Traumata, thorakale Verletzungen und intraabdominale Blutungen umfasst. Die Behandlung stellt besondere Herausforderungen dar, da Polytraumata im Kindesalter selten sind und es Unsicherheiten bei Medikamentendosierungen und Handlungsabläufen gibt [12]. Eine interdisziplinäre Zusammenarbeit nach Aufnahme im Krankenhaus ist im Schockraum von Zentralen Notaufnahmen gut etabliert, insbesondere unter Einbeziehung von Anästhesiologie, Kinderchirurgie und Radiologie [33]. Die Versorgung richtet sich nach der S2K-Leitlinie zur „Polytraumaversorgung im Kindesalter“ [28]. Bei der Diagnostik sollte die erweiterte Sonographie (eFAST) aus Gründen des Strahlenschutzes Vorrang vor einer Ganzkörper-CT-Untersuchung haben, die aber in besonderen Fällen erwogen werden muss. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Thermoregulation, da diese bei traumatisierten Kindern häufig beeinträchtigt ist [12].

#### **1.5.4. Der kritisch kranke nicht-traumatologische Kindernotfall**

Im Vergleich zur Polytraumaversorgung im Kindesalter bestehen wenige Daten zur Versorgung nicht-traumatologisch kritisch kranker Kindernotfälle. Zu den häufigsten nicht-traumatischen Notfällen gehören neurologische und respiratorische Notfälle, Herzkreislaufstillstände und Intoxikationen [11, 12, 13]. Die Behandlung fokussiert sich auf die präzise Diagnosestellung und sofortige Therapie, oft ohne chirurgische Eingriffe, sondern mit medikamentösen und notfallmedizinischen Maßnahmen im multidisziplinären Team. Im Gegensatz zur Polytraumaversorgung, die chirurgische Eingriffe und bildgebende Diagnostik erfordert, liegt der Schwerpunkt bei nicht-traumatologischen Patienten auf medizinischen Maßnahmen (z.B. Atemwegssicherung, Sepsismanagement) und der Klärung einer unklaren Vigilanzminderung.

#### **1.6. Hintergründe und Ziele der Studie**

Die Entwicklung der S3-Leitlinie für das Polytrauma-Schockraummanagement durch die DGU® führte zu signifikanten Verbesserungen bei der Versorgung schwerverletzter Erwachsener und diente als Grundlage für das Weißbuch für nicht-traumatologisch kritisch kranke Patienten im Erwachsenenalter, jeweils basierend auf einem multidisziplinären Versorgungskonzept. Für Kindernotfälle mit einem schweren Trauma liegen bereits Leitlinien für die Schockraumversorgung vor. Hingegen bestehen weder entsprechende Erkenntnisse aus evaluierten Schockraumkollektiven nicht-traumatologisch kritisch kranker Kinder noch Algorithmen oder Versorgungskonzepte.

Die Versorgung von Kindernotfällen gestaltet sich aufgrund fehlender Standards und spezifischer Anforderungen besonders schwierig. Dies erschwert eine konsistente und hochwertige Versorgung erheblich, ein Problem, das durch die Seltenheit von Kindernotfällen noch verschärft wird. Algorithmen und Verfahren aus der Erwachsenenmedizin sind oft nicht direkt übertragbar und in erwachsenenorientierten Notaufnahmen fehlt häufig die Routine im Umgang mit Kindernotfällen [27]. Dennoch sind standardisierte Abläufe entscheidend, um das Überleben kritisch kranker Kinder sicherzustellen [35].

Nach der Etablierung eines Schockraummanagements für nicht-traumatologisch erkrankte Erwachsene erscheint der Aufbau eines vergleichbaren, interdisziplinären

Versorgungskonzepts in Schockräumen von Zentralen Notaufnahmen für Kinder ebenfalls sinnvoll [19].

Ziel der vorliegenden OBSERvE-DUS-PED-Studie war es, Versorgungsdaten nicht-traumatologisch kritisch kranker Kinder im Schockraummanagement einer universitären Zentralen Notaufnahme zu erheben und damit Risiken in der prähospitalen und innerklinischen Versorgung zu identifizieren, Ressourcen zu optimieren und spezifische Versorgungskonzepte für Kinder im Vergleich zu Erwachsenen zu entwickeln [36, 37].

Dabei soll konkret folgenden Fragestellungen nachgegangen werden:

1. Wie war die Altersverteilung der unselektionierten, nicht-traumatologischen pädiatrischen Patienten in der OBSERvE-DUS-PED-Studie?
2. Welches Leitsymptom dominierte bei den Patienten der OBSERvE-DUS-PED-Studie, und welche Diagnosen lagen den Leitsymptomen zugrunde?
3. Welche medizinischen Interventionen wurden sowohl in der prähospitalen Phase als auch während der Schockraumversorgung im Rahmen der OBSERvE-DUS-PED-Studie durchgeführt?
4. Welches Behandlungsergebnis wurde in der OBSERvE-DUS-PED-Studie erzielt? Wie hoch war die 30-Tages-Mortalität und welche Verlegungsraten auf Intensivstationen sowie periphere Stationen wurden verzeichnet?

### **1.7. Ethikvotum**

Das Studienprotokoll wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf genehmigt (Nr. 2023-2377).

## 2. Publierte Originalarbeit

Retrospektive Analyse des Schockraummanagements nicht-traumatologisch kritisch kranker Kinder in einer universitären zentralen Notaufnahme

(OBSERvE-DUS-PED-Studie)

**Priebe C**, Bosse HM, Michael M, Picker O, Bernhard M, Tautz J. Die Anästhesiologie (2024), 73:656-667.

**DOI:** 10.1007/s00101-024-01457-7

**Pubmed ID:** 39222093

**Impact Factor:** 1,1 (2003)

Anaesthesiologie 2024 · 73:656–667  
<https://doi.org/10.1007/s00101-024-01457-7>  
Eingegangen: 24. Mai 2024  
Überarbeitet: 9. Juli 2024  
Angenommen: 6. August 2024  
Online publiziert: 2. September 2024  
© The Author(s) 2024



# Retrospektive Analyse des Schockraummanagements nicht-traumatologisch kritisch kranker Kinder in einer universitären zentralen Notaufnahme (OBSERvE-DUS-PED-Studie)

Claudia Priebe<sup>1</sup> · Hans Martin Bosse<sup>1</sup> · Mark Michael<sup>2</sup> · Olaf Picker<sup>3</sup> · Michael Bernhard<sup>2</sup> · Juliane Tautz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Klinik für Allgemeine Pädiatrie, Kinderkardiologie und Neonatologie, Universitätsklinikum Düsseldorf, Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf, Deutschland; <sup>2</sup>Zentrale Notaufnahme, Universitätsklinikum Düsseldorf, Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf, Deutschland; <sup>3</sup>Klinik für Anästhesiologie, Universitätsklinikum Düsseldorf, Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf, Deutschland

## Einleitung

Schwer erkrankte und verletzte Kinder sind eine besonders vulnerable Patientengruppe in der Notfallmedizin. Nach der prähospitalen Versorgung im Rettungs- und Notarztdienst stehen für die Versorgung von Kindern bisher in Deutschland je nach Organisationsform und Klinikstruktur unterschiedliche Aufnahmelokalisationen im Krankenhaus zur Verfügung: Kinder-notaufnahmen, Akutbehandlungsräume von Intensivstationen oder zentrale Notaufnahmen [19].

Als interdisziplinäre und integrative Nahtstelle zwischen der prähospitalen und frühen innerklinischen Versorgung stellt eine zentrale Notaufnahme eine wichtige Schlüssellokalisierung dar. Für pädiatrische Traumapatienten ist die Versorgung in Schockräumen von Notaufnahmen durch die aktuelle S2K-Leitlinie „Polytraumaversorgung im Kindesalter“ ein etabliertes und akzeptiertes interdisziplinäres Konzept [8]. Für die Versorgung nichttraumatologisch kritisch kranker Kinder in zentralen Notaufnahmen besteht allerdings noch kein vergleichbar beschriebenes Versorgungskonzept. Nach der Etablierung eines nichttraumatologischen Schockraummanagements für kritisch kranke Erwachsene

erscheint die Übertragung eines derartigen, interdisziplinär ausgerichteten Versorgungskonzeptes für nichttraumatologisch kritisch kranke Kinder sinnvoll [13]. Da Algorithmen, Medikamente und Vorgehensweisen aus der Erwachsenenmedizin sich nicht unmittelbar auf das Kindesalter übertragen lassen und bisher epidemiologische und versorgungstechnische Daten aus der Realversorgung für die Schockraumbehandlung nichttraumatologisch kritisch kranker Kinder fehlen, war es Ziel der Studie, die Versorgung nichttraumatologisch kritisch kranker Kinder im Schockraummanagement einer universitären zentralen Notaufnahme zu analysieren, um erste Daten zu Epidemiologie, innerklinischen, therapeutischen und diagnostischen Maßnahmen und zum Behandlungsergebnis zu gewinnen. Entsprechende Erkenntnisse helfen, die erforderlichen Ressourcen für die Versorgung von Kindern im nichttraumatologischen Schockraum zu identifizieren, das Behandlungsergebnis abzuschätzen und die Notwendigkeit entsprechender Versorgungskonzepte im Vergleich zu erwachsenen Patienten abzugrenzen.

## Zusatzmaterial online

Die Online-Version dieses Beitrags (<https://doi.org/10.1007/s00101-024-01457-7>) enthält weitere Abbildungen und Tabellen.



Zusatzmaterial online – bitte QR-Code scannen

## Material und Methoden

**Studiendesign.** In der retrospektiven, monozentrischen Studie Observation of critically ill pediatric patients in the resuscitation room of the emergency department in Düsseldorf (OBSERvE-DUS-PED) wurden alle Kinder im Alter <18 Jahren aus einem 3-jährigen Untersuchungszeitraum (01.11.2019–30.10.2022) erfasst, die einer Schockraumversorgung in der Zentralen Notaufnahme des Universitätsklinikums Düsseldorf über den Rettungs- und Notarztendienst zugeführt wurden. Ein positives Ethikvotum der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität lag vor (2023-2377).

**Studienzentrum.** Als interdisziplinäre Versorgungseinheit werden in der zentralen Notaufnahme traumatologisch und nichttraumatologisch kritisch kranke Kinder und Erwachsene behandelt. Parallel zur Kindernotaufnahme werden in der zentralen Notaufnahme des Universitätsklinikums jährlich über 45.000 Patienten behandelt, davon rund 10% im Alter <18 Jahren und 5% der Kinder mit einem nichttraumatologischen Vorstellungsgrund [3].

Die Aufnahmelokalisation für kritisch kranke Kinder ist der Schockraum der zentralen Notaufnahme des universitären Maximalversorgers. Im Vorfeld der Untersuchung erfolgte eine multidisziplinäre und interprofessionelle Abstimmung des innerklinischen Versorgungskonzeptes kritisch kranker nichttraumatologischer Kinder mit allen beteiligten Fachdisziplinen: Das interdisziplinäre Schockraummanagement kritisch kranker Kinder erfolgt in einem multidisziplinären Team, bestehend aus ärztlichen und pflegerischen Mitarbeitenden der Anästhesiologie, Pädiatrie, Radiologie und der klinischen Akut- und Notfallmedizin. Bei einer sekundär identifizierten chirurgischen Ursache des Erkrankungszustandes wird das Behandlungsteam durch unfall-, allgemein-, kinder- und neurochirurgische Fachdisziplinen ergänzt. Eine spezifische Anmeldeprozedur wurde mit den Partnern des Rettungs- und Notarztdienstes der Region vereinbart (Abb. 1). Der wesentliche Argumentationsgrund für das Versorgungskonzept nichttraumatologisch

**Hintergrund:** Die Etablierung eines nichttraumatologischen Schockraummanagements für kritisch kranke Kinder erscheint sinnvoll. In der vorliegenden Studie wurden Versorgungsdaten kritisch kranker nichttraumatologischer pädiatrischer Schockraumpatienten erhoben.

**Methoden:** In der retrospektiven OBSERvE-DUS-PED-Studie (November 2019 bis Oktober 2022) wurden pädiatrische Patienten (Alter <18 Jahre), die eine Schockraumversorgung aus nichttraumatologischer Ursache benötigten und der zentralen Notaufnahme zugeführt wurden, erfasst. Die routinemäßig dokumentierten Versorgungsdaten wurden gemäß dem OBSERvE-Datensatz dem Krankenhausinformationssystem MEDICO® und dem Patientendatenmanagementsystem COPRA® entnommen. Ein positives Ethikvotum der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität lag vor (2023-2377).

**Ergebnisse:** Für den 3-jährigen Untersuchungszeitraum konnten 52 Schockraumpatienten evaluiert werden, wobei in der Kohorte Jugendliche zwischen 14 und 17 Jahren mit 37% am häufigsten und Neugeborene/Säuglinge (0–1 Jahr) mit 8% am seltensten vertreten waren. Die führenden Symptome, kategorisiert nach ABCDE-Problemen, waren Vigilanzminderung (D): 61%, Herz-Kreislauf-Stillstand (C): 25%, respiratorische Insuffizienz (B): 6%, Atemwegsverlegung (A) und Umfeldfaktoren (E-Probleme) jeweils in 4%. Prähospital bzw. innerklinische Notfallmaßnahmen erfolgten in folgender Häufigkeit: peripherer (58 vs. 65%), intraossärer (14 vs. 2%) und zentraler Venenzugang (0 vs. 12%), invasives Atemwegsmanagement (35% vs. 8%), kardiopulmonale Reanimation (21 vs. 10%), Katecholamintherapie (15 vs. 17%) und intraarterielle Druckmessung (0 vs. 17%). Die mittlere Schockraumversorgungsdauer betrug 70 ± 43 min. Die 30-Tages-Letalität betrug 17%.

**Schlussfolgerung:** Die OBSERvE-DUS-PED-Studie zeigt die besonderen Herausforderungen nichttraumatologisch kritisch kranker Kinder in der prähospitalen und innerklinischen Versorgung. Die Vielfalt und Komplexität der Einweisungsdiagnosen sowie die unmittelbare vitale Bedrohung der Patienten lassen es sinnvoll erscheinen, derartige Patienten aufgrund der vorhandenen materiellen, infrastrukturellen und personellen Ressourcen in einer zentralen Notaufnahme primär zu behandeln.

### Schlüsselwörter

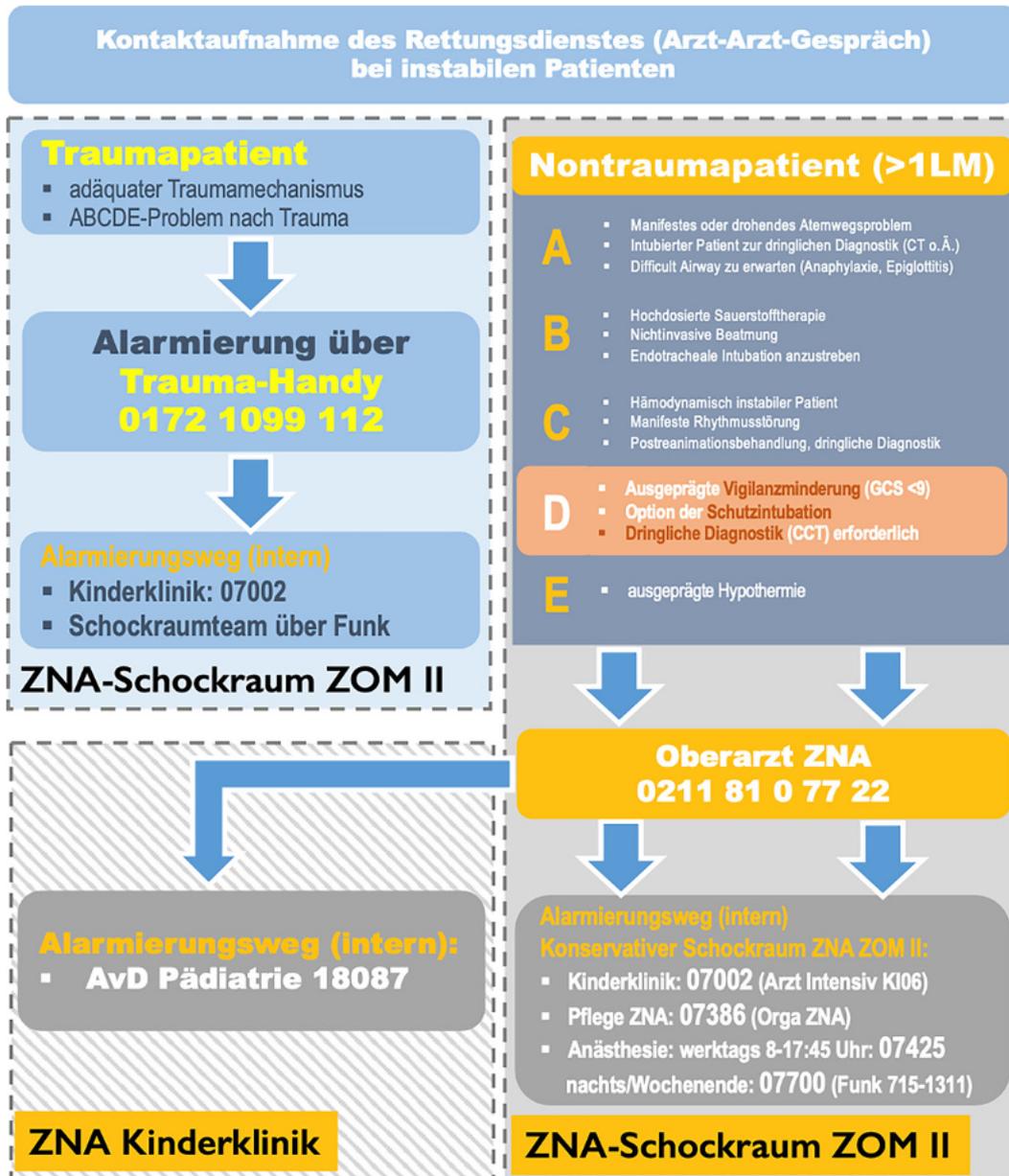
Kindernotfall · Schockraum · Distribution · Kritisch kranke Patienten · Versorgungskonzept

kritisch kranker Kinder im Schockraum war die Verfügbarkeit aller notwendigen materiellen, infrastrukturellen und personellen Ressourcen, um dieses vulnerable Patientenkollektiv mit höchstmöglicher Expertise adäquat und insbesondere zeitgerecht zu behandeln.

**Datenerfassung und Definitionen.** Die routinemäßig dokumentierten Versorgungsdaten wurden unter Nutzung des OBSERvE-Datensatzes [5, 9, 18] dem Krankenhausinformationssystem MEDICO® (Fa. Cerner Deutschland GmbH, Itstein, Deutschland) und dem Patientendatenmanagementsystem COPRA® (Fa. COPRA System GmbH, Berlin, Deutschland) entnommen und in eine elektronische Datenbank überführt (Microsoft Excel, Version 16.37, Fa. Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). Die deskriptive Analyse erfolgte dann anhand des anonymisierten Datensatzes. Die Anforderungen

an den Datenschutz nach der Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) wurden eingehalten. Die Patientenkohorte wurde in 5 Altersgruppen unterteilt: Neugeborene und Säuglinge (0 bis 11 Monate), Klein- (1 bis 4 Jahre) und Schulkinder (5 bis 8 Jahre), Präpubertäre (9 bis 13 Jahre) und Jugendliche (14 bis 17 Jahre).

**Ein- und Ausschlusskriterien.** In die Auswertung wurden Kinder mit einer hochgradigen Beeinträchtigung der Vitalfunktionen aufgrund einer nichttraumatologisch Ursache eingeschlossen und die führende Symptomatik nach dem ABCDE-Schema klassifiziert. Von der Analyse ausgeschlossen wurden Kinder mit einem primären Traumamechanismus bzw. diejenigen Kinder, die nach einem Dispositionstelefonat mit dem oberärztlichen Koordinator der zentralen Notaufnahme als nicht kritisch krank eingeschätzt wurden.



**Abb. 1** ◀ Standard Operating Procedure zu Übernahme und Distribution pädiatrischer Notfallpatienten am Universitätsklinikum Düsseldorf. Kinder mit relevantem Traumamechanismus kommen dabei zur Aufnahme in einen Traumaschockraum, kritisch kranke nichttraumatologische Kinder in den nichttraumatologischen Schockraum, und nichttraumatologische Kinder ohne Vitalgefährdung werden in die Kindernotaufnahme disponiert

**Prähospitale und Versorgung im Schockraum.** Aus den Protokollen des Rettungs- und Notarztdienstes wurden die prähospital vorliegenden ABCDE-Probleme, der NACA-Score (Zusatzmaterial online: Tab. S1) und der Summen-Score der Glasgow Coma Scale (GCS) dokumentiert und die durchgeführten Notfallmaßnahmen erfasst. Für die Schockraumversorgung wurden die Vitalparameter bei Aufnahme, die Verdachtsdiagnose, die diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen, die Schockraumverweildauer und das Behandlungsergebnis dokumentiert.

**Statistik.** Zur statistischen Auswertung wurden die Kinder in vorab definierten Altersgruppen bezüglich unterschiedlicher Merkmale miteinander verglichen. Alle Daten wurden mittels Excel (Microsoft Excel, Version 16.37, Fa. Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) analysiert und die Abbildungen über DataGraph (Version 4.6.1, Fa. Visual Data Tool Inc., Chapel Hill, NC, USA) sowie das Open Source Programm „SankeyMATIC“ (<https://sankeymatic.com/build/>) erstellt. Für qualitative Merkmale prozentual angegeben. Mithilfe des Chi<sup>2</sup>-Tests wurden qualitative Unterschiede

zwischen einzelnen Patientenkollektiven untersucht. Quantitative Variablen wurden als Mittelwert ± Standardabweichung (SD) dargestellt und Minimum, Maximum sowie Median ermittelt. Der t-Test wurde bei quantitativen, annähernd normalverteilten Merkmalen für 2 unverbundene Stichproben verwendet. Bei schief verteilten Variablen wurde dagegen der U-Test von Mann und Whitney angewandt.

**Ergebnisse**

Im 3-jährigen Untersuchungszeitraum wurden insgesamt 52 nichttraumatolo-

gisch kritisch kranke Kinder im Schockraum erfasst (0,04% aller Patientenkontakte der zentralen Notaufnahme während des 3-jährigen Untersuchungszeitraums).

### Patientencharakteristika

In der Patientenkohorte waren am häufigsten Jugendliche und am seltensten Neugeborene und Säuglinge vertreten (Tab. 1). Der Anteil weiblicher Patienten lag bei 46,2%. Hinsichtlich der Erkrankungsschwere nach notärztlicher Einschätzung kamen die meisten Kinder unter nichtauszuschließender oder akuter Lebensgefahr und in Reanimationsbereitschaft (NACA IV–V; 75,0%) oder nach bzw. unter Reanimationsmaßnahmen (NACA VI; 15,5%) zur Aufnahme (Tab. 1).

### Führende ABCDE-Probleme

Der überwiegende Anteil der Kinder kam mit einem führenden D-Problem in den Schockraum, in der absteigenden Reihung gefolgt von C-, B- und A-/E-Problemen (Tab. 1). Deren zugrunde liegende Ursachen und Erkrankungen sind in Abb. 2 dargestellt. A-Probleme waren durch Atemwegsverlegungen (Bolusaspiration, Dislokation einer Trachealkanüle bei Heimbeatmung) verursacht. Ein Status asthmaticus und ambulant erworbene Pneumonien führten zu den B-Problemen. C-Probleme wurden durch Intoxikationen, Elektrolytstörungen, kardiale Grunderkrankungen, supraventrikuläre Tachykardien, schwere Hypoxie/Asphyxie, eine primäre Nebennierenrindeninsuffizienz (Autoimmunadrenalis) bzw. ein „apparent life threatening event“ (ALTE) verursacht. Bei 10 der 13 Patienten (77%) mit führendem C-Problem bei Schockraumaufnahme kam es prähospital zu einer Reanimationssituation. Als Ursachen der D-Probleme fanden sich afebrile Krampfanfälle, ischämische Schlaganfälle, intrakranielle Blutungen, Shunt-Dysfunktionen, Migräne, Intoxikationen oder sonstige Ursachen. Alle E-Probleme entfielen auf Intoxikationen. Eine Übersicht über die Verteilung der den ABCD-Problemen zugrunde liegenden Erkrankungen und den jeweiligen Altersgruppen bieten die Abb. S1 und S2 im Zusatzmaterial online.

### Prähospitalversorgung

**Atemwegsmanagement und Beatmung.** Spontan atmend mit Sauerstoffapplikation über eine Gesichtsmaske wurden 19,0% der Kinder zugeführt (Tab. 1). Prähospital kamen eine alleinige Maske-Beutel-Beatmung bis zur Schockraumaufnahme selten und Luftbrücken (Guedel-/Wendl-Tubus) bzw. supraglottische Atemweghilfsmittel nicht zur Anwendung. Eine invasive Atemwegsicherung fand in 36,5% der Fälle mittels endotrachealer Intubation unter regelmäßiger Kapnometrie statt (Tab. 1). Eine nichtinvasive Atemunterstützung mittels Sauerstoffapplikation kam in 2 Fällen bei bereits einliegendem Tracheostoma zur Anwendung.

**Etablierung von Gefäßzugängen.** Prähospital waren in mehr als der Hälfte der Fälle ein peripherer Venenzugang, in 13,5% ein intraossärer und in 26,9% kein Zugang etabliert worden.

**Prähospital Reanimationsmaßnahmen.** Bei 21,2% der nichttraumatologisch kritisch kranken Kinder waren prähospital Reanimationsmaßnahmen notwendig (Tab. 1). Die Mehrheit der Herz-Kreislauf-Stillstände trat beobachtet ein; bei der Hälfte der Fälle erfolgte eine Laienreanimation, und bei jedem 5. reanimationspflichtigen Kind fand eine Telefonreanimation statt. Nichtschockbare und schockbare Rhythmen lagen im Verhältnis 3:4 vor. Alle Patienten mit schockbarem Initialrhythmus waren  $\geq 13$  Jahre und alle Patienten mit initialer Asystolie oder pulsloser elektrischer Aktivität  $\leq 8$  Jahre alt. Bei allen schockbaren Initialrhythmen wurde prähospital eine Defibrillation durchgeführt. Auf ein „automated chest compression device“ (ACCD) wurde bei einem Patienten zurückgegriffen. Prähospital erhielt die Hälfte der reanimationspflichtigen Kinder Katecholamingaben. Bei einem Drittel der Patienten nach Laienreanimation lag bei Eintreffen des Rettungsdienstes ein Sinusrhythmus mit suffizientem Spontankreislauf vor. Die Reanimationsdauer lag im Median bei 7 min (Min–Max: 2–60, MW  $\pm$  SD: 20  $\pm$  24 min).

### Schockraumversorgung

Von den kritisch kranken Kindern hatten 60% bei Schockraumaufnahme einen Summen-Score auf der GCS  $< 9$  Punkte (Tab. 2). In über jeweils 10% lag eine Hypothermie bzw. Fieber vor. Eine Hypoxie lag in 7,7% und eine altersadjustierte Hypotension in 13,5% der Fälle vor (Tab. 2). Eine Übersicht über die im Schockraum eingesetzten Notfallmaßnahmen bietet Abb. 3.

**Atemwegsmanagement und Beatmung.** Bei 7,7% der Kinder wurde eine endotracheale Intubation im Schockraum durchgeführt. Eine Umintubation (2-malig größerer, einmal kleinerer Tubusdurchmesser) im Schockraum war bei 15,8% der prähospital intubierten Patienten zur Beatmungsoptimierung notwendig. Am Ende der Schockraumversorgung waren 53,8% der Kinder nichtinvasiv oder invasiv beatmet.

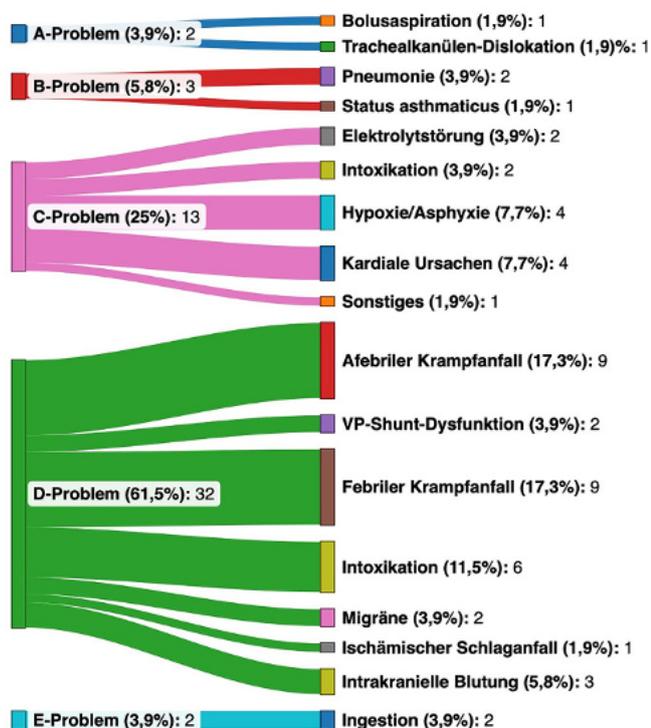
**Etablierung von Gefäßzugängen.** Einen peripheren Venenzugang erhielten 65,3%, einen zentralen Gefäßzugang 11,5% und einen intraossären Zugang 1,9% der Kinder. Bei 17,3% der Kinder wurde eine arterielle Druckmessung etabliert. Eine Volumentherapie mit kristalloider Infusionslösung wurde bei einem Viertel der Patienten durchgeführt. Eine Bluttransfusion erhielten 4% der Kinder im Schockraum.

**Diagnostische Verfahren.** Eine Übersicht über die eingesetzten diagnostischen Verfahren bietet Tab. 2. Am häufigsten wurden bildgebende Großgeräte in 69,2% eingesetzt, davon mittels Computertomographie (CT) in 83,3% und Magnetresonanztomographie (MRT) in 16,7% der Fälle. Eine Thoraxröntgenuntersuchung erhielten 1,9%, eine Abdomensonographie 11,5% und eine transthorakale Echokardiographie 13,5% der Kinder. Eine Labordiagnostik, inklusive Blutgasanalyse, erfolgte in 78,8% und die Abnahme von Blutkulturen in 3,8%. Ein Blasenkatheter wurde bei 5,8% der Kinder verwendet.

**Innerklinische Reanimationsmaßnahmen.** Bei Aufnahme im Schockraum hatten 81,8% der 11 prähospital reanimierten und dem Krankenhaus zugeführten Kin-

<b>Tab. 1</b> Patientencharakteristika und prähospitaler Versorgung der nichttraumatischen kritisch kranken Kinder						
Altersgruppen	0 bis 12 Monate	1 bis 4 Jahre	5 bis 8 Jahre	9 bis 13 Jahre	14 bis 17 Jahre	Gesamtgruppe
<i>n</i> (%)	4 (7,7)	13 (25,0)	7 (13,5)	9 (17,3)	19 (36,5)	52 (100,0)
m:w ( <i>n</i> )	0:4	11:2	4:3	4:5	9:10	28:24
<b>Erkrankungsschwere, NACA (<i>n</i>, (%))</b>						
III	0	0	0	1 (1,9)	3 (5,8)	4 (7,7)
IV	0	6 (11,6)	3 (5,8)	2 (3,9)	7 (13,5)	18 (34,6)
V	2 (3,9)	6 (11,6)	3 (5,8)	5 (9,6)	5 (9,6)	21 (40,4)
VI	2 (3,9)	1 (1,9)	1 (1,9)	1 (1,9)	3 (5,8)	8 (15,4)
k. A.	0	0	0	0	1 (1,9)	1 (1,9)
<b>Führendes ABCDE-Problem (<i>n</i>, (%))</b>						
A	0	1 (1,9)	0	1 (1,9)	0	2 (3,9)
B	0	0	0	0	3 (5,8)	3 (5,8)
C	3 (5,8)	2 (3,9)	1 (1,9)	3 (5,8)	4 (7,7)	13 (25,0)
D	1 (1,9)	10 (19,2)	6 (11,6)	4 (7,7)	11 (21,2)	32 (61,5)
E	0	0	0	1 (1,9)	1 (1,9)	2 (3,9)
<b>Prähospitaler Versorgung (<i>n</i>, (%))</b>						
<i>Atemwegsmanagement</i>						
Sauerstoffgabe	0	6 (11,6)	0	2 (3,9)	2 (3,9)	10 (19,2)
Maskenbeatmung	1 (1,9)	2 (3,9)	0	0	0	3 (5,8)
ETI	2 (3,9)	5 (9,6)	3 (5,8)	2 (3,9)	7 (13,5)	19 (36,5)
Kapnographie bei ETI	2 (3,9)	5 (9,6)	3 (5,8)	2 (3,9)	7 (13,5)	19 (36,5)
CPAP bei TS	0	0	0	1 (1,9)	1 (1,9)	2 (3,9)
<i>Venenzugangswege</i>						
Peripher	1 (1,9)	7 (13,5)	3 (5,8)	6 (11,6)	14 (26,9)	31 (59,6)
Intraossärer	2 (3,9)	1 (1,9)	1 (1,9)	2 (3,9)	1 (1,9)	7 (13,5)
Kein	1 (1,9)	5 (9,6)	4 (7,7)	1 (1,9)	4 (7,7)	14 (26,9)
<b>Kardiopulmonale Reanimation (<i>n</i>, (%))</b>						
CPR	3 (5,8)	2 (3,9)	1 (1,9)	2 (3,9)	3 (5,8)	11 (21,2)
Beobachteter HKS	1 (1,9)	0	1 (1,9)	2 (3,9)	3 (5,8)	7 (13,5)
Laienreanimation	2 (3,9)	2 (3,9)	0	1 (1,9)	1 (1,9)	6 (11,6)
Telefonreanimation	1 (1,9)	1 (1,9)	0	0	0	2 (3,9)
<b>Mittlere Reanimationsdauer [MW ± SD, min]</b>						20 ± 24
<b>Erste Rhythmusanalyse durch RD (<i>n</i>, (%))</b>						
Asystolie	1 (1,9)	1 (1,9)	1 (1,9)	0	0	3 (5,8)
PEA	0	0	0	0	1 (1,9)	1 (1,9)
pVT	0	0	0	1 (1,9)	1 (1,9)	2 (3,9)
KF	0	0	0	0	1 (1,9)	1 (1,9)
Sinusrhythmus	2 (3,9)	1 (1,9)	0	1 (1,9)	0	4 (7,7)
Defibrillation	0	0	0	1 (1,9)	2 (3,9)	3 (5,8)
ACCD	0	0	0	0	1 (1,9)	1 (1,9)
Katecholamine	1 (1,9)	1 (1,9)	1 (1,9)	0	3 (5,8)	6 (11,6)
30:2 KVV	0	0	0	2 (3,9)	0	2 (3,9)
15:2 KVV	2 (3,9)	1 (1,9)	0	0	0	3 (5,8)
Kontinuierlich	0	1 (1,9)	1 (1,9)	0	3 (5,8)	5 (9,6)
Unklares Verhältnis	1 (1,9)	0	0	0	0	1 (1,9)
<b>ROSC vor Ankunft RD</b>	2 (3,9)	1 (1,9)	0	1 (1,9)	0	4 (7,7)

*M* männlich, *w* weiblich, *NACA* National Advisory Committee of Aeronautics, *k. A.* keine Angaben, *ETI* endotracheale Intubation, *CPAP* „continous positive airway pressure“, *CPR* kardiopulmonale Reanimation, *TS* bereits einliegendes Tracheostoma, *HKS* Herz-Kreislauf-Stillstand, *ROSC* „resuscitation of spontaneous circulation“, *PEA* pulslose elektrische Aktivität, *pVT* pulslose ventrikuläre Tachykardie, *ACCD* „automated chest compression device“, *KF* Kammerflimmern, *MW* Mittelwert, *SD* Standardabweichung, *RD* Rettungs- und Notarztendienst, *KVV* Kompression-Ventilation-Verhältnis



**Abb. 2** ◀ Führende ABCDE-Probleme und zugrundeliegende Erkrankungen bei den 52 nichttraumatologisch kritisch kranken Kindern

der eine spontane Kreislauffunktion, bei 2 Patienten erfolgte die Zuführung unter Reanimationsmaßnahmen. Bei 2 der prähospital reanimierten Kinder musste die kardiopulmonale Reanimation während der Schockraumversorgung wieder aufgenommen werden. Bei 17,3% der Patienten wurden im Schockraum zur Kreislaufstabilisierung bzw. zur Reanimationsbehandlung Katecholamine eingesetzt. Eine Defibrillation musste bei 3,8% der Patienten durchgeführt werden. Ein Patient wurde mittels ACCD reanimiert.

**Versorgungsdauer, Verlegungslokalisierung und Behandlungsergebnis.** Die mittlere Versorgungsdauer im Schockraum betrug  $70 \pm 43$  min (Min–Max: 0–186, Median 61,5 min, Zeiten inkl. einer sich anschließenden Großgerätediagnostik). Kinder mit einer prähospitalen Reanimationssituation wiesen im Vergleich zu Kindern ohne ein Reanimationsereignis keine längere Versorgungsphase im Schockraum auf ( $88 \pm 42$  vs.  $65 \pm 42$  min,  $p = 0,113$ ). Die meisten Kinder wurden auf die pädiatrische Intensivstation oder Normalstation aufgenommen (Tab. 3). Die Schockraumletalität, die 24-h- bzw. 30-Tages-Letalität betragen 1,9%, 11,5% bzw. 17,3%. Kinder mit einem prähospi-

talen Reanimationsereignis wiesen eine 30-Tages-Letalität von 63,4% und ohne ein entsprechendes Ereignis von 4,9% auf (Tab. 3).

## Diskussion

In der vorliegenden retrospektiven, monozentrischen OBSERvE-DUS-PED-Studie wurde die Schockraumversorgung von 52 kritisch kranken nichttraumatologischen Kindern in einer universitären zentralen Notaufnahme analysiert. Die Datenanalyse lieferte erste Erkenntnisse zu Epidemiologie, den prähospitalen und innerklinischen diagnostischen und therapeutischen Notfallmaßnahmen und zum Behandlungsergebnis von kritisch kranken nichttraumatologischen Kindern, die durch ein multidisziplinäres Schockraumteam versorgt wurden.

**Aufnahmelokalisation und Versorgungskonzept.** In der klinischen Praxis existiert derzeit kein einheitliches Versorgungskonzept für die Aufnahme von kritisch kranken nichttraumatologischen Kindern, dementsprechend weisen die bisherigen Strategien eine große Diversität auf [19]: Die initiale Aufnahme kritisch kranker Kinder erfolgt sowohl

in Kindernotaufnahmen als auch direkt auf Kinderintensivstationen oder in den Schockräumen von zentralen Notaufnahmen, mit und ohne angrenzende Kinderklinik. Weltweit werden die meisten Kinder in allgemeinen zentralen Notaufnahmen und nicht in spezialisierten pädiatrischen Notaufnahmen behandelt [4]. Welches das optimale Versorgungskonzept ist, kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht abschließend wissenschaftlich beantwortet werden und bleibt bislang eine Entscheidung, die im Wesentlichen auf gewachsenen lokalen Strukturen beruht.

Die Aufnahmelokalisation für das Patientenkollektiv in der OBSERvE-DUS-PED-Studie und damit wesentlicher Studienfokus ist der Schockraum der zentralen Notaufnahme eines universitären Maximalversorgers. Im Vorfeld hat die Professionalisierung der akut- und notfallmedizinischen Versorgung in der zentralen Notaufnahme am eigenen Standort zu einer multidisziplinären und interprofessionellen Abstimmung des innerklinischen Versorgungskonzeptes kritisch kranker nichttraumatologischer Kinder mit allen beteiligten Fachdisziplinen geführt: In einem multiprofessionellen Teamansatz, bestehend aus ärztlichen und pflegerischen Mitarbeitenden der Anästhesiologie, Pädiatrie und klinische Akut- und Notfallmedizin sowie, je nach Krankheitsentität, auch Mitarbeitenden aus radiologischen und chirurgischen Fachdisziplinen, werden Kinder direkt in den Schockraum der zentralen Notaufnahme aufgenommen. Hierzu wurde eine spezifische Anmeldeprozedur mit den Partnern des Rettungs- und Notarztdienstes der Region vereinbart (Abb. 1). Der wesentliche Argumentationsgrund für das Versorgungskonzept nichttraumatologisch kritisch kranker Kinder im Schockraum war die Verfügbarkeit aller notwendigen materiellen, infrastrukturellen und personellen Ressourcen, um dieses vulnerable Patientenkollektiv mit höchstmöglicher Expertise adäquat und insbesondere zeitgerecht zu behandeln.

**Datenanalyse und Vorarbeiten.** Der methodische Ansatz und die Grundlage des erhobenen Datensatzes der OBSERvE-DUS-PED-Studie waren vorangegangene prospektive und retrospektive Untersuchungen zur Versorgung nichttraumato-

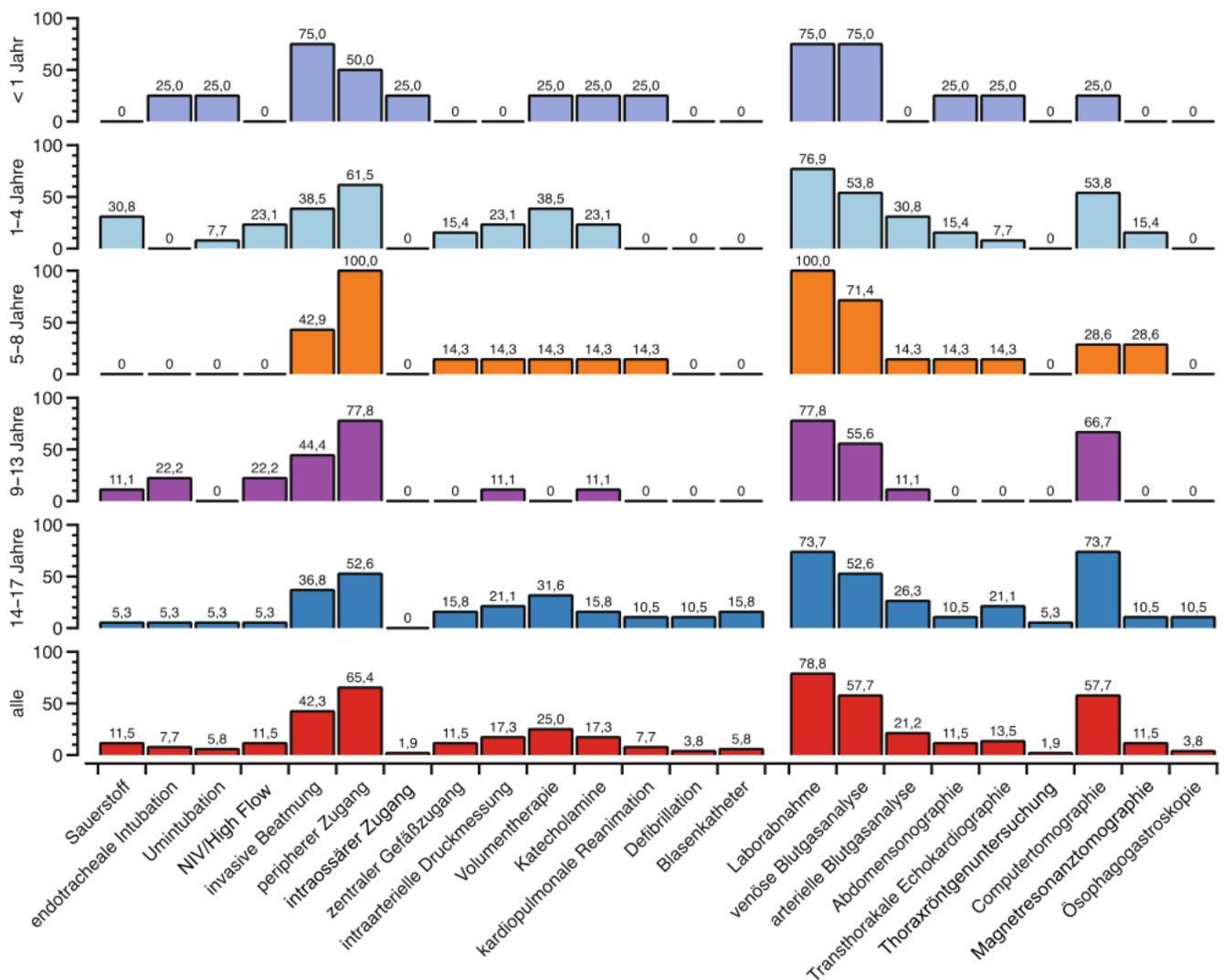
Tab. 2 Schockraumversorgung						
Altersgruppen	0 bis 11 Monate	1 bis 4 Jahre	5 bis 8 Jahre	9 bis 13 Jahre	14 bis 17 Jahre	Gesamtgruppe
n (%)	4 (7,7)	13 (25,0)	7 (13,5)	9 (17,3)	19 (36,5)	52 (100,0)
<b>Glasgow-Koma-Skala (n, (%))</b>						
13–15	0	3 (5,8)	1 (1,9)	3 (5,8)	7 (13,5)	14 (26,9)
9–12	1 (1,9)	0	1 (1,9)	0	2 (3,9)	4 (7,7)
≤ 8	3 (5,8)	10 (19,2)	4 (7,7)	4 (7,7)	9 (17,3)	30 (57,7)
k. A.	0	0	1 (1,9)	2 (3,9)	1 (1,9)	4 (7,7)
<b>Körpertemperatur (°C) (n, (%))</b>						
≤ 35,9	2 (3,9)	2 (3,9)	1 (1,9)	0	2 (3,9)	7 (13,5)
36,0–38,0	0	6 (11,5)	1 (1,9)	6 (11,5)	10 (19,2)	23 (44,2)
≥ 38,1	0	2 (3,9)	3 (5,8)	1 (1,9)	0	6 (11,5)
k. A.	2 (3,9)	3 (5,8)	2 (3,9)	2 (3,9)	7 (13,5)	16 (30,8)
<b>Blutdruck, systolisch (mm Hg) (n, (%))</b>						
> 80	1 (1,9)	8 (15,4)	5 (9,6)	9 (17,3)	17 (32,7)	40 (75)
< 80	1 (1,9)	2 (3,9)	2 (3,9)	0	2 (3,9)	7 (13,5)
k. A.	2 (3,9)	3 (5,8)	0	0	0	5 (9,6)
Hypotension	0	1 (1,9)	2 (3,9)	1 (1,9)	3 (5,8)	7 (13,5)
<b>Blutgasanalyse (pH-Wert) (n, (%))</b>						
> 7,25	2 (3,9)	6 (11,5)	3 (5,8)	4 (7,7)	8 (15,4)	23 (44,2)
< 7,25	0	1 (1,9)	1 (1,9)	1 (1,9)	3 (5,8)	6 (11,5)
< 7,00	1 (1,9)	1 (1,9)	1 (1,9)	1 (1,9)	2 (3,9)	6 (11,5)
k. A.	1 (1,9)	5 (9,6)	2 (3,9)	3 (5,8)	6 (11,5)	17 (32,7)
<b>Herzfrequenz (bpm) (n, (%))</b>						
Normofrequent	1 (1,9)	7 (13,5)	2 (3,9)	5 (9,6)	12 (23,1)	27 (51,9)
Tachykard	3 (5,8)	5 (9,6)	4 (7,7)	3 (5,8)	8 (15,4)	23 (44,2)
Bradykard	0	0	1 (1,9)	0	0	1 (1,9)
k. A.	0	1 (1,9)	0	0	0	1 (1,9)
<b>Pulsoxymetrisch gemessene Sauerstoffsättigung (%) (n, (%))</b>						
> 90%	2 (3,9)	13 (25)	6 (11,5)	7 (13,5)	19 (36,5)	47 (90,4)
< 90%	2 (3,9)	0	1 (1,9)	2 (3,9)	0	5 (9,6)
Normwerte systolischer Blutdruck: 0 bis 11 Monate: > 50–70 mm Hg; 1 bis 4 Jahre: > 70–80 mm Hg; 5 bis 8 Jahre: > 80–85 mm Hg; > 9 Jahre: > 90 mm Hg Normwerte Herzfrequenz (bpm = beats per minute): 0 bis 11 Monate: 100–160 bpm; 1 bis 4 Jahre: 80–130 bpm; 5 bis 8 Jahre: 70–110 bpm; 9 bis 13 Jahre: > 60–100 bpm; > 14 Jahre: 50–100 bpm k. A. keine Angaben						

logischer erwachsener Patienten in den Schockräumen zweier universitärer zentraler Notaufnahmen [5, 9, 18]. Besonderer Fokus lag in der OBSERVE-DUS-PED-Studie auf dem transsektoralen Forschungsansatz an der Nahtstelle zwischen prähospitaler und innerklinischer Versorgung für kritisch kranke nichttraumatologische Kinder. Vergleichbar mit der EpiZNA-Studie [3] wurde in unterschiedlichen (inter-)nationalen prähospitalen Studien der pädiatrische Anteil am Einsatzspektrum mit über 10 % beschrieben [6, 11, 12], davon übereinstimmend 5 % mit einem nichttraumatologischen Vorstellungsgrund [3, 31]. Auf kritisch kranke, nichttraumatologische Kinder im Schockraum entfiel mit 0,04 % aber nur ein geringer Anteil

aller Notaufnahmepatienten im Studienzeitraum. Auch andere Untersuchungen bestätigen, dass der tatsächliche Anteil kritisch kranker oder schwer verletzter Kinder am Gesamtpatientenspektrum einer Notaufnahme gering ist: Lutz et al. [21] fanden am Universitätsklinikum in Lausanne einen Anteil von 0,46 % für traumatische und nichttraumatologische kritisch kranke Kinder. Im Vergleich dazu wurde für erwachsene kritisch kranke nichttraumatologische Schockraumpatienten mit bis zu 1,5 % ein deutlicher höherer Anteil am Notaufnahmekollektiv ermittelt [18].

**Epidemiologische Daten.** Das Patientenkollektiv der OBSERVE-DUS-PED-Studie

setzte sich zu einem Drittel aus Jugendlichen und einem Drittel aus Klein- und Schulkindern zusammen. Im Einklang mit anderen Studienergebnissen [11, 14, 24] war der Anteil der besonders vulnerablen Altersgruppe der Neugeborenen und Säuglinge (< 1 Jahr) im Studienzeitraum anteilmäßig am geringsten. Die übrige Verteilung steht im Kontrast zu mehreren Studien, in denen die Gruppe der Kleinkinder (1 bis 5 Jahre) den größten Anteil einnahm [6, 10, 11, 15]. Mögliche Ursachen für die hier vorliegende Diskrepanz sind unterschiedliche Altersdefinitionen und (teilweise) der Ausschluss Jugendlicher ab 14 Jahren in einigen Untersuchungen [6, 10, 11, 15]. Ein weiterer bedeutender Selektionsbias liegt im Einschlusskriterium



**Abb. 3** ▲ Therapeutische (*links*) und diagnostische Maßnahmen (*rechts*) während des Schockraumversorgung bei den 52 nichttraumatologisch kritisch kranken Kindern. Angaben in Prozent in der jeweiligen Altersgruppe

des kritisch kranken, nichttraumatologischen Erkrankungszustandes der Kinder in die OBSERvE-DUS-PED-Studie vor dem Hintergrund der vorab definierten Dispositionsstrategie vor (Abb. 1), während in anderen Untersuchungen das gesamte Spektrum der Patientenkontakte pädiatrischer Notaufnahmen erfasst wurde und damit unabhängig vom Gesundheitszustand des Kindes bzw. vom dokumentierten NACA-Score ist. Daher lag in der OBSERvE-DUS-PED-Studie bei >90% der Kinder eine nichtauszuschließende oder akute Lebensgefahr vor, oder die Zuführung erfolgte in Reanimationsbereitschaft oder nach bzw. unter Reanimationsmaßnahmen (NACA IV–VI). Dieser hohe Anteil an Patienten mit NACA IV–VI bestätigt die erfolgreiche Umsetzung der adressierten

Dispositionsstrategie kindlicher Notfälle mit angenommener akuter Vitalgefährdung in den Schockraum der zentralen Notaufnahme am eigenen Standort. Im bodengebundenen Rettungs- und Notarztdienst bzw. in der Luftrettung wurde ein sehr variabler Anteil der NACA-V- und NACA-VI-Patienten von 20–84% beschrieben, jedoch wurden in diese Studien auch Kinder mit Traumafolge eingeschlossen [14, 21]. Mehrere Studien belegen, dass in unselektionierten Patientenkollektiven Traumata einen relevanten und mit steigendem Kindesalter auch mehrheitsbildenden Anteil ausmachen [6, 11, 14, 21, 24].

**Nichttraumatologisches Erkrankungsspektrum.** Als führende Problematik mit

über 60% zeigte sich in der OBSERvE-DUS-PED-Studie das D-Problem in Übereinstimmung mit der Literaturdatenlage; die führende, zugrunde liegende Aufnahmediagnose war der (febrile bzw. afebrile) Krampfanfall mit einer persistierenden Bewusstseinsstörung [10–12, 24]. Im Unterschied zur OBSERvE-DUS-PED-Studie wurden in anderen Untersuchungen respiratorische Notfälle als führende nichttraumatologische Behandlungsursachen beschrieben (z. B. Pneumonien bzw. Aspirationen im Säuglingsalter, stenosierende Laryngotracheitis im Kleinkindalter, Hyperventilation und Asthma bronchiale im Schulkind- und Jugendalter), und erst als zweithäufigste Ursache der zumeist infektiös getriggerte, febrile Krampfanfall angeführt [6, 14, 15, 25, 28–30]. Erwach-

Tab. 3 Behandlungsergebnis und Verlegungslokalisation						
Altersgruppen	0 bis 11 Monate	1 bis 4 Jahre	5 bis 8 Jahre	9 bis 13 Jahre	14 bis 17 Jahre	Gesamtgruppe
n (%)	4 (7,7)	13 (25,0)	7 (13,5)	9 (17,3)	19 (36,5)	52 (100,0)
<b>Behandlungsergebnis (n, (%))</b>						
24-h-Letalität	1 (1,9)	0	1 (1,9)	0	4 (7,7)	6 (11,5)
30-Tages-Letalität	2 (3,9)	1 (1,9)	1 (1,9)	0	5 (9,6)	9 (17,3)
<i>Krankenhausletalität von Patienten ...</i>						
mit prähospitaler Reanimation	2 (3,9)	1 (1,9)	1 (1,9)	0	3 (5,8)	7/11 (63,4)
ohne prähospitaler Reanimation	0	0	0	0	2 (3,9)	2/41 (4,9)
<b>Verlegungslokalisation nach Schockraumversorgung (n, (%))</b>						
ICU, pädiatrisch	2 (3,9)	10 (19,2)	4 (7,7)	6 (11,5)	11 (21,2)	33 (63,5)
ICU, „adult“	0	0	0	0	2 (3,9)	2 (3,9)
Operative Intervention	0	0	0	0	1 (1,9)	1 (1,9)
Ambulante Versorgung	0	0	0	1 (1,9)	0	1 (1,9)
Normalstation	1 (1,9)	3 (5,8)	3 (5,8)	2 (3,9)	5 (9,6)	14 (26,9)
Exitus letalis, Schockraum	1 (1,9)	0	0	0	0	1 (1,9)
k. A. keine Angaben, ICU Intensivstation						

sene, nichttraumatologische Schockraumpatienten wiesen in korrespondierenden Untersuchungen am gleichen Standort auch D-Probleme als führendes Problem auf [18]. Im Allgemeinen machen neurologische Notfälle in der Kindernotaufnahme rund ein Drittel der Fälle mit Vorliegen einer hochgradigen akuten Störung aus [26]. Etwa 75 % der Kinder mit akuten neurologischen Symptomen weisen Krampfanfälle, Kopfschmerzen oder andere paroxysmale Ereignisse auf; lebensbedrohliche Zustände betreffen dabei nur einen geringen Anteil der Patienten [26].

In der OBSERvE-DUS-PED-Studie wurden 25 % der nichttraumatologisch kritisch kranken Kinder mit einem C-Problem dem Schockraum zugeführt. Dieses Ergebnis befindet sich im Einklang mit anderen Studien, die eine geringe Häufigkeit von Herz-Kreislauf-Erkrankungen im Kindes- und im Jugendalter im Gegensatz zum Erwachsenenalter im boden- und im luftgebundenen Rettungsdienst berichteten [14, 16, 17, 27]. Bei der Interpretation der Ergebnisse muss aber als Einflussfaktor das selektionierte Patientenkollektiv der vorliegenden Studie unter Ausschluss traumatischer bzw. nichttraumatologischer Kinder ohne akute Vitalbedrohung berücksichtigt werden.

In den Reanimationsleitlinien des European Resuscitation Council (ERC) wird ausführlich auf den Herz-Kreislauf-Stillstand im Kindesalter eingegangen [27]. Rund 80 % der Patienten mit C-Problem in der

OBSERvE-DUS-PED-Studie hatten prähospital Reanimationsmaßnahmen erfahren. In anderen Studien mit unselektionierten pädiatrischen Patientenkollektiven wurden Reanimationsraten von 0,6–4 % beschrieben, diese v. a. im Säuglings-, im Kleinkind- und im jungen Schulkindalter [6, 11]. In der OBSERvE-DUS-PED-Studie lagen bei älteren Kindern ( $\geq 13$  Jahre) vermehrt defibrillierbare Initialrhythmen vor, während bei den jüngeren Kindern ( $\leq 8$  Jahre) die primäre Asystolie als Initialrhythmus führte. Die Daten der OBSERvE-DUS-PED-Studie stimmen mit Daten aus der Literatur überein, die im Kindesalter im Vergleich zu Erwachsenen ein respiratorisches Versagen und keine kardialen Gründe für einen Herz-Kreislauf-Stillstand im Vordergrund sehen. Auch die pädiatrischen ERC-Reanimationsleitlinien beschreiben in 40–50 % ein primär respiratorisches Problem bei Kindern als Ursache für einen Herz-Kreislauf-Stillstand [27]. Der plötzliche Kindstod wird in 20–30 % der Fälle angegeben [27]. Herz-Kreislauf-Stillstände im Rahmen eines Traumas bestehen mit einem Anteil von 10–40 % in entsprechenden Kohorten [22, 23, 27], waren aber in der OBSERvE-DUS-PED-Studie ausgeschlossen.

**Prähospital und innerklinische Notfallmaßnahmen.** Hinweisend auf eine hohe Erkrankungsschwere der Kinder aller Altersgruppen im Studienzeitraum ist der Anteil des prähospital durchgeführ-

ten Atemwegsmanagements über 35 %. Andere Studien, in der keine spezifische pädiatrische Patientengruppe betrachtet wurde, wiesen einen Anteil an prähospitalen Atemwegssicherungen von 1,5–2,1 % für den bodengebundenen Rettungsdienst und 17,2 % für die Luftrettung nach [6, 11]. Die prähospitaler Intubationsrate erwachsener kritisch kranker Patienten lag in einem Vergleichskollektiv bei nur 20 % [18]. Interessanterweise wiesen alle Kinder in der OBSERvE-DUS-PED-Studie mit prähospitaler endotrachealer Intubation einen GCS  $\leq 8$  infolge von D- und C-Problemen (z. B. Herz-Kreislauf-Stillstand, Status epilepticus) auf. Eine aktuelle interdisziplinäre Stellungnahme zur prähospitalen Atemwegssicherung in der Kindernotfallmedizin favorisiert die Larynxmaske zur Sicherstellung einer Oxygenierung und Ventilation, da eine endotracheale Intubation nicht erzwungen werden muss [33]. In dem Patientenkollektiv der OBSERvE-DUS-PED-Studie fanden supraglottische Atemwegshilfsmittel weder prähospitaler noch innerklinische Anwendung, gleichzeitig wurde keine Fehlintubation während des Studienzeitraums festgestellt. In anderen Studien mit einer ähnlichen pädiatrischen Kohorte wurden keine Umintubationen nach prähospitaler Behandlung berichtet [21], wohingegen dies in der vorliegenden Untersuchung in 16 % notwendig wurde. Zusätzlich wurden 12 % der bei Aufnahme noch nicht atemwegsgesicherten Kinder einer endotrachealen Intubati-

on im Schockraum unterzogen. Gerade ein multiprofessionelles Team mit anästhesiologischer Beteiligung und hoher Kompetenz im Atemwegsmanagement ermöglicht die optimale Versorgung der kritisch kranken nichttraumatologischen Kinder. Zum Ende der Schockraumversorgung waren fast 60% aller Kinder nichtinvasiv oder invasiv beatmet, dies spricht für die hohe Erkrankungsschwere des untersuchten Patientenkollektivs.

Der Anteil von rund 15% aller kritisch kranken Kinder, die bei Schockraumaufnahme einen systolischen Blutdruck unter 80 mm Hg aufwiesen, war vergleichbar mit einer anderen Studie [21]. Während im Studienzeitraum bei kritisch kranken Kindern häufiger als in Vergleichsstudien arterielle Blutdruckmessungen bzw. zentrale Venenzugänge etabliert wurden [21], ist die Häufigkeit geringer als in Erwachsenenkollektiven am gleichen Standort [18]. Der Unterschied der Instrumentierungsrate im Vergleich zu anderen pädiatrischen Kollektiven war erwartbar und gut durch die hohe Erkrankungsschwere zu erklären.

Im Vergleich mit einem anderen Patientenkollektiv an einer Schweizer Universitätsklinik [21] wurden in der OBSERvE-DUS-PED-Studie bildgebende Verfahren (z. B. abdominelle Sonographie, Computertomographie) häufiger durchgeführt. Das lokale Versorgungskonzept für kritisch kranke nichttraumatologische Kinder sieht nach interdisziplinärer Absprache bei einer persistierenden Vigilanzminderung (GCS  $\leq$  8) unklarer Ätiologie eine unverzügliche Großgerätediagnostik vor. Damit spielt eine Bildgebung mittels Großgeräten und insbesondere mit dem CT bei Erwachsenen und Kindern in über 55% der Fälle eine wichtige diagnostische Rolle [18] und bestätigt die Notwendigkeit einer räumlich nahen Lokalisation der CT zum Schockraum der Notaufnahme [13]. Hierbei kommen führend kraniale Computertomographien nach stattgehabten Reanimationsmaßnahmen ( $n=4$ ), hypoxischen Ereignissen ( $n=2$ ) und bei persistierender Vigilanzminderung zum Einsatz ( $n=14$ ). Eine CT anderer Körperregionen (Halswirbelsäule ( $n=4$ ), Thorax ( $n=3$ ), Abdomen ( $n=2$ )) wurde selten durchgeführt. Aus zeitlichen Gründen kam ein MRT nur zu einem geringen Teil zum Einsatz.

**Verlegung nach Schockraumversorgung.** Rund 70% der Kinder in der OBSERvE-DUS-PED-Studie wurden nach Abschluss der Schockraumversorgung auf eine Intensivstation verlegt oder direkt operativ versorgt. Die Aufnahme auf eine pädiatrische Intensivstation war damit deutlich höher als in einer Untersuchung mit nur 41% [21]. Die Aufnahme auf eine pädiatrische Intensivstation in einer weiteren Studie mit 1,7% erklärt sich dadurch, dass hier das Gesamtkollektiv durch den Rettungs- und Notarztendienst dem Krankenhaus zugeführter Kinder betrachtet wurde [31]. In rund 30% der Fälle war im Einklang mit der Literatur für erwachsene Schockraumpatienten [34] nach initial erfolgter Stabilisierung im Schockraum eine Verlegung auf die Intensivstation aus medizinischen Gründen nicht mehr notwendig, und die weitere Behandlung erfolgte in der Kindernotaufnahme und auf pädiatrischen Normalstationen.

**Behandlungsergebnis.** Die 24-h-Letalität in der OBSERvE-DUS-PED-Studie betrug 11,5% und die 30-Tages-Letalität 17,3%. Im Vergleich zeigte ein Schweizer Kinderkollektiv eine ähnliche Mortalitätsrate von 7,2%, wobei auch in dieser Untersuchung der überwiegende Teil der Kinder innerhalb der ersten 24–48 h verstarb. Auch die 30-Tages-Letalität von kritisch kranken nichttraumatologischen Erwachsenen am eigenen Standort war mit 18,5% vergleichbar [18]. Hingegen war die 30-Tages-Letalität bei Kindern ohne einen prähospitalen Herz-Kreislauf-Stillstand im Untersuchungszeitraum mit 5% deutlich niedriger als die von Erwachsenen am gleichen Standort mit 24,0% [18].

Reanimationsereignisse sind bei Kindern im außerklinischen Setting ein seltenes Ereignis. Die 30-Tages-Überlebensrate prähospital reanimierter Kinder betrug 37% und war damit höher als bei Erwachsenen mit 27% [18]. Andere Studien beschreiben Überlebensraten für Kinder mit außerklinischem Herz-Kreislauf-Stillstand zwischen 5–10% [27]. Das Deutsche Reanimationsregister wies insgesamt eine 30-Tages-Überlebensrate von 24% bei Kindern nach, aber weniger als ein Viertel der überlebenden Kinder hat ein gutes neurologisches Behandlungsergebnis [35]. Studien belegen beim Vorliegen von

initial schockbaren Rhythmen weitaus bessere Behandlungsergebnisse mit einem Überleben in bis zu 50% der Fälle [27]. Säuglinge machen 23–50% aller Herz-Kreislauf-Stillstände im Kindesalter im außerklinischen Setting aus, und die Prognose ist aufgrund der respiratorischen Genese häufig schlechter als bei älteren Kindern [27, 35]. Der überwiegende Anteil der Kinder im Untersuchungszeitraum verstarb im Rahmen eines C-Problems infolge eines prähospitalen Herz-Kreislauf-Stillstandes. Alle Patienten mit primärer Asystolie verstarben, wohingegen ein Patient mit defibrillierbarem Rhythmus überlebte.

**Limitationen.** Das Studiendesign der OBSERvE-DUS-PED-Studie war eine retrospektive, monozentrische Kohortenstudie mit entsprechenden Limitationen. Hierbei wurde erstmals das Schockraummanagement für ein nichttraumatologisches Kinderkollektiv in einer zentralen Notaufnahme über einen Zeitraum von 3 Jahren untersucht. Einschränkung ist die aufgrund der selektionierenden Distributionsstrategie geringe Studiengröße von 52 Kindern mit hoher Erkrankungsschwere zu berücksichtigen. Perspektivisch bietet sich ein multizentrisches Studiendesign an, um eine größere Fallzahl zu erfassen und die in der vorliegenden Studie bereits erhobenen Ergebnisse zu verifizieren.

**Ausblick.** Zunehmende Versorgungsgenässe und fehlende Behandlungskapazitäten auf Kinderintensivstationen (z. B. infolge Personalmangels) und in Kindernotaufnahmen (z. B. infolge von „Crowding“) können zu Abweisungen kritisch kranker Kinder sowie Abmeldungen von Kinderkliniken von der Notfallversorgung führen [2, 20, 32]. Auch wenn in der OBSERvE-DUS-PED-Studie am eigenen Standort diese fehlenden intensivmedizinischen Aufnahmekapazitäten bzw. Rückmeldungen aus Maximalversorgern mit überregionalem Versorgungsauftrag nicht bestätigt werden konnten, müssen zukunftsweisende Konzepte zur Kompensation und zur Sicherstellung der Versorgung kritisch kranker Kinder entwickelt werden. Hierbei erscheint es sinnvoll, die Ressource „Schockraum“ einer zentralen Notaufnahme zu nutzen: Für nichttraumatologisch

kritisch kranke bzw. polytraumatisierte erwachsene Patienten liegen Weißbücher und definierte Handlungsempfehlungen für den Schockraum in zentralen Notaufnahmen vor [13]. Ebenso existieren korrespondierende Leitlinien für die Schockraumversorgung des polytraumatisierten Kindes [1, 8]. Zur Versorgung kritisch kranker nichttraumatologischer Kinder existieren für die Aufnahmelokalisation Krankenhaus, insbesondere Schockraum von Notaufnahmen bisher weder Daten noch Empfehlungen. Die OBSERVE-DUS-PED-Studie zeigt die besonderen Herausforderungen dieses vulnerablen Patientenkollektivs im Schockraum einer zentralen Notaufnahme. Aus Vulnerabilität und hohem Schadenspotenzial bei nichtzeitgerechter Behandlung leitet sich der dringende Bedarf strukturierter Leitlinien für das innerklinische Management dieser Kinder ab. Ausgehend von den Ergebnissen der vorliegenden Studie könnten zukünftige multizentrische Studien den Bedarf an materiellen, personellen und infrastrukturellen Ressourcen noch besser systematisch abschätzen und so die Grundlage für eine adäquate und zeitgerechte Behandlung liefern.

### Fazit für die Praxis

- Bisher gibt es keine Leitlinien zur materiellen oder zur personellen Ausstattung oder spezifische Handlungsempfehlungen für die Aufnahmelokalisationen und das Schockraummanagement kritisch kranker Kinder in Deutschland.
- Ziele müssen der interprofessionelle und multidisziplinäre Austausch und die Entwicklung gemeinsamer Handlungsempfehlungen und Standards sein, auch um eine „gemeinsame Sprache“ der Schockraumversorgung zu fördern.
- Klare Dispositionsstrategien, inkl. Kriterien zur Schockraumalarmierung für kritisch kranke nichttraumatologische Kinder, können personelle und technische Ressourcen in einem multidisziplinären Schockraumteam bündeln.
- Das Konzept bereits bestehender Schockraumstrukturen und die höchstmögliche fachliche Expertise in einem multidisziplinären Team (Fachexpertise) sowie einer zeitnahen Großgerätebildung im Schockraum von Notaufnahmen zu nutzen, erscheint sinnvoll.

### Korrespondenzadresse

**Prof. Dr. Michael Bernhard, MHBA**

Zentrale Notaufnahme, Universitätsklinikum  
Düsseldorf, Heinrich-Heine-Universität  
Moorenstraße 5, 40225 Düsseldorf,  
Deutschland  
Michael.Bernhard@med.uni-duesseldorf.de

**Funding.** Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

**Data availability statement.** Die Daten werden auf begründeten Antrag zur Verfügung gestellt.

### Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** C. Priebe, H.M. Bosse, M. Michael, O. Picker, M. Bernhard und J. Tautz geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Diese retrospektive Studie erfolgte nach Konsultation der zuständigen Ethikkommission und im Einklang mit nationalem Recht.

**Open Access.** Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

### Literatur

1. Lehner M, Jung P, Olivieri M et al (2021) Polytraumaversorgung im Kindesalter – Praktische und pragmatische Zusammenfassung der neuen Leitlinie. *Notfall Rettungsmed* 24:32–42
2. Mohrmann C, Lange M, Rosner B et al (2022) Das unerwartet kritisch kranke Kind in der Kindernerfallaufnahme: Sind wir vorbereitet? *Notfall Rettungsmed* 26:132–138
3. Michael M, Al Agha S, Böhm Letal (2023) Alters- und geschlechtsbezogene Verteilung von Zuführung, Ersteinschätzung, Entlassart und Verweildauer in der zentralen Notaufnahme. *Notfall Rettungsmed* 26:39–48
4. Petruzella F, Easter F (2021) Pediatric emergency medicine literature 2020. *Am J Emerg Med* 43:123–133

5. Grahl C, Hartwig T, Weidhase L et al (2022) Early in-hospital course of critically ill nontraumatic patients in a resuscitation room of a German emergency department (OBSERVE2-study). *Anaesthesist* 71:774–783
6. Overgaard M, Heino A, Andersen S et al (2020) Physician staffed emergency medical service for children: a retrospective population-based registry cohort study in Odense region, Southern Denmark. *BMJ Open* 10(8):e37567
7. Kretz F, Schäffer J (2000) Anästhesie im Kindesalter. In: Kretz FJ, Schäffer J (Hrsg) Anästhesie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie. Springer, Berlin, S 324–341
8. S2K-Leitlinie „Polytraumaversorgung im Kindesalter“ Herausgeber: Federführender Autor: Prof. Dr. P.P. Schmittebecher (Karlsruhe); 2020-LL-Polytrauma-Version-Delphi-4.1.pdf (gth-online.org)
9. Bernhard M, Döll S, Hartwig T et al (2018) Resuscitation room management of critically ill non-traumatic-patients in a German emergency department (OBSERVE-Study). *Eur J Emerg Med* 25:e9–e17
10. Demaret P, Leburn F, Devos P et al (2016) Pediatric pre-hospital emergencies in Belgium: a 2-year national descriptive study. *Eur J Pediatr* 175:921–930
11. Bernhard M, Helm M, Lutz T et al (2011) Pädiatrische Notfälle in der prähospitalen Notfallmedizin. *Notfall Rettungsmed* 14:554–566
12. Helm M, Biehn G, Lampf L et al (2010) Pädiatrischer Notfallpatient im Luftrettungsdienst. *Anaesthesist* 59:896–903
13. Bernhard M, Kumle B, Dodt C et al (2022) Versorgung kritisch kranker, nicht-traumatologischer Patienten im Schockraum. *Notfall Rettungsmed* 25:1–14
14. Schlechtriemen T, Masson R, Burghofer K et al (2006) Pädiatrische Notfälle in der präklinischen Notfallmedizin. *Anaesthesist* 55:255–262
15. Riva B, Clavenna A, Cartabia M et al (2018) Emergency department use by paediatric patients in Lombardy Region, Italy: a population study. *BMJ Paediatr Open* 2:e247
16. Stopfkuchen H, Wollermann C, Krämer W (1999) Außerklinische Notfallsituationen im Kindesalter. *Notarzt* 15:85–90
17. Albrecht M, Berner J, Altemeyer K (2000) Kindernerfallfälle im Luftrettungsdienst. *Notfall Rettungsmed* 3:156–169
18. Dziejielewski J, Schulte F, Jung C et al (2023) Resuscitation room management of patients with non-traumatic critical illness in the emergency department (OBSERVE-DUS-study). *BMC Emerg Med* 43:23
19. Tautz J, Priebe C, Schunk D et al (2023) Versorgung nicht-traumatologisch kritisch kranker Kinder im interdisziplinären Team? *Notfall Rettungsmed* 26:501–510
20. Hoffmann F, Landeg M, Rittberg W et al (2022) Der Notfall beim Kind – zunehmende Versorgungsgengpässe für Kinder in einer systematischen Langzeitanalyse des Rettungssystems einer deutschen Metropole. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 117:358–366
21. Lutz N, Vandermensbrughe N, Dolci M et al (2014) Pediatric emergencies admitted in the resuscitation room of a Swiss university hospital. *Pediatr Emerg Care* 10:699–704
22. Bettencourt AP, Gorman M, Mullen J (2021) Pediatric Resuscitation. *Crit Care Nurs Clin North Am* 3:287–302

23. Garbin S, Easter J (2023) Pediatric Cardiac Arrest and Resuscitation. *Emerg Med Clin North Am* 41:465–484
24. Silbereisen C, Hoffmann F (2015) Kindernotfall im Notarztendienst. *Anaesthesist* 64:73–84
25. Demirakca S (2015) Respiratory emergencies and airway management in children. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 110:328–337
26. Mastrangelo M, Baglioni V (2021) Management of neurological emergencies in children: an updated overview. *Neuropediatrics* 52:242–251
27. Van de Vorde P, Turner NM, Djakow J et al (2021) Lebensrettende Maßnahmen bei Kindern (Paediatric Life Support, PLS). *Notfall Rettungsmed* 24:650–719
28. Eich C, Russo S, Heuer J et al (2009) Characteristics of out of hospital pediatric emergencies attended by ambulance- and helicopter-based emergency physicians. *Resuscitation* 80:888–892
29. Landsleitner B, Both C, Hoffmann F (2021) Präklinisches Management von Atemwegs- und Atmungsproblemen im Kindesalter. *Notfall Rettungsmed* 24:12–23
30. Winkler S, Beer A, Brenner S (2021) Präklinische Versorgung respiratorischer Notfälle. *Notfmed Up2date* 16:83–100
31. Althammer A, Trentzsch H, Hoffmanns F et al (2023) Pädiatrische Notfallpatienten in den Notaufnahmen einer deutschen Metropolregion. *Med Klin Intensivmed Notfmed*. <https://doi.org/10.1007/s00063-023-01064-1>
32. Heimberg E, Pratsch A, Hoffmann F et al (2024) Defizitäre Versorgungsstrukturen treffen vor allem die großen pädiatrischen Intensivstationen – eine longitudinale Auswertung. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 119:105–107
33. Güth J, Jung P, Schiele A et al (2023) Update 2022: Interdisziplinäre Stellungnahme zum Atemwegsmanagement mit supraglottischen Atemwegshilfen in der Kindernotfallmedizin – die Larynxmaske ist und bleibt State of the Art. *Anästhesiologie* 72:425–432
34. Reindl M, Rovas A, Köhnke R et al (2023) „Emergency critical care“ in der Notaufnahme. Literaturübersicht und aktuelle Konzepte. *Notfall Rettungsmed*. <https://doi.org/10.1007/s10049-024-01309-2>
35. Katzenschlager S, Kelpanides I, Ristau P et al (2023) Out-of-hospital cardiac arrest in children: an epidemiological study based on the German Resuscitation Registry identifying modifiable factors for return of spontaneous circulation. *Crit Care* 27:349

**Hinweis des Verlags.** Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.

## Retrospective analysis of the resuscitation room management of nontraumatic critically ill children in a university emergency department (OBSERvE-DUS-PED study)

**Background:** The establishment of a resuscitation room management for nontraumatic critically ill children appears to make sense. This study collected data of pediatric patients suffering from nontraumatic critically ill conditions treated in a resuscitation room.

**Methods:** The retrospective OBSERvE-DUS-PED study (November 2019–October 2022) recorded pediatric patients (age < 18 years) who were admitted to the emergency department (ED) for resuscitation room care. The routinely documented data on treatment were taken from the hospital information system MEDICO® and the patient data management system COPRA® in accordance with the OBSERvE dataset. The study was approved by the Ethics Committee of the Medical Faculty of the Heinrich Heine University (2023-2377).

**Results:** The study included 52 pediatric resuscitation room patients. Adolescents aged 14–17 years were the most frequent in the cohort representing 37% of the total and neonates/infants (0–1 year) were lowest at 8%. The most common symptoms categorized according to ABCDE problems were disturbance of consciousness (D) at 61%, cardiovascular failure (C) at 25%, respiratory insufficiency (B) at 6%, airway obstruction (A) and exposure/environment (E) problems each at 4%. The out-of-hospital and in-hospital emergency procedures were performed with the following frequencies: venous (58% vs. 65%), intraosseous (14% vs. 2%) and central venous access (0% vs. 12%), invasive airway management (35% vs. 8%), cardiopulmonary resuscitation (21% vs. 10%), vasopressors (15% vs. 17%), and intra-arterial pressure measurement (0% vs. 17%). The mean duration of resuscitation room management was 70 ± 43 min. The 30-day mortality was 17%.

**Conclusion:** The OBSERvE-DUS-PED study demonstrates the major challenges in the care of critically ill nontraumatic pediatric patients, both in out-of-hospital and in-hospital management. The variety and complexity of the referral diagnoses as well as the immediate vital threat to the patients make it appear sensible to treat such patients primarily in a resuscitation room of the ED due to the available material, infrastructural and personnel resources.

### Keywords

Pediatric emergency · Resuscitation room · Emergency department · Critically ill patients · Care concept

### **3. Diskussion**

Die retrospektive, monozentrische OBSERvE-DUS-PED-Studie untersuchte die Schockraumversorgung von 52 nicht-traumatologisch kritisch kranken Kindern in einer universitären Zentralen Notaufnahme. Dabei lieferte die Datenanalyse erste Erkenntnisse zu Epidemiologie, prähospitalen Versorgung und innerklinischen diagnostischen und therapeutischen Notfallmaßnahmen sowie zu den Behandlungsergebnissen dieser Patientengruppe, die von einem multidisziplinären Schockraumteam betreut wurde.

#### **3.1. Vorangegangene Arbeiten**

Diese retrospektive Untersuchung orientiert sich an den prospektiven monozentrischen OBSERvE-Studien (OBSERvE1 [37] und OBSERvE2 [36]) und der retrospektiven OBSERvE-DUS-Studie [40], die vergleichbare Fragestellungen für nicht-traumatologisch kritisch kranke erwachsene Schockraumpatienten in der Zentralen Notaufnahme des Universitätsklinikums Leipzig und des Universitätsklinikums Düsseldorf analysiert haben. Diese Studien zeigten die hohe Letalität des erwachsenen Patientenkollektivs als zentrale Herausforderung und betonten die Bedeutung weiterer transsektorieller Forschungsprojekte zur Qualitätssicherung an der Nahtstelle zwischen prähospitaler und innerklinischer Versorgung. Mit diesem Ansatz konnten erste wichtige Daten ausgewertet werden, die eine Grundlage für Algorithmen, Weißbücher und Ausbildungskonzepte bildeten [11, 57, 58].

#### **3.2. Aufnahmelokalisation und Versorgungskonzepte**

In der klinischen Praxis gibt es derzeit kein standardisiertes Versorgungskonzept für die Aufnahme von nicht-traumatologisch kritisch kranken Kindern, was zu einer erheblichen Heterogenität in den bestehenden Strategien führt [19]. Die Erstaufnahme dieser Kinder erfolgt sowohl in Kindernotaufnahmen als auch direkt auf Kinderintensivstationen oder in Schockräumen Zentraler Notaufnahmen (teils mit, teils ohne angeschlossene Kinderklinik) [67]. Dies hat, neben regionalen Faktoren wie der Verfügbarkeit von Ressourcen, geografischen Entfernungen und demografischen

Unterschieden innerhalb unterschiedlicher Regionen, auch systemische Faktoren wie eine in Deutschland weitgehend fehlende Standardisierung der kindlichen Versorgungsstrukturen, unterschiedlichen Niveaus der einzelnen Versorgungsebenen der Krankenhäuser oder eine fehlende Zusammenarbeit der verschiedenen Fachdisziplinen. Insgesamt entstehen die unterschiedlichen Aufnahmekonzepte durch eine Kombination aus strukturellen, organisatorischen und regionalen Faktoren, die bislang nicht durch einheitliche Regelungen oder Versorgungsmodelle ausgeglichen werden.

Weltweit werden die meisten Kinder in Zentralen Notaufnahmen (für im Wesentlichen erwachsene Patienten) behandelt und nicht in spezialisierten Kindernotaufnahmen [29]. Welches Versorgungskonzept das Optimum darstellt, kann derzeit wissenschaftlich nicht abschließend geklärt werden und bleibt eine Entscheidung, die wesentlich in den jeweilig lokalen Strukturen begründet liegt.

Der zentrale Studienfokus und die Aufnahmelokalisation des Patientenkollektivs in der OBSERvE-DUS-PED-Studie ist der Schockraum der Zentralen Notaufnahme eines universitären Maximalversorgers. Im Vorfeld führte die Professionalisierung der akut- und notfallmedizinischen Versorgung an diesem Standort zu einer multidisziplinären und interprofessionellen Abstimmung des innerklinischen Versorgungskonzeptes für nicht-traumatologisch kritisch kranke Kinder. In einem multiprofessionellen Ansatz arbeiten ärztliche und pflegerische Teams aus der Anästhesiologie, Pädiatrie und klinischer Akut- und Notfallmedizin in der Notaufnahme zusammen. Je nach Erkrankung werden in Analogie zum Polytraumamanagement im Sinne eines erweiterten Schockraumteams zudem Fachkräfte aus der Radiologie und chirurgischen Disziplinen hinzugezogen. Die Aufnahme erfolgt direkt im Schockraum der Zentralen Notaufnahme mit einem hier im Vorfeld alarmierten und bereitstehenden Schockraumbasisteam. Dafür wurde eine spezifische Anmeldeprozedur in Zusammenarbeit mit den Rettungs- und Notarztdiensten der Region etabliert (**Abb.1** in der Publikation). Ein entscheidender Grund für die Wahl der Versorgungslokalisierung dieser Patientengruppe im Schockraum der Zentralen Notaufnahme war die Verfügbarkeit aller notwendigen materiellen, infrastrukturellen und personellen Ressourcen, um diese vulnerable Patientengruppe mit höchster Expertise und einer zeitgerechten Versorgung zu behandeln.

Zusammenfassend erfolgte durch die Etablierung oben genannter Strukturen und interner Handlungsalgorithmen der Versuch einer Standardisierung und damit

Optimierung der Versorgung von nicht-traumatologisch kritisch kranken Kindernotfällen am eigenen Standort und gleichzeitig eine Reduktion interner Versorgungsunterschiede durch eine Bündelung materieller, personeller und infrastruktureller Ressourcen.

### **3.3. Patientenkollektiv**

In der OBSERvE-DUS-PED-Studie wurde mit dem nicht-traumatologisch kritisch kranken Kind ein spezielles Patientenkollektiv untersucht und stellte einen sehr geringen Anteil an der Gesamtkohorte der im Untersuchungszeitraum von drei Jahren in der Zentralen Notaufnahme vorstellig werdenden Patienten mit 0,04% dar [8]. Es gibt bisher keine Studien, die ein vergleichbares Patientenkollektiv in Deutschland untersucht haben. Lutz et al. [42] untersuchten ein kritisch krankes, pädiatrisches Patientenkollektiv am Universitätsklinikum in Lausanne und kamen auf einen Anteil von 0,46% für alle kritisch kranken, sowohl traumatologischen als auch nicht-traumatologischen Kindernotfälle. Der Unterschied des Lausanner Patientenkollektivs zum hier betrachteten Patientenkollektiv der OBSERvE-DUS-PED-Studie war also das Ausschlusskriterium traumatologischer Ursachen für die letztgenannte Untersuchung. Dziegielewski et al. [40] untersuchten in der OBSERvE-DUS-Studie die Schockraumversorgung für den kritisch kranken, nicht-traumatologischen erwachsenen Patienten mit einem Anteil von 1,5% an der Gesamtkohorte am gleichen Standort. Vergleicht man die Ergebnisse der OBSERvE-DUS-PED- mit denen der OBSERvE-DUS-Studie wird deutlich, dass Kindernotfälle selbst in einem universitären Notfallzentrum immer noch eine Seltenheit darstellen, für die sich das Behandlungsteam speziell vorbereiten muss.

Das Patientenkollektiv der OBSERvE-DUS-PED-Studie bestand zu je einem Drittel aus Jugendlichen, sowie Klein- und Schulkindern. Im Einklang mit anderen Studien [16, 24, 34] stellte die besonders vulnerable Altersgruppe der Neugeborenen und Säuglinge (<1 Jahr) den kleinsten Anteil mit rund 8% dar, während Jugendliche mit ca. 37% die größte Patientenkohorte darstellten. Dieses Ergebnis in der Verteilung der einzelnen Altersgruppen steht im Widerspruch zu mehreren Studien, in denen Kleinkinder (1-5 Jahre) den mengenmäßig größten Anteil ausmachten [16, 17, 23, 30]. Mögliche Gründe für die Diskrepanz der Häufigkeit in den Altersgruppen der verschiedenen Untersuchungen könnten unterschiedliche Altersdefinitionen und der teils fehlende Einschluss von Jugendlichen ab 14 Jahren in anderen Untersuchungen

sein. Ein weiterer wesentlicher Selektionsbias ergibt sich aus dem Einschlusskriterium der OBSERvE-DUS-PED-Studie, das ausschließlich nicht-traumatologisch kritisch kranke Kinder berücksichtigte. Im Gegensatz dazu umfassen andere Studien oft das gesamte Spektrum von Kindernotaufnahmen, unabhängig vom Gesundheitszustand der Kinder oder vom dokumentierten NACA-Score [17, 21, 23, 30].

In der OBSERvE-DUS-PED-Studie wiesen über 90% der Kinder eine nicht auszuschließende oder akute Lebensgefahr auf, wurden unter Reanimationsbereitschaft zugeführt oder befanden sich bereits in Reanimationsmaßnahmen (NACA IV-VI). Dieser hohe Anteil an Patienten mit NACA IV-VI unterscheidet sich von anderen Untersuchungen [16,17, 23, 30] und unterstreicht die erfolgreiche Umsetzung der gezielt ausgewählten Dispositionsstrategie für Kindernotfälle mit vermuteter akuter Vitalgefährdung in den Schockraum der Zentralen Notaufnahme am untersuchten Standort.

Schlussfolgernd kann man formulieren, dass die Patientenkohorte der nicht-traumatologisch kritisch kranken Kindernotfälle sich hinsichtlich der dominierenden Altersgruppe sowie des prozentualen Anteils des NACA-Scores IV-VI überwiegend gegenüber anderen Studienergebnissen unterscheidet.

### **3.4. Erkrankungsspektrum**

In der OBSERvE-DUS-PED-Studie stellte in Übereinstimmung mit Häufigkeitsangaben aus der Literatur [16, 23, 24, 45] das D-Problem mit über 60% die häufigste Problematik dar. In Einklang mit den vorgenannten Untersuchungen war die häufigste zugrunde liegende Aufnahmediagnose ein (febriler oder afebriler) Krampfanfall in Verbindung mit einer anhaltenden Bewusstseinsstörung. Im Gegensatz dazu wurden in anderen Studien respiratorische Notfälle als die führenden nicht-traumatologischen Behandlungsursachen beschrieben [17, 30, 46]. Die respiratorischen Notfälle im Kindesalter umfassten beispielsweise Pneumonien und Aspirationen im Säuglingsalter, die stenosierende Laryngotracheitis im Kleinkindalter sowie Hyperventilation und Asthma bronchiale im Schulkind- und Jugendalter. Der meist infektiös bedingte febrile Krampfanfall wurde dort hingegen als zweithäufigste Ursache genannt [17, 30, 34, 46]. Die Unterschiede lassen sich vermutlich dadurch begründen, dass die Kinder in den genannten Untersuchungen weder eine erhebliche Beeinträchtigung der Vitalfunktionen noch ein kritisches

ABCDE-Problem aufwiesen und daher im Kontext der OBSERvE-DUS-PED-Studie der Kindernotaufnahme zugewiesen wurden.

Es kann daher als Erklärungsmodell – auch vor dem Hintergrund der Ergebnisse der OBSERvE-DUS-PED-Studie – mit einem deutlich geringeren Anteil an respiratorisch insuffizienten Kindern angenommen werden, dass die überwiegende Anzahl der respiratorischen Notfälle, die einen Rettungsdiensteinsatz notwendig machten, Kinder betraf, welche mit stabilen Vitalfunktionen und ohne Hinweis auf eine drohende respiratorische Erschöpfung sowie Notwendigkeit einer Schockraumversorgung der Kindernotaufnahme zugeführt werden konnten. Auch andere Autoren [25, 34] beschreiben eine nur geringe Anzahl tatsächlich vital bedrohter Kinder mit führender respiratorischer Problematik und eine dazu vergleichsweise hohe Anforderung an die Betreuung von Angehörigen durch die Rettungsmittel. Die Ergebnisse der OBSERvE-DUS-PED-Studie lassen den Schluss zu, dass respiratorische Kindernotfälle unter Berücksichtigung der lokal gültigen Rahmenbedingungen in den meisten Fällen prähospital erfolgreich durch das etablierte Notarztsystem behandelt werden konnten. Dabei kam es selten zu einer anhaltenden erheblichen Verschlechterung der Vitalfunktionen, sodass eine Schockraumversorgung nur in Ausnahmefällen erforderlich war. Ein signifikanter Anteil des Patientenkollektivs bestand jedoch aus Kindern mit febrilen Krampfanfällen, die prähospital nicht durchbrochen werden konnten und als Status epilepticus eine Schockraumversorgung notwendig machten. Diese Fälle erforderten häufig eine invasive Stabilisierung der Vitalparameter sowie eine weiterführende Diagnostik mittels Großgerätebildung, um lebensbedrohliche Differentialdiagnosen auszuschließen.

Interessanterweise konnte in der OBSERvE-DUS-PED-Studie ein im Vergleich zu anderen Untersuchungen bemerkenswert hoher Anteil an C-Problemen bei einem Viertel der Fälle festgestellt werden. Mehrere Studien beschreiben die geringe Rolle der Herz-Kreislauf-Erkrankungen im Kindes- und Jugendalter im Gegensatz zum Erwachsenenalter und verweisen auf die vergleichsweise geringe Häufigkeit sowohl im bodengebundenen als auch im luftgebundenen Rettungsdienst [25, 34, 39, 48]. Zur Erklärung muss darauf verwiesen werden, dass knapp 80% der dem Schockraum in der OBSERvE-DUS-PED-Studie zugeführten Patienten mit C-Problem entweder nach stattgehabter oder unter laufenden Reanimationsmaßnahmen zur Aufnahme kamen, dies entsprach somit gut einem Fünftel des gesamten Patientenkollektivs.

Andere Studien beschreiben Reanimationsraten von 0,6-4%, vor allem im Säuglings-, Kleinkind- und jungem Schulkindalter [16, 17, 48]. Die höhere Rate an zugeführten Kindern nach bzw. unter kardiopulmonaler Reanimation (CPR) liegt vermutlich in der exponierten Versorgungslage des Universitätsklinikums als kinderintensivmedizinisches Zentrum in der Region begründet. In der OBSERvE-DUS-PED-Studie zeigten ältere Kinder ( $\geq 13$  Jahre) häufiger defibrillierbare Initialrhythmen, während bei jüngeren Kindern ( $\leq 8$  Jahre) primär Asystolie als Initialrhythmus vorherrschte. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit der Literatur, die bei Kindern im Gegensatz zu Erwachsenen vor allem eine Hypoxie als Hauptursache für einen Herzkreislaufstillstand und weniger kardiale Ursachen beschreibt [48].

Die pädiatrischen Reanimationsleitlinien des European Resuscitation Council bestätigen, dass in 40–50% der Fälle ein primär respiratorisches Problem der Auslöser für einen Herzkreislaufstillstand bei Kindern ist [27, 48]. Der plötzliche Kindstod wird als Ursache in 20–30% der Fälle angegeben [27, 48]. Herzkreislaufstillstände infolge eines Traumas treten in entsprechenden Kohorten mit einem Anteil von 10–40% auf [43, 44, 48], diese spezifische traumaassoziierte Entität war jedoch in der OBSERvE-DUS-PED-Studie explizit ausgeschlossen worden.

Zusammenfassend kann formuliert werden, dass sich das C-Problem beim untersuchten Kollektiv der nicht-traumatologisch kritisch kranken Kinder dieser Schockraumkohorte als relevantes Leitsymptom gezeigt hat. Im prähospitalen als auch innerklinischen Management sollte das zirkulatorische Problem beim Kindernotfall frühzeitig erkannt und unter Anwendung spezialisierter Notfallinterventionen (z.B. Atemwegsmanagement, Katecholamintherapie) zeitkritisch versorgt werden. Dies erfordert geschulte und unter Umständen multidisziplinäre personelle Ressourcen, die subtile Anzeichen kritischer Zustände bei Kindern identifizieren können. Viele nicht-traumatologische Notfälle, die schnell in einem C-Problem resultieren können (z. B. septischer Schock, Atemwegsobstruktion), haben eine hohe Mortalität, wenn nicht zeitnah interveniert wird. Individuelle apparative Ressourcen sollten in diesem Kontext ebenfalls Berücksichtigung finden.

### **3.5. Prähospital und innerklinische Notfallmaßnahmen**

Als Hinweis auf die hohe Erkrankungsschwere der Kinder aller Altersgruppen im Studienzeitraum der OBSERvE-DUS-PED-Studie kann der Anteil des prähospital durchgeführten Atemwegsmanagements von über 35% interpretiert werden. Im Vergleich dazu zeigen andere Studien, die keine spezifische pädiatrische Patientengruppe betrachteten, deutlich niedrigere Anteile: Für den bodengebundenen Rettungs- und Notarztendienst lag die Rate der prähospitalen Atemwegssicherung in entsprechenden Untersuchungen bei 1,5-2,1% und für die Luftrettung bei 17,2% [16, 17]. Bei einem Vergleichskollektiv erwachsener kritisch kranker Patienten lag die prähospital Intubationsrate nur bei 20% [40].

Alle Kinder in der OBSERvE-DUS-PED-Studie, die im Rahmen der prähospitalen Notfallversorgung endotracheal intubiert wurden, wiesen einen Summenscore auf der Glasgow Coma Scale (GCS) von  $\leq 8$  Punkten aufgrund von D- und C-Problemen (z. B. Herzkreislaufstillstand oder Status epilepticus) auf, dies macht noch einmal die Bedeutung dieser beiden Leitsymptome für das untersuchte Patientenkollektiv deutlich und rückt die Leitsymptome A und B speziell für das Kollektiv der nicht-traumatologischen Kindernotfälle, die in einem Schockraum versorgt werden müssen, in den Hintergrund.

Eine aktuelle interdisziplinäre Stellungnahme zur prähospitalen Atemwegssicherung in der Kindernotfallmedizin spricht sich für die Nutzung von Larynxmasken aus, da diese eine suffiziente Oxygenierung und Ventilation gewährleisten, ohne dass eine endotracheale Intubation zwingend erforderlich ist [53]. Im Patientenkollektiv der OBSERvE-DUS-PED-Studie kamen supraglottische Atemwegshilfen jedoch weder prähospital noch innerklinisch zum Einsatz. Zeitgleich wurden erfreulicherweise während des Studienzeitraums keine Fehlintubationen verzeichnet. Insgesamt spricht dies für eine sehr hohe Expertise des prähospitalen als auch des innerklinischen Behandlungsteams. Während aber in einer anderen Studie mit einer vergleichbaren pädiatrischen Kohorte keine Umintubation nach prähospitaler Behandlung erforderlich wurde [42], erfolgte dies in der vorliegenden Untersuchung in 16% der Fälle. Dies spricht für einen Schulungsbedarf in der Auswahl der geeigneten Tubusgröße unter Berücksichtigung des Kindesalters für den lokalen Rettungs- und Notarztendienst. Zusätzlich wurden 12% der Kinder, deren Atemwege bei Aufnahme noch nicht gesichert waren, im Schockraum einer endotrachealen Intubation unterzogen.

Die Einbindung eines multiprofessionellen Teams mit anästhesiologischer Expertise im Atemwegsmanagement trägt daher wesentlich zur optimalen Versorgung nicht-traumatologisch kritisch kranker Kinder bei. Möglicherweise wurde die Atemwegssicherung bewusst unter Berücksichtigung bestehender Empfehlungen bis zur Krankenhausaufnahme prolongiert [59], beispielsweise aufgrund fehlender Expertise oder aber patientenassoziierter Bedingungen (z.B. adressiert schwieriger Atemweg). Zum Abschluss der Schockraumversorgung waren fast 60% aller Kinder entweder invasiv oder nicht-invasiv beatmet, dies liefert erneut einen klaren Hinweis auf die hohe Erkrankungsschwere und den Selektionsfaktor des in der OBSERvE-DUS-PED-Studie untersuchten Patientenkollektivs.

Invasive Maßnahmen (z.B. arterielle Blutdruckmessungen, zentralvenöse Gefäßzugänge (ZVK)) wurden im Studienzeitraum bei den nicht-traumatologisch kritisch kranken Kindern häufiger etabliert als in Vergleichsstudien [42]. Zugleich war die Häufigkeit dieser Maßnahmen niedriger als in einem Erwachsenenkollektiv kritisch kranker Schockraumpatienten am gleichen Standort [40]. Der Unterschied in der Instrumentierungsrate im Vergleich zu anderen Kinderkollektiven war aufgrund der hohen Erkrankungsschwere der Kinder zu erwarten.

Im Vergleich zu einem Patientenkollektiv an einer Schweizer Universitätsklinik [42] wurden in der OBSERvE-DUS-PED-Studie auch bildgebende Verfahren wie abdominelle Sonographie und Computertomographie (CT) häufiger eingesetzt. Das lokale Versorgungskonzept für nicht-traumatologisch kritisch kranke Kinder sah bei unklarer Ursache einer anhaltenden Vigilanzminderung (GCS  $\leq 8$ ) nach interdisziplinärer Absprache eine sofortige diagnostische Abklärung mittels Großgerätebildgebung vor. Insbesondere die CT spielt sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern in über 55% der Fälle eine zentrale diagnostische Rolle [40]. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, das CT bzw. MRT räumlich nah zum Schockraum der Notaufnahme zu platzieren [11]. Vorrangig wurden in der OBSERvE-DUS-PED-Studie kraniale CTs bei vorausgegangenen Reanimationsmaßnahmen, hypoxischen Ereignissen oder persistierender Vigilanzminderung durchgeführt, während CT-Untersuchungen anderer Körperregionen (z. B. Halswirbelsäule, Thorax, Abdomen) selten waren.

Aus zeitlichen Gründen wurde eine MRT nur in einem geringen Teil der Fälle angewendet.

Die optimale Versorgung von nicht-traumatologischen Kindern, besonders in Notfallsituationen, stellt hohe Anforderungen an technische und apparative Geräte dar. Kinder haben aufgrund ihrer unterschiedlichen Physiologie und Körpergröße spezifische Bedürfnisse, die sich auch auf die verwendeten Technologien auswirken. Dies beinhaltet bei der unmittelbaren Therapie zum einen spezielle kindgerechte Beatmungsgeräte (mit geringem Totraum), Infusionspumpen oder Monitore, die zum Monitoring der Vitalparameter zum Einsatz kommen. Daneben benötigen sie spezielle bildgebende Verfahren wie kindgerechte Ultraschallgeräte sowie spezifisch angepasste Programme zur Großgerätebildung: Dies schließt die Anpassung der Strahlendosis bei CT-Scans und die Verwendung kindgerechter MRT-Kooperationssysteme ein, um beispielsweise die Untersuchung ohne Vollnarkose durchführen zu können [60, 61]. Die Erkrankungsschwere des Patientenkollektivs und hohe Notwendigkeit z.B. einer kranialen Bildgebung mittels CT lässt eine innerklinische Versorgung in unmittelbarer Reichweite von bildgebender Großgerätediagnostik notwendig erscheinen. Am lokalen Standort war dies nur im Schockraum der Zentralen Notaufnahme vorhanden und entscheidendes Element, um sich für dieses Versorgungskonzept zu entscheiden.

Zusammenfassend zeigte sich für das untersuchte Patientenkollektiv ein, im Vergleich zu anderen pädiatrischen Kollektiven und teilweise auch vergleichbaren adulten Patientenkollektiven, hoher Anteil an unterschiedlichen diagnostischen und interventionellen Maßnahmen. Dies erfordert ein hohes Maß an fachlicher Expertise und praktischen Kenntnissen auf unterschiedlichen Gebieten der pädiatrischen Akut- und Notfallmedizin bei Kindernotfällen. Die multidisziplinäre Versorgung von nicht-traumatologischen Kindernotfällen bietet zahlreiche Vorteile, da sie auf die komplexen, oft multifaktoriellen Bedürfnisse dieser Patienten eingeht. Zum einen resultieren nicht-traumatologische Kindernotfälle oft aus einer Vielzahl von Ursachen, wie Infektionen, metabolischen Störungen, neurologischen Problemen oder verschiedenen Ursachen für eine kardiorespiratorische Insuffizienz bis hin zu einem Herzkreislaufstillstand. Eine multidisziplinäre Versorgung ermöglicht eine umfassende Beurteilung und Behandlung dieser komplexen Zustände, indem Experten aus verschiedenen Fachbereichen der Medizin zusammenarbeiten. Dadurch erfolgt eine schnellere und zielgerichtete Behandlung und eine optimierte Entscheidungsfindung, die die Sicherheit und Qualität der Versorgung bei Kindernotfällen erhöhen kann. Ein multidisziplinäres Team kann die vorhandenen Ressourcen effizienter nutzen, indem es Kompetenzen und

Fachkenntnisse an einem Ort bündelt und somit die Versorgung zielgerichteter und effizienter gestaltet.

### **3.6. Verlegung nach Versorgung**

Rund 70% der Kinder in der OBSERvE-DUS-PED-Studie wurden nach der Schockraumversorgung entweder auf eine Intensivstation verlegt oder direkt operativ behandelt. Die Rate der Verlegungen auf eine Kinderintensivstation war somit in der OBSERvE-DUS-PED-Studie aufgrund eines Selektionsbias deutlich höher als in einer anderen Studie, in denen lediglich 41% der Kinder auf eine Intensivstation aufgenommen wurden [42]. Ebenso war das Ergebnis deutlich höher im Vergleich zu einer weiteren Studie mit einer berichteten Aufnahmequote von nur 1,7%, ein Ergebnis, das darauf zurückzuführen ist, dass hier alle Kinder betrachtet wurden, die über den Rettungs- und Notarztdienst in ein Krankenhaus verbracht wurden [21]. In etwa 30% der Fälle war, im Einklang mit Daten von erwachsenen Schockraumpatienten [54], nach der ersten Stabilisierung im Schockraum eine Verlegung auf die Kinderintensivstation aus medizinischen Gründen nicht erforderlich, sodass die Behandlung in der Kindernotaufnahme oder auf einer Normalstation der Kinderklinik fortgeführt werden konnte.

Die Kinderintensivstation spielt eine zentrale Rolle bei innerklinischen Übergängen und Versorgungspfaden, ist jedoch heutzutage häufig mit erheblichen kapazitiven Engpässen konfrontiert [41]. Sie übernimmt nicht nur die Versorgung kritisch kranker Kinder aus der Kindernotaufnahme, sondern auch Verlegungen von Zentralen Notaufnahmen ohne spezialisierte Kinderklinik sowie Patienten, die nach einer initialen Stabilisierung im Schockraum zur Weiterbehandlung auf die Kinderintensivstation verlegt werden.

Eine initiale Schockraumversorgung kann dazu beitragen, die Kapazitäten einer Kinderintensivstation zu schonen, indem die Versorgung dort eine schnelle und effektive Stabilisierung von kritisch kranken Kindern ermöglicht. Durch die frühzeitige Stabilisierung wird das Risiko einer schnellen Zustandsverschlechterung verringert und die Wahrscheinlichkeit einer sicheren Verlegung auf eine weniger invasive Station erhöht. Die frühe und effiziente Stabilisierung durch den Schockraum verhindert außerdem, dass Patienten unnötig auf der Kinderintensivstation verbleiben. Durch eine frühzeitige Diagnostik und multidisziplinäre Kommunikation wird die

Überbelastung der sowieso schon durch Personalmangel kapazitatativ eingeschränkten Kinderintensivstationen vermieden.

### **3.7. Behandlungsergebnis**

In der OBSERvE-DUS-PED-Studie lag die 24-Stunden-Mortalität bei 11,5% und die 30-Tages-Mortalität bei 17,3%. Die 24-Stunden-Mortalität befindet sich dabei im Einklang mit den Behandlungsergebnissen einer Schweizer Studie mit 7,2% [42]. Im Vergleich zu kritisch kranken Erwachsenen am gleichen Standort war die 30-Tages-Mortalität bei Kindern ohne prähospitalen Herzkreislaufstillstand mit 5% deutlich niedriger [40]. Reanimationsereignisse im außerklinischen Bereich waren bei Kindern selten, jedoch betrug die 30-Tages-Überlebensrate prähospital reanimierter Kinder 37%, welche im Vergleich zu der Kohorte der Erwachsenen mit 27% deutlich höher war [40]. Studien zeigen, dass Kinder mit einem schockbaren Initialrhythmus eine bessere Überlebenschance von bis zu 50% haben [48]. Säuglinge, die häufig an respiratorischen Problemen leiden, machen einen großen Teil der außerklinischen Herzkreislaufstillstände aus und haben eine schlechtere Prognose [48, 55]. Im Untersuchungszeitraum verstarben die meisten Kinder aufgrund eines prähospitalen Herzkreislaufstillstandes, während ein Patient mit einem defibrillierbaren Rhythmus überlebte.

### **3.8. Limitationen**

Das Studiendesign der OBSERvE-DUS-PED-Studie war retrospektiv und monozentrisch angelegt, was mit entsprechenden Limitationen verbunden ist. Erstmals wurde hier das Schockraummanagement für ein nicht-traumatologisches Kinderkollektiv in einer Zentralen Notaufnahme über einen Zeitraum von drei Jahren untersucht. Eine Einschränkung stellt die geringe Fallzahl von 52 Kindern mit hoher Erkrankungsschwere dar, die durch die selektive Distributionsstrategie bedingt ist. Für die Zukunft wäre ein multizentrisches Studiendesign sinnvoll, um eine größere Fallzahl zu erfassen und die bereits gewonnenen Ergebnisse der Studie zu bestätigen. Darüber hinaus sollten die in der Kindernotaufnahme behandelten Kinder ebenfalls untersucht werden, um zu ermitteln, in welchem Umfang die etablierte Dispositionsstrategie versagt hat und kritisch kranke Kinder an dieser Stelle des Krankenhauses aufgenommen wurden. Eine weitere Limitation liegt in der bislang uneinheitlichen Definition der Alterskategorien von Kindern, die für die Vergleichbarkeit der Daten

notwendig ist, jedoch deren unmittelbare Vergleichbarkeit einschränkt. Die positiven Ergebnisse dieser Untersuchung sind eng mit zahlreichen Schulungs- und Trainingsmaßnahmen verknüpft, deren qualitativer und quantitativer Einfluss jedoch nicht weiter untersucht wurde. Diese Maßnahmen haben mit hoher Wahrscheinlichkeit einen wesentlichen Beitrag zur sicheren Versorgung geleistet. Es wäre wünschenswert, dass zukünftige Studien den Einfluss solcher Schulungen und Trainingsmaßnahmen genauer analysieren und ihren Beitrag zu einer fehlerfreien Behandlung in den Fokus rücken.

## 4. Schlussfolgerung

In Deutschland fehlen bislang Leitlinien für die materielle und personelle Ausstattung sowie spezifische Handlungsempfehlungen zur optimalen Versorgung nicht-traumatologisch kritisch kranker Kinder in Zentralen Notaufnahmen und im Bereich der Schockraumversorgung. Dies betrifft sowohl die Organisation von Handlungsabläufen als auch die Standardisierung von Prozessen. Gemeinsam mit unterschiedlichen Versorgungsstrukturen, unklaren Dispositionsstrategien und verschiedenen Kommunikations- und Koordinationsproblemen führt dies unter anderem zu einer erheblichen Heterogenität in der Versorgung von nicht-traumatologisch kritisch kranken Kindernotfällen. In der OBSERvE-DUS-PED-Studie zeigte sich insgesamt ein komplexes und sehr vulnerables Patientenkollektiv, welches höchste Anforderungen an das prähospitalen und innerklinische Behandlungsmanagement stellte. Dies zeigte sich unter anderem in einer hohen prähospitalen Rate an endotrachealen Intubationen sowie kardiopulmonalen Reanimationen, einem hohen NACA-Score bei Aufnahme in den Kinderschockraum sowie hohen Verlegungsraten auf die Kinderintensivstation. Das D-Problem kristallisierte sich dabei als führender Aufnahmegrund heraus. Ein wesentlicher Ansatzpunkt der OBSERvE-DUS-PED Studie liegt in der Definition klarer Dispositionsstrategien, die Kriterien für die Alarmierung des Schockraums bei nicht-traumatologisch kritisch kranken Kindern enthalten. Solche Strategien könnten die personellen und technischen Ressourcen besser koordinieren und eine effiziente Nutzung des multidisziplinären Schockraumteams ermöglichen. Darüber hinaus erscheint es in Anbetracht der Ergebnisse aus der OBSERvE-DUS-PED-Studie sinnvoll, bestehende Schockraumstrukturen zu nutzen und dabei die höchstmögliche fachliche Expertise innerhalb eines multidisziplinären Teams einzubeziehen. Ebenfalls scheint es im Kontext der Ergebnisse aus der OBSERvE-DUS PED Studie von zentraler Bedeutung zu sein, einen interprofessionellen und multidisziplinären Austausch zu fördern, um gemeinsame Handlungsempfehlungen und Standards zu entwickeln. Diese könnten nicht nur die Qualität der Versorgung verbessern, sondern auch dazu beitragen, eine „gemeinsame Sprache“ in der Schockraumversorgung zu etablieren, was die Zusammenarbeit und Effektivität steigern würde. Ergänzend sollte eine zeitnahe Diagnostik mittels Großgerätebildgebung im Schockraum gewährleistet sein, um die Versorgung weiter zu optimieren. Diese Maßnahmen könnten entscheidend dazu beitragen, die Betreuung kritisch kranker Kinder strukturiert, effizient und auf höchstem medizinischem Niveau sicherzustellen.

## 5. Ausblick

Die Anforderungen des nicht-traumatologisch kritisch kranken Kindes sind komplex und unterscheiden sich deutlich von traumatischen Fällen und denen bei erwachsenen Patienten. Erforderlich ist daher ein auf medizinische Ursachen und den Besonderheiten der Kinder ausgerichtetes Versorgungssystem, das zeitkritische Diagnostik, multidisziplinäre Expertise und spezialisierte Ausstattung bietet. Ein Fokus auf das frühe Erkennen und die gezielte kindgerechte Intervention ist entscheidend, um die Mortalität und Morbidität dieser vulnerablen Patientengruppe zu reduzieren.

Zunehmende Versorgungsengpässe und fehlende Behandlungskapazitäten auf Kinderintensivstationen und in Kindernotaufnahmen, etwa aufgrund von Personalmangel und „Crowding“, führen jedoch zu Abweisungen kritisch kranker Kinder und Abmeldungen von Kinderkliniken. Obwohl solche Engpässe in der OBSERvE-DUS-PED-Studie nicht bestätigt wurden, ist es wichtig, Konzepte zur Sicherstellung der Versorgung zu entwickeln. Der Schockraum kann hierbei eine entscheidende Rolle bei der Stabilisierung von kritisch kranken Kindern spielen und gleichermaßen durch schnelle medizinische Intervention und Stabilisierung der Vitalparameter helfen, die Notwendigkeit für eine sofortige Behandlung auf der Kinderintensivstation zu verringern. Dies würde zu einer Effizienzsteigerung in der Nutzung der Ressourcen einer Kinderintensivstation beitragen und die verfügbaren Kapazitäten der Kinderintensivstation schonen.

Die multidisziplinäre Versorgung nicht-traumatologischer Kindernotfälle verbessert die Qualität und Sicherheit der Behandlung erheblich. Eine enge Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Fachdisziplinen, unterstützt durch klare Kommunikation und koordinierte Arbeitsabläufe, ist entscheidend, um eine schnelle, effektive und präzise Behandlung dieser komplexen Patientengruppe zu gewährleisten.

Die technische Ausstattung und apparative Lösungen in der Versorgung von nicht-traumatologischen Kindernotfällen müssen speziell auf die Bedürfnisse und physiologischen Gegebenheiten von Kindern ausgerichtet sein. Anpassungen und spezielle Geräte sind notwendig, um eine sichere und effektive Behandlung zu gewährleisten, die die besonderen Anforderungen hinsichtlich Größe, Dosierung und Überwachung berücksichtigt. Hierzu gehören spezialisierte Beatmungsgeräte,

Defibrillatoren, Infusionspumpen und Monitorsysteme sowie kindgerechte Bildgebungsverfahren. Solche Lösungen tragen zur Qualität und Sicherheit der Versorgung von Kindern in kritischen Situationen bei.

Während es für polytraumatisierte Erwachsene und Kinder Leitlinien zur Schockraumversorgung gibt, fehlen solche für nicht-traumatologisch kritisch kranke Kinder. Die OBSERvE-DUS-PED-Studie hebt die besonderen Herausforderungen bei der Versorgung dieses Patientenkollektivs hervor und unterstreicht den Bedarf an strukturierten Leitlinien und Algorithmen. Zukünftige multizentrische Studien könnten helfen, den Ressourcenbedarf besser abzuschätzen und so zukünftig eine adäquate Behandlung zu gewährleisten.

Die Standardisierung und Optimierung der Kindernotfallversorgung in Deutschland erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Fachgesellschaften, Politik, Kliniken und Rettungsdiensten. Durch die Umsetzung der genannten Maßnahmen können die bestehenden Versorgungsunterschiede verringert und die Qualität sowie Sicherheit der Behandlung auch bei Kindernotfällen deutlich verbessert werden.

## 6. Literaturverzeichnis

1. Krafft T, Neuerer M, Böbel S et al (2022) Notfallversorgung & Rettungsdienst in Deutschland: Partikularismus vs. Systemdenken. Gütersloh/Winnenden. ISBN 978-3-9824744-0-3
2. Scholz, Jens et al (2008) Organisation des Rettungsdienstes  
Notfallmedizin. 2. Auflage. DOI: 10.1055/b-0033-2464
3. Schütte, Fürst, et al. (2021). Analyse des Leistungsniveaus im Rettungsdienst für die Jahre 2020 und 2021. BAST-Bericht M 345. ING Beratende Ingenieure Weber Schütte Käser & Partner PartGmbH, Köln
4. Blatt S, Neustädter I, Landsleitner B (2024) Fixierungsfehler im prähospitalen Management von Atemweg und Atmung beim Kind. Notfall Rettungsmed 27:119–127
5. Merguet, P (2021) Ambulante vs. stationäre Behandlung in der zentralen Notaufnahme. Notfall Rettungsmed 24:919–928
6. Schleef T, Schneider N, Krause O (2023). Allgemeinmedizin in der Notaufnahme – Welche Patienten? Welche Beschwerden? Notfall Rettungsmed 26:114–120
7. Gries A, Schimpf AM, von Dercks N (2022) Hospital emergency departments—utilization and resource deployment in the hospital as a function of the type of referral. Dtsch Arztebl Int; 119
8. Michael, M., Al Agha, S., Böhm, L. et al (2023) Alters- und geschlechtsbezogene Verteilung von Zuführung, Ersteinschätzung, Entlassart und Verweildauer in der zentralen Notaufnahme. Notfall Rettungsmed 26:39–48
9. Mangiapane S, Czihal T, von Stillfried D (2021) Entwicklung der ambulanten Notfallversorgung in Deutschland von 2009 bis 2020. Zi-Paper

[www.zi.de/fileadmin/images/content/Publikationen/Zi-Paper-16-2021-Notfallversorgung.pdf](http://www.zi.de/fileadmin/images/content/Publikationen/Zi-Paper-16-2021-Notfallversorgung.pdf)

10. Pabst D, Schibensky J, Fistera D, et al (2022) Risikomanagement in der Triage ambulanter Notfallpatienten: Manchester Triage System und CEReCo-blue als Instrument zur risikoarmen Patientensteuerung in integrierten Notfallzentren Med Klin Intensivmed Notfmed;117(6):410-418
11. Bernhard M, Kumle B, Dodt C et al (2022) Versorgung kritisch kranker, nicht-traumatologischer Patienten im Schockraum. Notfall Rettungsmed 25 (Suppl 1), 1–14
12. Spering C, Sehmisch S, Lehman W (2020) Schockraummanagement – von der Alarmierung bis zum interdisziplinären Weiterbehandlungskonzept. OP-Journal; 36(01):18-29
13. Wasser C, Schmid N, Müller M, et al (2022) Nicht-traumatologisches Schockraummanagement in einer nichtuniversitären Notaufnahme Notfall Rettungsmed. 27:1-11
14. Arbeitsgemeinschaft für Unfallchirurgie (AUC) (2024) TraumaRegister DGU® Jahresbericht 2024
15. Bernhard M, Kumle B, Dodt C et al. Kurzversion: Versorgung kritisch kranker, nicht-traumatologischer Patienten im Schockraum. Notfall Rettungsmed 25:226–232 (2022)
16. Bernhard M, Helm M, Lutz T (2011) Pädiatrische Notfälle in der prähospitalen Notfallmedizin, Notfall Rettungsmed. 14:554–566
17. Overgaard MF, Heino A, Andersen SA, et al (2020) Physician staffed emergency medical service for children: a retrospective population-based registry cohort study in Odense region, Southern Denmark. BMJ Open. 13;10(8): e037567

18. Kaufmann J, Laschat M, Wappler F (2020) Präklinische Versorgung von Kindernotfällen. *Anästh Intensivmed*; 61:026–037
19. Tautz J, Priebe C, Schunk D, et al. (2023) Versorgung nicht-traumatologisch kritisch kranker Kinder im interdisziplinären Team? *Notfall Rettungsmed* 26:501-510
20. Lehner M, Hoffmann F, Kramer M et al (2018) Verkürzung der Versorgungszeit im Trauma Schockraum für Kinder. *Anaesthesist* 67:914–921
21. Althammer A, Trentzsch H, Hoffmanns F, et al. (2023) Pädiatrische Notfallpatienten in den Notaufnahmen einer deutschen Metropolregion. *Med Klin Intensivmed Notfmed*
22. Heimberg E, Daub J, Schmutz JB, Eppich W, Hoffmann F (2021) Debriefing in der Kindernotfallversorgung. *Notfall Rettungsmed* 24:43–51
23. Demaret P, Leburn F, Devos P, et al. (2016) Pediatric pre-hospital emergencies in Belgium: a 2-year national descriptive study. *Eur J Pediatr* 175:921-930
24. Helm M, Biehn G, Lampl L, et al. (2010) Pädiatrischer Notfallpatient im Luftrettungsdienst. *Anaesthesist* 59:896-903
25. Stopfkuchen H, Wollermann C, Krämer W (1999) Außerklinische Notfallsituationen im Kindesalter. *Notarzt* 15:85-90
26. Lehner M, Jung P, Olivieri M, et al. (2021) Polytraumaversorgung im Kindesalter – Praktische und pragmatische Zusammenfassung der neuen Leitlinie. *Notfall Rettungsmed* 24:32–42
27. Meyburg J, Bernhard M, Hoffmann GF et al (2009) Principles of Pediatric Emergency Care. *Dtsch Arztebl Int.*; 106(45): 739-748

28. S2K-Leitlinie „Polytraumaversorgung im Kindesalter“ (2020) Federführender Autor: Prof. Dr. P.P. Schmittenebeher (Karlsruhe); 2020-LL-Polytrauma-Version-Delphi-4.1.pdf (gth-online.org)
29. Petruzella F, Easter F (2020) Pediatric emergency medicine literature. Am J Emerg Med 43:123-133
30. Riva B, Clavenna A, Cartabia M, et al. (2018) Emergency department use by paediatric patients in Lombardy Region, Italy: a population study. BMJ Paediatrics Open 2: e000247
31. Herlitz J, Svensson L, Engdahl J, et al. (2007) Characteristics of cardiac arrest and resuscitation by age group: an analysis from the Swedish Cardiac Arrest Registry. Am J Emerg Med 25:1025-1031
32. Poets C, Urschitz M, von Bodman A (2003) Pathophysiologische Erklärungsmodelle zum plötzlichen Säuglingstod. Monatsschr Kinderheilkd 150:504-509
33. Nagele P, Kroesen G (2000) Kindernotfälle im Notarzteienst. Eine epidemiologische Studie am Notarztewagen Innsbruck. Anaesthesist 49:725-731
34. Schlechtriemen T, Masson R, Burghofer K, et al. (2006) Pädiatrische Notfälle in der präklinischen Notfallmedizin. Anaesthesist 55:255–262
35. Mohrmann C, Lange M, Rosner B, et al (2022) Das unerwartet kritisch kranke Kind in der Kindernotfallaufnahme: Sind wir vorbereitet? Notfall Rettungsmed
36. Grahl C, Hartwig T, Weidhase L, et al (2022) Early In-hospital Course of Critically Ill Nontraumatic Patients in a Resuscitation Room of a German Emergency Department (OBSERvE2-study). Anaesthesist 71:774-783

37. Bernhard M, Döll S, Hartwig T, et al (2018) Resuscitation room management of critically ill non-traumatic-patients in a German emergency department (OBSERvE-Study). *Eur J Emerg Med*; 25: e9-e17
38. Kretz F, Schäffer J (2000) Anästhesie im Kindesalter. In: Kretz FJ, Schäffer J (Hrsg) *Anästhesie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie*. Springer, Berlin, S. 324–341
39. Albrech M, Berner J, Altemeyer K (2000) Kindernotfälle im Luftrettungsdienst. *Notfall Rettungsmed* 3:156–169
40. Dziegielewski J, Schulte F, Jung C et al (2023) Resuscitation room management of patients with non-traumatic critical illness in the emergency department (OBSERvE-DUS-study). *BMC Emerg Med* 43:23
41. Hoffmann F, Landeg M, Rittberg W et al (2022) Der Notfall beim Kind – zunehmende Versorgungsengpässe für Kinder in einer systematischen Langzeitanalyse des Rettungssystems einer deutschen Metropole. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 117:358–366
42. Lutz N, Vandermensbrugge N, Dolci M et al (2014) Pediatric emergencies admitted in the resuscitation room of a Swiss university hospital. *Pediatr Emerg Care* 10:699–704
43. Bettencourt AP, Gorman M, Mullen J (2021) Pediatric Resuscitation. *Crit Care Nurs Clin North Am* 3:287–302
44. Garbin S, Easter J (2023) Pediatric Cardiac Arrest and Resuscitation. *Emerg Med Clin North Am* 41:465–484
45. Silbereisen C, Hoffmann F (2015) Kindernotfall im Notarztdienst. *Anaesthesist* 64:73–84

46. Demirakca S (2015) Respiratory emergencies and airway management in children. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 110:328–337
47. Mastrangelo M, Baglioni V (2021) Management of neurological emergencies in children: an updated overview. *Neuropediatrics* 52:242–251
48. Van de Vorde P, Turner NM, Djakow J et al (2021) Lebensrettende Maßnahmen bei Kindern (Paediatric Life Support, PLS). *Notfall Rettungsmed* 24:650–719
49. Eich C, Russo S, Heuer J et al (2009) Characteristics of out of hospital pediatric emergencies attended by ambulance- and helicopter-based emergency physicians. *Resuscitation* 80:888–892
50. Landsleitner B, Both C, Hoffmann F (2021) Präklinisches Management von Atemwegs- und Atmungsproblemen im Kindesalter. *Notfall Rettungsmed* 24:12–23
51. Winkler S, Beer A, Brenner S (2021) Präklinische Versorgung respiratorischer Notfälle. *Notfmed Up2date* 16:83–100
52. Heimberg E, Pratsch A, Hoffmann F et al (2024) Defizitäre Versorgungsstrukturen treffen vor allem die großen pädiatrischen Intensivstationen – eine longitudinale Auswertung. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 119:105–107
53. Güth J, Jung P, Schiele A et al (2023) Update 2022: Interdisziplinäre Stellungnahme zum Atemwegsmanagement mit supraglottischen Atemwegshilfen in der Kindernotfallmedizin – die Larynxmaske ist und bleibt State of the Art. *Anästhesiologie* 72:425–432
54. Reindl M, Rovas A, Köhnke R et al (2023) „Emergency critical care“ in der Notaufnahme. Literaturübersicht und aktuelle Konzepte. *Notfall Rettungsmed.* <https://doi.org/10.1007/s10049-024-01309-2>

55. Katzenschlager S, Kelpanides I, Ristau P et al (2023) Out-of-hospital cardiac arrest in children: an epidemiological study based on the German Resuscitation Registry identifying modifiable factors for return of spontaneous circulation. Crit Care 27:349
56. Brambrink A (1998) Notfälle im Kindesalter – Eine interdisziplinäre Herausforderung. Notfall Rettungsmed. 1:361-370
57. Gröning I, Hoffmann F, Biermann H et al (2022) Das (PR\_E-)AUD<sup>2</sup>IT-Schema als Rückgrat für eine strukturierte Notfallversorgung und Dokumentation nicht-traumatologisch kritisch kranker Schockraumpatienten. Notfall Rettungsmed 25:491–498
58. Michael M, Biermann H, Gröning I et al (2023) ACiLS – das Ausbildungskonzept für die nicht-traumatologische Schockraumversorgung. Notfall Rettungsmed 26:493–500
59. S1-Leitlinie: „Management des erwartet schwierigen Atemwegs beim Kind“ (2021) Herausgeber: Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e.V. (DGAI) Federführender Autor: Prof. Dr. med. Sebastian G. Russo (Nürnberg); AWMF-Registernummer: 001/036
60. Alzen G, Benz-Bohm G (2011) Kinderradiologie – Besonderheiten des Strahlenschutzes. Deutsches Ärzteblatt Int. 108(24):407-414
61. Slongo T, Stranzinger E (2024) Bildgebung in der Kindertraumatologie/Kinderorthopädie. Oper Orthop Traumatol 36:56–72
62. Haas C, Larbig M, Schöpke T et al (2015) Gutachten zur ambulanten Notfallversorgung im Krankenhaus. Fallkostenkalkulation und Strukturanalyse, S. 1–82
63. Pines JM, Hilton JA, Weber EJ et al (2011) International perspectives on emergency department crowding. Acad Emerg Med 18:1358–1370

64. Wahlster P, Czihal T, Gibis B et al (2020) Sektorenübergreifende Entwicklungen in der Notfallversorgung – Eine umfassende Analyse ambulanter und stationärer Notfälle von 2009 bis 2015. *Gesundheitswesen* 82:548–558
65. Winkler S, Hey F, Galow L, Brenner S (2021) Erkennen des kritisch kranken Kindes. *Notfall Rettungsmed* 24:4-11
66. Schützle H, Brenner S (2020) Akute Bewusstseinsstörungen. In: Hoffmann F et al (Hrsg) *Pädiatrie*. Springer, S. 1449–1454
67. Tautz J, Schunk D, Bölke C et al (2024) Überlegungen und Herausforderungen zur zukünftigen Versorgung kritisch kranker Kinder im nichttraumatologischen Schockraum. *Notfall Rettungsmed*
68. Pfurtscheller K, Cimenti C, Kamolz L (2016) Thermisch verletztes Kind – „Intensive“ Herausforderung. *Monatsschrift Kinderheilkunde*, Ausgabe 09/16
69. Ong M, Perkins G, Cariou A (2018) Out-of-hospital cardiac arrest: prehospital management. *The Lancet*, 391: 980-988

## 7. **Abbildungsverzeichnis**

<b>Abb. 1:</b> Verteilung von Notfalleinsätzen der Jahre 2000/2001 nach Angaben des Unfallverhütungsberichts Straßenverkehr, Bundestagsdrucksache 14/9730 vom 04.07.2002 (mod. nach [2]).....	1
<b>Abb. 2:</b> Bedeutung der Leitstelle in der Rettungskette (mod. nach [69]).....	3
<b>Abb. 3:</b> Darstellung der Notfallversorgung in Anlehnung an den Sachverständigenrat zur Begutachtung der Entwicklung im Gesundheitswesen (SVR) (2018) und EMS.gov (EMS.gov ist die offizielle Webseite der U.S. Department of Health and Human Services (HHS), bezieht sich auf den Emergency Medical Services (EMS)-Sektor der USA und dient als zentrale Informationsquelle für die verschiedenen Aspekte des Notfallmedizinischen Dienstes in den Vereinigten Staaten) - (modifiziert nach [1]) .....	4

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Dissertation unterstützt und begleitet haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Prof. Michael Bernhard, für seine unermüdliche Unterstützung, seinen fachlichen Rat und seine wertvollen Hinweise. Ohne seine Hilfe und seine Expertise wäre diese Arbeit in ihrer Form nicht möglich gewesen.

Ebenso danke ich meiner Betreuerin, Dr. Juliane Tautz, für ihre kontinuierliche Motivation und ihre fachliche Begleitung. Mit ihrer stets lösungsorientierten Unterstützung und ihrem konstruktiven Feedback hat sie einen entscheidenden Beitrag zum Gelingen dieser Dissertation geleistet.

Nicht zuletzt danke ich meinen Eltern und meinem Freund Roy für ihre bedingungslose Unterstützung und Liebe während der gesamten Promotionszeit. Ihre Geduld, ihr Verständnis und ihre kontinuierliche Ermutigung haben mir stets geholfen, auch in herausfordernden Momenten die nötige Kraft zu finden.