

# **UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF**

Sektion Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin  
Klinik und Poliklinik für Kinder- und Jugendmedizin

Prof. Dr. med. Dominique Singer

## **Ertrinkungsunfälle bei Kindern und Jugendlichen – Unfallgeschehen und Prognosefaktoren in einer deutschen Metropolregion**

### **Dissertation**

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

vorgelegt von:

Luisa Maria Horn  
aus Lübeck

Hamburg 2021

Angenommen von der  
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: **08.06.2022**

Veröffentlicht mit Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: **Prof. Dr. Jan Sperhake**

Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in: **Prof. Dr. Dominique Singer**

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Fragestellung.....	5
1.1	Pathophysiologie .....	5
1.1.1	<i>Hypoxie</i> .....	5
1.1.2	<i>Hypothermie</i> .....	6
1.1.3	<i>Aspirationspneumonie</i> .....	7
1.2	Epidemiologie .....	8
1.3	Prognosefaktoren .....	9
1.4	Grenzfälle .....	11
1.5	Fragestellungen.....	13
2	Material und Methoden .....	14
3	Ergebnisse.....	17
3.1	Demographische Daten.....	17
3.2	Unfallzeitpunkt und Setting am Unfallort .....	19
3.3	Erstversorgung am Unfallort.....	22
3.4	Präklinische Befunde.....	24
3.5	Befunde in der Notaufnahme .....	26
3.6	Maßnahmen in der Klinik.....	29
3.7	Laborwerte.....	30
3.8	Outcome .....	31
4	Diskussion .....	34
4.1	Methodenkritik .....	34
4.2	Epidemiologie und Unfallgeschehen .....	35
4.2.1	<i>Epidemiologie</i> .....	35
4.2.2	<i>Unfallgeschehen</i> .....	39
4.3	Prädiktoren des Outcome.....	43
4.3.1	<i>Gesamtmortalität</i> .....	43
4.3.2	<i>Submersionszeit</i> .....	46
4.3.3	<i>Erstversorgung am Unfallort</i> .....	47
4.3.4	<i>Körpertemperatur</i> .....	51
4.3.5	<i>Notaufnahme</i> .....	52
4.3.6	<i>Intensivstationärer Verlauf</i> .....	55
4.4	Multivariate Analyse .....	57
4.5	Grenzfälle .....	61
4.5.1	<i>Gutes Outcome trotz langer Submersionszeit</i> .....	62
4.5.2	<i>Letales Outcome trotz kurzer Submersionszeit</i> .....	63
5	Zusammenfassung.....	65

6	Abkürzungsverzeichnis .....	67
7	Literaturverzeichnis.....	68
8	Anhang.....	78
8.1	Datenerhebungsbogen: Ertrinkungsunfälle bei Kindern und Jugendliche .....	78
8.2	Sortierung der Ergebnisse nach den Kriterien „überlebt“ / „verstorben“ (als Grundlage für die statistische Auswertung).....	80
8.2.1	<i>Demographische Daten</i> .....	80
8.2.2	<i>Unfallzeitpunkt und Setting am Unfallort</i> .....	81
8.2.3	<i>Erstversorgung am Unfallort</i> .....	82
8.2.4	<i>Präklinische Befunde</i> .....	83
8.2.5	<i>Befunde und Maßnahmen in der Notaufnahme</i> .....	84
8.2.6	<i>Maßnahmen in der Klinik</i> .....	85
8.2.7	<i>Laborwerte</i> .....	87
8.2.8	<i>Outcome</i> .....	87
9	Danksagung.....	88
10	Lebenslauf.....	89
11	Eidesstattliche Erklärung.....	90

## 1 Einleitung und Fragestellung

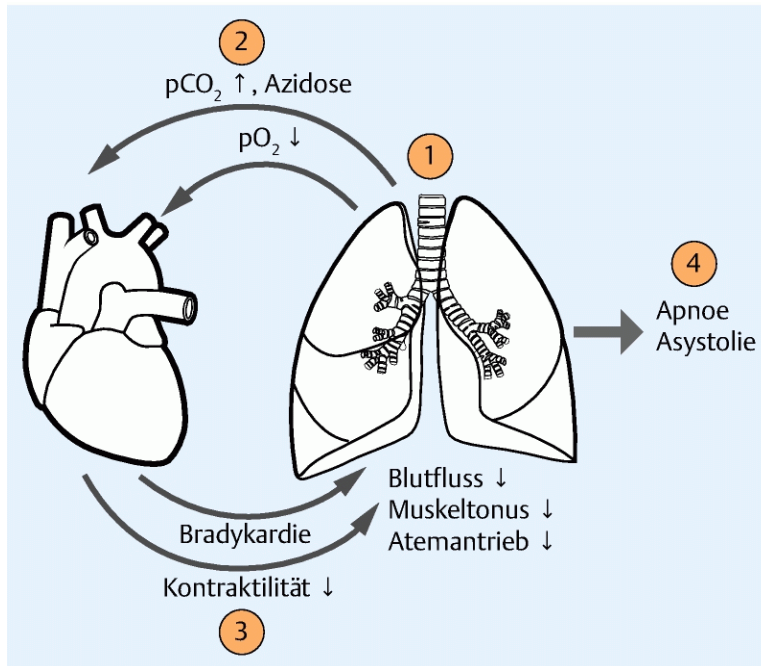
Ertrinken ist der Prozess der Entwicklung einer respiratorischen Störung durch Ein- oder Untertauchen in Flüssigkeit (van Beeck et al. 2005). Diese Definition legten die Teilnehmer des Weltkongresses zum Thema Ertrinken, der 2002 in Amsterdam stattfand, fest. Es war das erste internationale Zusammentreffen dieser Art mit 500 Experten aus 40 verschiedenen Ländern. Die große Aufmerksamkeit mag mit der Brisanz des Themas zu erklären sein, gerade wenn es sich bei den Betroffenen um Kinder oder Jugendliche handelt. Hier können kurze Momente der Unachtsamkeit zu schweren Tragödien führen. Andererseits wird immer wieder von Einzelfällen berichtet, in denen Patienten, die aus scheinbar hoffnungslosen Ausgangslagen gerettet werden, „wie durch ein Wunder“ ohne gravierende Folgeschäden überleben. Trotz der enormen Vielfalt an Literatur sind noch viele Fragen zu den Prognosefaktoren nach einem Ertrinkungsunfall ungeklärt.

### 1.1 Pathophysiologie

Ertrinkungsunfälle bilden ein komplexes Geschehen, bei dem unterschiedliche pathophysiologische Mechanismen eine Rolle spielen.

#### 1.1.1 Hypoxie

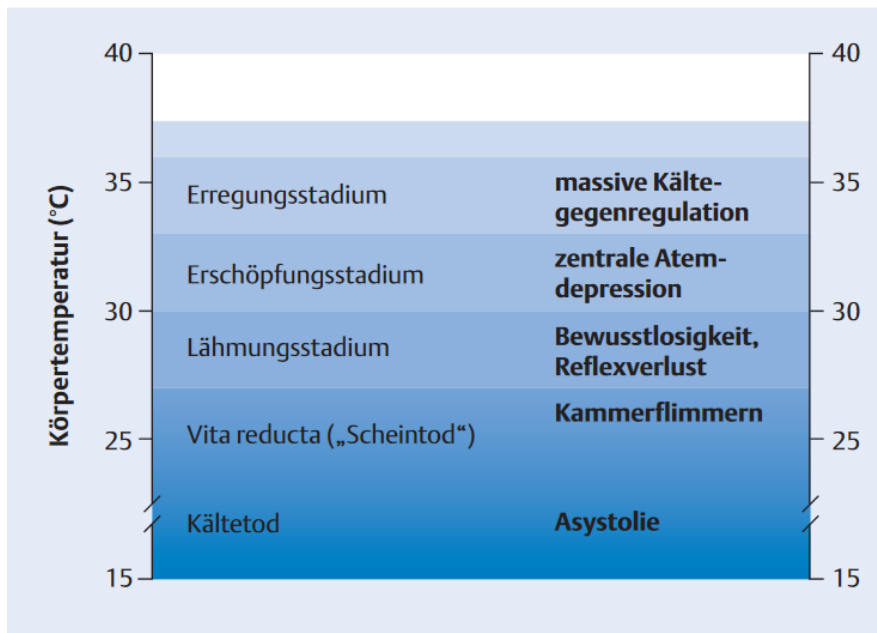
In Folge des Ein- oder Untertauchen in Wasser kommt es zum Atemstillstand und somit zu einer Art „Ersticken unter Wasser“ (Singer 2007a, Bierens et al. 2016). Die Asphyxie führt zunächst zu einer Aktivierung des sympathischen Nervensystems mit Tachykardie und Hypertonie, wodurch ein Ungleichgewicht zwischen ansteigendem Sauerstoffverbrauch und abnehmender Sauerstoffversorgung entsteht. Laborchemisch zeigt sich dies in einer Hypoxämie sowie einer durch die anaerobe Glykolyse bedingten Laktatazidose. Es kommt zur hypoxischen Schädigung sämtlicher Organe und damit auch des Herzens, was letztendlich nach einer terminalen Bradykardie einen Kreislaufstillstand zur Folge hat (**Abb. 1**) (Rellensmann et al. 2011, Olfe et al. 2018). Da die Hypoxietoleranz des Gehirns deutlich geringer ist als die des Herzens, treten irreversible Hirnschäden meist schon vor dem Herzstillstand auf, sodass auch nach erfolgreicher Reanimation mit bleibenden neurologischen Defiziten zu rechnen ist (Singer 2007a, Olfe et al. 2018).



**Abb. 1** | Pathophysiologie des Ertrinkens. 1 primäre Unterbrechung der Atmung durch Ein- oder Untertauchen 2 Hypoxämie und Hyperkapnie 3 Bradykardie und abnehmende Kontraktilität 4 Atem- und Herzstillstand (Rellensmann et al. 2011)

### 1.1.2 Hypothermie

Bei Ertrinkungsunfällen in kaltem Wasser spielt neben der Hypoxie auch die akzidentelle Hypothermie eine wichtige Rolle. Dabei werden mit abnehmender Körperkerntemperatur verschiedene Stadien durchlaufen (**Abb. 2**). Beim Abkühlen auf 36-33 °C kommt es zunächst zur Sympathikusaktivierung und Kältegegenregulation mit maximaler peripherer Vasokonstriktion und Kältezittern der Skelettmuskulatur („Erregungsstadium“). Dies bewirkt eine Steigerung der Stoffwechselrate auf das Fünffache des Grundumsatzes. Sinkt die Körpertemperatur weiter auf 33-30 °C, setzt das „Erschöpfungsstadium“ ein, das mit einer langsamen Eintrübung des Bewusstseins und beginnenden Atemdepression einhergeht. Bei weiterer Auskühlung unter 30 °C folgen ein Erlöschen der Reflexe und das Einsetzen von kälteinduziertem Kammerflimmern („Lähmungsstadium“). Bleiben diese meist tödlich endenden Herzrhythmusstörungen aus und sinkt die Körpertemperatur unter 27 °C, kommt es zur progredienten Reduktion der Vitalfunktionen („vita minima“) bis hin zur Asystolie und dem so genannten „Kältetod“ (Singer und Bretschneider 1990a, 1990b, Gries 2001, Singer 2007a, 2007b).



**Abb. 2** | Stadieneinteilung und pathophysiologischer Geschehensablauf der akzidentellen Hypothermie (Singer 2007a)

Während generell gilt, dass die Überlebenszeit bei Ein- oder Untertauchen in kaltem Wasser mit abnehmender Wassertemperatur sinkt, kann eine Hypothermie auch protektive Effekte – ähnlich einer klinisch induzierten Hypothermie - haben. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Hypothermie vor dem Sauerstoffmangel einsetzt, was etwa bei Kleinkindern nach Sturz in eiskalte Gewässer der Fall sein kann (Olfe et al. 2018). Diese und andere Besonderheiten führen bei Kindern dazu, dass sie von einer Hypothermie mehr profitieren als Erwachsene (vgl. Abschnitt 1.4 Grenzfälle).

### 1.1.3 Aspirationspneumonie

Neben der Hypoxie und der Hypothermie stellt die Aspirationspneumonie ein weiteres relevantes Risiko von Ertrinkungsunfällen dar. Geschätzt wird, dass es in 85 % der Fälle zum „feuchten“ Ertrinken mit Wasseraspiration und in 15 % der Fälle zu einem „trockenen“ Ertrinken mit reflektorischem Laryngospasmus kommt (Lunetta et al. 2004). Nicht selten findet aber spätestens im Rahmen der Wiederbelebensmaßnahmen doch noch eine Aspiration von verschlucktem Wasser und anderem Mageninhalt statt (Orlowski und Szpilman 2001). Auch der Unterteilung in Süß- und Salzwasserertrinken wird heutzutage keine größere Bedeutung für den klinischen Verlauf mehr beigemessen, da trotz unterschiedlicher pathophysiologischer Mechanismen in beiden Fällen ein ARDS (Acute Respiratory Distress Syndrome) die gemeinsame Endstrecke

darstellt. Für einen erkennbaren klinischen Unterschied wären unrealistisch große ingestierte oder aspirierte Volumina notwendig (Orlowski und Szpilman 2001).

Die Manifestation einer schweren Aspirationspneumonie ist auch nach scheinbar glimpflich ausgegangenen Ertrinkungsunfällen möglich, tritt dann aber häufig erst nach einigen Stunden auf („sekundäres Ertrinken“). Daher gilt die Empfehlung, dass auch Patienten, die keine oder nur wenig Symptome zeigen, für ca. 24 Stunden stationär überwacht werden sollten (Olfe et al. 2018). Typische klinische Anzeichen für eine drohende Aspirationspneumonie bzw. ein sich entwickelndes ARDS sind eine zunehmende Atemnot bei gleichzeitig steigendem Sauerstoffbedarf, radiologisch sind dystelektatische und infiltrative Veränderungen im Thorax-Röntgenbild zu finden. Kommt es zu einer progredienten Verschlechterung der Atmung, muss ggf. eine Intubation und Beatmung erfolgen, in Einzelfällen kann eine extrakorporale Membranoxygenierung (ECMO) notwendig werden (Singer 2007a).

## 1.2 Epidemiologie

Nach dem „Global Report on Drowning“, den die WHO 2014 herausbrachte, gehört Ertrinken zu den zehn häufigsten Todesursachen weltweit. Kinder sind dabei besonders gefährdet (World Health Organization 2014).

In Deutschland ist dem statistischen Bundesamt zufolge Ertrinken die zweithäufigste Ursache für tödliche Unfälle im Kinder- und Jugendalter (Schubert et al. 2004). Im Jahr 2019 sind nach dem Bericht der Deutschen Lebens-Rettungs-Gesellschaft (DLRG e.V. 2020) bundesweit 417 Menschen ertrunken. Dies sind zwar 17,8 % weniger als im Vorjahr, insgesamt ist die Zahl der Ertrinkungsunfälle über die letzten Jahre hinweg jedoch steigend (DLRG e.V. 2018). Besonders betroffen seien Kinder und junge Menschen. Problematisch sei die zurückgehende Schwimmfähigkeit der Kinder. Eine besondere Risikogruppe stellten in den vergangenen Jahren außerdem Kinder aus Einwandererfamilien dar (DLRG e.V. 2016, 2017).

Der Unfallhergang ist abhängig von der Altersgruppe. Ertrinkungsunfälle im Säuglings- und Kleinkindesalter ereignen sich meist im häuslichen Umfeld, z.B. in Badewanne, Gartenteich oder Pool (Wintemute 1990, Schubert et al. 2004, Burford et al. 2005, Thüner und Seifrin 2006, Weiss et al. 2010, Centers for Disease Control and Prevention 2012, Bugeja und Franklin 2013). Hier führen vor allem eine unzureichende Sicherung der Gefahrenquellen und eine mangelnde Beaufsichtigung durch die Eltern zu den tra-



gischen Ereignissen. Dass bereits geringste Wassertiefen und wenige Momente der Unachtsamkeit ausreichend sind, wird meist unterschätzt. Ein typisches Unfallszenario im Schulalter ist das Verunglücken in Frei- und Schwimmbädern, wenn die Kinder als ungeübte Schwimmer in chaotischen Situationen die Selbstkontrolle verlieren. Bei Jugendlichen spielt eine Selbstüberschätzung der eigenen Fähigkeiten in Verbindung mit Alkoholkonsum eine wichtige Rolle. Sie verunfallen vermehrt beim Bootfahren oder Schwimmen in offenen Gewässern (Howland et al. 1996, Schubert et al. 2004, Burford et al. 2005, Thüner und Sefrin 2006, Weiss et al. 2010, Centers for Disease Control and Prevention 2012).

Zusätzliche Ursachen für Ertrinkungsunfälle können Vorerkrankungen wie Epilepsien und Herzrhythmusstörungen oder auch Fremdeinwirkungen, etwa im Zusammenhang mit Kindesmisshandlung, sein (Tester et al. 2011, Franklin et al. 2017, Kennedy et al. 2020).

### 1.3 Prognosefaktoren

Uneinigkeit herrscht über die (prä-)klinischen Faktoren, die ein günstiges bzw. ungünstiges Outcome prognostizieren. Betrachtet man die größten Arbeiten der letzten 10 Jahre zu diesem Thema (**Tab. 1**), so wird deutlich, dass in fast allen die Submersionszeit als dominierender Prädiktor genannt wird. Demzufolge sind die Überlebenschancen der Patienten, die nur kurz untergetaucht waren, sehr gut, während Patienten mit langen Submersionszeiten nur mit geringer Wahrscheinlichkeit unversehrt bleiben. Einige weitere Prognosefaktoren sind vorgeschlagen worden, haben sich aber nicht allgemein durchgesetzt.

**Tabelle 1 | Prädiktoren für das Outcome nach Ertrinkungsunfällen - Übersicht der größten Studien aus den letzten 10 Jahren**

<b>Autor, Jahr, Land</b>	<b>Studienpopulation, Beobachtungszeitraum</b>	<b>Alter (ø), Geschlecht</b>	<b>Outcome</b>	<b>Signifikante Prädiktoren fürs Outcome</b>
Nitta et al., 2013, Japan	1737 Patienten (jeden Alters) mit OHCA nach Ertrinkungsunfall, 1999-2010	76 Jahre; 49,9 % m 51,1 % w	Überleben nach einem Monat: 0-4 Jahre: 27,8 % 5-17 Jahre: 9,4 % >18 Jahre: 1,7 %	Alter (0-4 Jahre) günstig; Beobachtet; Kammerflimmern als initialer Herzrhythmus

Quan et al., 2014, USA	1094 Patienten (jeden Alters); Ertrinkungsunfälle in offenen Gewässern, 1975-1996	27 Jahre; 81 % m 19 % w	74 % verstorben; 4 % SND	Submersionszeit (<6/6-10/>10 Min.) Alter (0-4 Jahre)
Vähätalo et al., 2014, Finnland	58 Patienten (< 16 Jahre), die nach Ertrinkungsunfall auf der Intensivstation behandelt wurden und/oder verstorben sind, 1997-2007	5,9 Jahre; 58,6 % m 41,4 % w	45 % verstorben	Submersionszeit (2,5 vs. 15 Min.); GCS; Blutglucose; arterieller pH-Wert; Base Excess
Kieboom et al., 2015, Niederlande	160 Patienten (< 16 Jahre) mit Herzstillstand und Hypothermie nach Ertrinkungsunfall, 1993-2012	2 Jahre; 73 % m 27 % w	73 % verstorben; 6 % vegetativer Status; 11 % SND	Submersionszeit (</> 25 Min.); Time to ROSC (</> 30 Min.); günstig: Winter; Bradykardie
Farr et al., 2015, USA	281 Patienten (< 18 Jahre), die nach Ertrinkungsunfall im Krankenhaus aufgenommen wurden, 2003-2009	3 Jahre; 66 % m 34 % w	7 % verstorben; 2 % vegetativer Status oder SND	Erbrechen
Joanknecht et al., 2015, Südafrika	75 Patienten (< 14 Jahre), die mit der Diagnose "Ertrinken" oder "Beinahe-Ertrinken" im Krankenhaus aufgenommen wurden, 2007-2013	2,2 Jahre; 70,7 % m 29,3 % w	10,7 % verstorben; 5,3 % bleibende neurologische Defizite	Submersionszeit (</> 5 Min.); Time to ROSC; ungünstig: Keine Pupillenreaktion am Unfallort; Asystolie; GCS <5; Hypothermie; schwere Azidose
Mtaweh et al., 2015, USA	60 Patienten (≤ 21 Jahre), die mit der Diagnose „Ertrinken/Submersion/Immersion“ im Krankenhaus aufgenommen wurden, 2001-2012	2,4 Jahre; 60 % m 40 % w	14 % verstorben;  28 % schlechtes neurologisches Outcome	Asystolie + Apnoe ungünstiger als „nur“ Apnoe
Shenoi et al., 2016, USA	211 Patienten (<18 Jahre) nach Ertrinkungsunfall im Swimming-Pool, 2003-2007	4 Jahre; 68 % m 32 % w	23 % verstorben;  2 % schlechtes neurologisches Outcome	Submersionszeit (</> 5 Min.);  günstig: Wochenende; Hospitalisierung
Quan et al., 2016, USA	Metaanalyse (24 Studien), 1979-2015	---	---	Submersionszeit (≤ 5-6/ ≤ 10-11/ ≤ 15-25 Min.)

Al-Qurashi et al., 2019, Saudi-Arabien	51 Patienten ( $\leq 14$ Jahre), die nach Ertrinkungsunfall im Krankenhaus aufgenommen wurden, 2005-2015	57 % < 6 Jahre; 66,7 % m 33,3 % w	4 % verstorben; 2 % SND	Submersionszeit ( $\leq / > 5$ Min.); günstig: CPR am Unfallort; GCS >4; pH >7; Körpertemperatur >35°C; Blutzucker <180 mg/dl; Dauer des Transports ins Krankenhaus <5 Min.; ungünstig: Behandlung auf der Intensivstation mit Beatmung
Raess et al., 2020, Schweiz	80 Patienten ( $\leq 18$ Jahre), die nach Ertrinkungsunfall im Krankenhaus behandelt wurden, 2000-2015	3,68 Jahre; 64 % m 36 % w	8,75 % im Krankenhaus verstorben, weitere 5 % im Langzeitverlauf an Komplikationen verstorben; 30 % SND	(bezogen auf Patienten mit SND) Submersionszeit ( $\leq / > 5$ Min.); ungünstig: GCS <4; Körpertemperatur $\leq 32^\circ\text{C}$ ; pH $\leq 7$ ; Blutglucose $\geq 15$ mmol/l; Laktat $\geq 14$ mmol/l; Infiltrate im Röntgenthorax

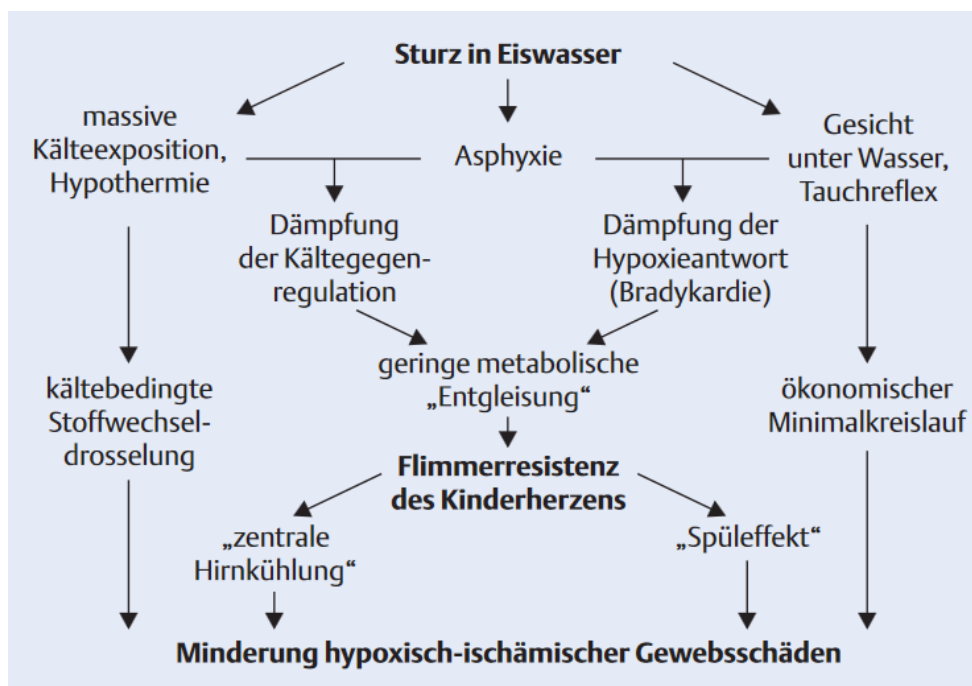
CPR: kardiopulmonale Reanimation; GCS: Glasgow Coma Scale; OHCA: Out of Hospital Cardiac Arrest; ROSC: Return of Spontaneous Circulation; SND: schwere neurologische Defizite

#### 1.4 Grenzfälle

Außerhalb der vorgenannten typischen Konstellationen gibt es vereinzelte „Grenzfälle“, in denen das Outcome nicht zum Unfallhergang zu passen scheint.

Hierzu gehören diejenigen Fälle, in denen meist junge, scheinbar kerngesunde Erwachsene beim Baden plötzlich untergehen und trotz sehr kurzer Submersionszeiten nur noch tot geborgen werden können. Die Ursachen sind ungeklärt; es werden letale Arrhythmien, möglicherweise auf der Basis unerkannter kardialer Erregungsbildungs-/leitungsstörungen und ausgelöst durch eine Co-Aktivierung des sympathischen und parasympathischen Nervensystems („autonomer Konflikt“), vermutet (Shattock und Tipton 2012, Tipton 2014).

Umgekehrt gibt es – speziell von Kleinkindern nach Sturz in eiskalte Gewässer – auch Fallbeschreibungen, denen zufolge Ertrinkungsunfälle trotz sehr langer Submersionszeiten mit gutem neurologischen Outcome überlebt wurden (Hughes et al. 2002, Suominen et al. 2010, Romlin et al. 2015). Hierfür dürften verschiedene Faktoren ausschlaggebend sein (**Abb. 3**): Zum einen bewirkt das größere Verhältnis zwischen Körperoberfläche und -volumen eine schnellere Abkühlung, die dem Sauerstoffmangel „vorrauseilt“ und rasch zu einer kältebedingten Überwindung der Kältegegenregulation führt (Singer 2007a). Zusätzlich wird durch den frühkindliche Tauchreflex eine bradykarde Kreislaufzentralisation („Minimalkreislauf“) ausgelöst, wodurch der Sauerstoffverbrauch weiter gesenkt wird (Bierens et al. 2016). Des Weiteren weisen Kinder eine geringere Flimmerneigung des Herzens auf, was dazu führt, dass die zerebrale Durchblutung bei ihnen länger erhalten bleibt als bei Erwachsenen, die bereits bei Körpertemperaturen ein kälteinduziertes Kammerflimmern erleiden können, welche noch nicht nennenswert vor Sauerstoff-Mangel schützen.



**Abb. 3** | Schema zur Erklärung der günstigen Wiederbelebungs Aussichten von Kleinkindern nach Ertrinkungsunfall in eiskalten Gewässern. Durch das Zusammenspiel verschiedener Faktoren geht die kältebedingte Stoffwechsell-drosselung der Entwicklung eines Sauerstoffmangels voraus und übt dadurch einen protektiven Effekt aus (Singer 2007a).

## 1.5 Fragestellungen

Ziel dieser Studie ist es, die Ertrinkungsunfälle im Kindes-Jugendalter, die sich in einer großen deutschen Metropolregion (Hamburg) über einen 10-Jahres-Zeitraum zugetragen haben, möglichst vollständig (retrospektiv) auszuwerten und zu der bisher vorliegenden internationalen Literatur in Beziehung zu setzen. Im Einzelnen sollen dabei folgende Fragen beantwortet werden:

- a) Lassen sich in diesem Kollektiv ähnliche Merkmale im Unfallgeschehen (z.B. was die Jahreszeitabhängigkeit der Unfallhäufigkeit oder die Geschlechtsabhängigkeit der ertrinkungsassoziierten Mortalität anbelangt) nachweisen, wie sie aus anderen Studien berichtet wurden? Gibt es ggf. „großstadtspezifische“ Charakteristika?
- b) Sind bestimmte situative (d.h. das Unfallszenario und die Rettungsabläufe betreffende) oder medizinische (z.B. mit Laborwerten oder Therapiemaßnahmen verbundene) Prädiktoren erkennbar (und ggf. als statistisch signifikant verifizierbar), die ein günstiges oder ungünstiges Outcome vorhersagen? Stimmen diese mit bisher beschriebenen Prognosefaktoren überein?
- c) Mit welcher Häufigkeit kommen „Grenzfälle“ vor, in denen entweder trotz sehr kurzer Submersionszeit ein tödliches Outcome oder trotz sehr langer Submersionszeit ein günstiges Outcome (Überleben ohne schweres neurologisches Defizit) resultierte? Zeichnen sich solche „Grenzfälle“ durch besondere Rahmenbedingungen aus?

## 2 Material und Methoden

Die retrospektive Analyse umfasst Ertrinkungsunfälle von Kindern und Jugendlichen, die sich in der Metropolregion Hamburg in dem Zeitraum vom 01.01.2007 bis zum 31.12.2016 ereignet haben. Eingeschlossen wurden Kinder und Jugendliche bis zum vollendeten 18. Lebensjahr, also bis zum 18. Geburtstag, mit der ICD-10 Diagnose T75.1 „Ertrinken und nicht tödliches Untertauchen“, die in der Folge in einer der Hamburger Kinderkliniken in Behandlung waren oder nach Versterben am Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf (UKE) obduziert wurden.

Die Daten stammen aus folgenden fünf Krankenhäusern:

- **Asklepios Klinik Nord-Heidberg (AK Nord):**  
24 Fälle (in 8 Fällen keine Akten verfügbar)
- **Altonaer Kinderkrankenhaus (AKK):**  
28 Fälle
- **Helios Mariahilf Klinik Hamburg-Harburg:**  
19 Fälle (2 Verlegungen ins UKE)
- **Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (UKE):**  
74 Fälle, davon:
  - 32 aus der Kinderklinik (in 5 Fällen keine Akten verfügbar)
  - 7 aus dem Universitären Herzzentrum (UHZ) mit ECMO-Behandlung
  - 35 aus dem Institut für Rechtsmedizin (9 Fälle doppelt)
- **Katholisches Kinderkrankenhaus Wilhelmstift:**  
23 Fälle (in 3 Fällen keine Akten verfügbar)

**Tabelle 2 | Anzahl der Ertrinkungsunfälle nach Kliniken (n=141)**

Klinik	Anzahl (n)	%
Asklepios Klinik Nord-Heidberg	16	11,35
Altonaer Kinderkrankenhaus	28	19,86
Helios Maria-Hilf Klinik	17	12,06
Universitätsklinikum Eppendorf Kinderklinik + UHZ	34	24,11
Universitätsklinikum Eppendorf Rechtsmedizin	26	18,44
Katholisches Kinderkrankenhaus Wilhelmstift	20	14,18
<b>gesamt</b>	<b>141</b>	<b>100</b>

Als Grundlage für die Erstellung der Datenbanken dienten Arztbriefe, Patientenakten sowie Notarztprotokolle. Insgesamt konnten 141 Fälle in die Datenanalyse aufgenommen werden.

Für diese Analyse wurde zunächst ein Datenerhebungsbogen (vgl. Anhang 8.1) entwickelt, der sich an den „Utstein-Style Recommended Guidelines for Uniform Reporting of Data from Drowning-Related Resuscitation“ (Idris et al. 2017) orientiert. Dieser Datenerhebungsbogen enthielt insgesamt 45 Items:

- **Demographischen Daten:** Alter, Geschlecht, Nationalität, Vorerkrankungen des Patienten
- **Unfallort und -hergang:** Unfalldatum, Monat, Wochentag, Uhrzeit, Art des Gewässers, Wassertemperatur, Submersionszeit, Immersionszeit (Gesamtdauer, die der Patient sich im Wasser befindet), Zeit bis zur Bergung
- **Erstversorgung am Unfallort:** Ersthelfer, Kardiopulmonale Reanimation (CPR), wenn ja: Laien/professionelle Helfer, Notwendigkeit eines Notarzteinsatzes, Gabe von Sauerstoff, Katecholaminen, Notwendigkeit einer Intubation und Defibrillation
- **Präklinische Befunde:** Glasgow Coma Scale (GCS), Herzfrequenz, Atmung, Körpertemperatur, Time to ROSC (Return of Spontaneous Circulation)
- **Befunde in der Notaufnahme:** Glasgow Coma Scale (GCS), Kreislauf, Blutdruck, Atmung, Körpertemperatur
- **Maßnahmen in der Klinik:** Notwendigkeit einer Behandlung auf der Intensivstation, Beatmung, Gabe von Katecholaminen, Wiedererwärmung an der Herz-Lungenmaschine, Einsatz einer ECMO (Extrakorporale Membranoxygenierung), induzierte Hypothermie
- **Laborwerte:** minimaler pH-Wert, maximaler Kaliumwert, maximaler Laktatwert
- **Outcome:** Dauer des Klinikaufenthaltes, Komplikationen, Überleben des Patienten, wenn ja: Neurologisches Defizit in der Folge bzw. Verlegung in eine Rehabilitationsklinik, wenn nein: Todesursache

Die Datenbank wurde mithilfe von Microsoft Excel (MS Office 2010, Microsoft Corp., Redmond/Wash., USA) erstellt. Alle Daten wurden anonymisiert aufgenommen. Nicht

in die Untersuchung einbezogen werden konnten die Items „Nationalität“, „Wassertemperatur“, „Immersionszeit“ sowie „Zeit bis zur Bergung“ aufgrund mangelnder Angaben.

Die statistische Auswertung erfolgte mit Microsoft Excel sowie SPSS Statistics 25 (IBM Corp., Armonk, N.Y., USA). Eine deskriptive Analyse beinhaltete eine einfache Häufigkeitsverteilung sowie die Ermittlung des Zusammenhangs ausgewählter Parameter in Bezug aufs Überleben mittels Chi-Quadrat-Test beziehungsweise Likelihood Ratio Chi Square sowie Welsh's T-Test. Dabei wurden p-Werte  $<0,05$  als signifikant betrachtet. Basierend auf diesen Analysen wurde eine multivariate Statistik mit logistischer Regression erstellt. Da die Daten stark separiert waren, wurde eine Firth Bias Korrektur benutzt, um ein Verzerrten der Schätzer zu vermeiden.

Die Studie wurde von der Ethik-Kommission der Ärztekammer Hamburg unter dem AZ PV5906 zustimmend begutachtet.



### 3 Ergebnisse

Zusätzlich zu den hier aufgeführten Ergebnissen zur Häufigkeitsverteilung befindet sich im Anhang eine weitere Sortierung der Parameter nach den Kriterien „überlebt“ und „verstorben“.

#### 3.1 Demographische Daten

##### Alter

Das jüngste Kind war 3 Monate alt, das älteste 17 Jahre. Es ergab sich ein Durchschnittsalter (arithmetischer Mittelwert) von 5 Jahren und 8 Monaten. In 3 Fällen fehlten die Angaben zum Alter.

Für eine bessere Übersichtlichkeit wird im Folgenden eine Einteilung in die Altersgruppen Säuglinge (0 Jahre), Kleinkinder (1 bis 3 Jahre), Vorschulkinder (4 bis 6 Jahre), Grundschulalter (7 bis 11 Jahre) und Adoleszenten (12 bis 17 Jahre) benutzt. Die meisten Ertrinkungsunfälle ereigneten sich im Kleinkind- und Vorschulalter. 75 der 138 Kinder und Jugendlichen (54,3 %) waren zwischen 1 und 6 Jahren alt. Kleinkinder hatten einen Anteil von 39,9 % (55/138), während der Anteil im Vorschulalter bei 22,5 % (31/138) lag (**Tab. 3**). Kinder im Grundschulalter hatten mit 12,3 % (17/138) den geringsten Anteil der insgesamt erfassten Fälle. Unter den 10-Jährigen gab es keinen dokumentierten Ertrinkungsunfall. Zwischen dem 13. und 18. Lebensjahr wurden 27 Fälle dokumentiert (19,6 %).

Wie **Tab. 36** im Anhang zu entnehmen ist, war die Mortalität im Säuglingsalter am höchsten mit 50,0 % (4/8), gefolgt vom Adoleszentenalter mit 44,4 % (12/27) und Kleinkindalter mit 23,6 % (13/55). Von den Verstorbenen waren 11,4 % (4/35) Säuglinge, 37,1 % (13/35) Kleinkinder und 34,3 % (12/35) Adoleszenten. Der arithmetische Mittelwert für überlebte Ertrinkungsunfälle lag bei 5,1 und für nicht überlebte bei 6,2 Jahren.

**Tabelle 3** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach Altersgruppen (n=141)

Säuglinge	Kleinkindalter	Vorschulalter	Grundschulalter	Adoleszenten	k. A.
8	55	31	17	27	3

## Geschlecht

Von allen 141 Kindern waren 88 (62,4 %) Jungen und 53 (37,6 %) Mädchen. Insgesamt ergibt sich somit ein Verhältnis von Jungen zu Mädchen von 1,7:1 (**Tab. 4**).

Im Kleinkindalter waren Jungen mit 37 Fällen etwa doppelt so häufig betroffen wie Mädchen mit 18 Fällen (2,1:1). Im Vorschulalter ergab sich mit 17 Jungen und 14 Mädchen ein Geschlechterverhältnis von 1,1:1. Im Grundschulalter waren es sogar etwas weniger Jungen als Mädchen im Verhältnis 0,9:1 (8/9). Im Adoleszentenalter waren es mit 21 vs. 6 Fällen mehr als drei Mal so viele Jungen wie Mädchen (3,5:1).

Wie **Tab. 37** im Anhang zeigt, verstarben von den männlichen Betroffenen 33,0 % (29/88), bei den weiblichen waren es 17,0 % (9/53). Von den Verstorbenen waren 76,3 % (29/38) Jungen, der Anteil bei den Überlebenden lag bei 57,3 % (59/103).

**Tabelle 4 | Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach Altersgruppe und Geschlecht (n=141)**

Altersgruppe	männlich	weiblich	Verhältnis m:w	gesamt (%)
< 1	3	5	0,6:1	8 (5,8 %)
1-3 Jahre	37	18	2,1:1	55 (39,9 %)
4-6 Jahre	17	14	1,1:1	31 (22,5 %)
7-11 Jahre	8	9	0,9:1	17 (12,3 %)
12-17 Jahre	21	6	3,5:1	27 (19,6 %)
k. A.	2	1		
gesamt	<b>88</b>	<b>53</b>	<b>1,7:1</b>	<b>141</b>

## Vorerkrankungen

Insgesamt waren bei 24,1 % (26/108) der Kinder Vorerkrankungen bekannt (**Tab. 5**). Diese entfielen mit je 12,0 % (13/108) zur Hälfte auf chronisch-neurologische bzw. epileptische sowie auf „andere“ Vorerkrankungen, wobei chronische Herzerkrankungen nicht vertreten waren. In 33 Fällen fehlten die Angaben zu Vorerkrankungen.

Wie in **Tab. 38** im Anhang ersichtlich, verstarben von den Kindern mit Vorerkrankungen 30,8 % (8/26), während der Anteil an Verstorbenen bei den Kindern ohne Vorerkrankungen bei 8,5 % (7/82) lag. Von den Kindern, bei denen eine chronisch neurologische Erkrankung bekannt war, verstarben 30,0 % (3/10). Lag eine epileptische Er-

krankung vor, verstarben alle Kinder. Von den verstorbenen Kindern hatten 53,3 % (8/15) eine oder mehrere Vorerkrankungen.

**Tabelle 5** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach Vorerkrankungen (n=141)

chronisch-neurologische Erkrankungen	epileptische Erkrankungen	andere	keine	k. A.
10	3	13	82	33

### 3.2 Unfallzeitpunkt und Setting am Unfallort

#### Jahreszeit

In den Sommermonaten Juni bis August ereigneten sich mit 43,5 % (60/138) die meisten Ertrinkungsunfälle, in den Frühjahrsmonaten zwischen März und Mai waren es 24,6 % (34/138, **Tab. 6**). Der Juli war mit 23 Fällen der Monat mit den meisten Unfällen (16,7 %). Am wenigsten Kinder verunglückten in den Wintermonaten von Dezember bis Februar mit einem Anteil von 12,3 % (17/138). Hier war der Februar mit 3 Fällen der Monat mit dem geringsten Risiko für einen Ertrinkungsunfall. Im Herbst zwischen September und November waren es 19,6 % (27/138). In 3 Fällen fehlten die Angaben zum Unfallmonat.

Der Anteil an Verstorbenen war in den Wintermonaten von Dezember bis Februar mit 52,9 % (9/17) am größten, gefolgt von den Frühlingsmonaten März bis Mai mit 32,4 % (11/34, vgl. **Tab. 39** im Anhang). In den Sommermonaten von Juni bis August verstarben 21,7 % (13/60), während in den Herbstmonaten von September bis November die Mortalität mit 11,1 % (3/27) am geringsten war. Von den 36 tödlich verlaufenen Ertrinkungsunfällen ereigneten sich 25,0 % im Winter (9/36), 30,6 % im Frühling (11/36), 36,1 % im Sommer (13/36) und 8,3 % im Herbst (3/36).

**Tabelle 6** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach Monaten (n=141)

Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	k. A.
5	3	6	16	12	17	23	20	13	7	7	9	3

#### Wochentag

Das höchste Risiko für Ertrinkungsunfälle bestand an Sonntagen (29/138), das niedrigste an Dienstagen (7/138, **Tab. 7**). Insgesamt waren sie mit durchschnittlich 26,5 Fällen pro Tag deutlich häufiger am Wochenende (n=53) als an den Wochentagen von

Montag bis Freitag mit durchschnittlich 17 Fällen pro Tag (n=85). 38,4 % (53/138) der Ertrinkungsunfälle fanden an Samstagen und Sonntagen statt. In 3 Fällen gab es keine Angaben zum Wochentag.

Wie in **Tab. 40** im Anhang ersichtlich, verstarben am Wochenende 30,2 % (16/53) der Verunfallten. An den Wochentagen von Montag bis Freitag waren es 22,6 % (20/85). Am Dienstag und Donnerstag war das Risiko zu versterben am höchsten (42,9 % bzw. 44,4 %). 44,4 % (16/36) der tödlichen Ertrinkungsunfälle ereigneten sich am Wochenende.

**Tabelle 7** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach Wochentag (n=141)

Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Samstag	Sonntag	k. A.
20	7	16	18	24	24	29	3

### Uhrzeit

Mit 43,8 % (39/89) erfolgten die meisten Ertrinkungsunfälle am Nachmittag zwischen 15:00 und 18:00 Uhr (**Tab. 8**). Zwischen 12:00 und 15:00 Uhr waren es 25,8 % (23/89) und am Abend 20,2 % (18/89). Am späten Abend von 21:00 bis 24:00 Uhr (3,4 %, 3/89) und am Vormittag (6,7 %, 6/89) war das Risiko, einen Ertrinkungsunfall zu erleiden, gering. Zwischen Mitternacht und 9:00 Uhr morgens ereignete sich gar kein Unfall. Der früheste Zeitpunkt war 10:00 Uhr, der späteste 23:00 Uhr. In 52 Fällen war nicht nachvollziehbar, zu welcher Uhrzeit der Unfall geschehen war.

Wie aus **Tab. 41** im Anhang zu entnehmen, überlebten am Vormittag zwischen 9:00 und 12:00 Uhr alle 6 Kinder den Ertrinkungsunfall. Am höchsten war die Mortalität in der Zeit von 21:00 bis 24:00 Uhr mit 33,3 % (2/3) und am Abend zwischen 18:00 und 21:00 Uhr mit 27,8 % (5/18). Von den tödlich verlaufenen Unfällen fanden 25,0 % zwischen 12:00 und 15:00 Uhr (4/16), 31,3 % nachmittags (5/16), weitere 31,3 % abends (5/16) und 12,5 % zwischen 21:00 und 24:00 Uhr (2/16) statt.

**Tabelle 8** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach Tageszeiten (n=141)

09:00-12:00 Uhr	12:00-15:00 Uhr	15:00-18:00 Uhr	18:00-21:00 Uhr	21:00-24:00 Uhr	00:00-09:00 Uhr	k. A.
6	23	39	18	3	0	52

## Art des Gewässers

Um die Unfallorte in Bezug auf Beaufsichtigung und Wassertemperatur voneinander abgrenzen zu können, wurden sie in die Kategorien „offene Gewässer“ (Bach, Fluss, See, Meer, Hafenbecken, Kanal, Mergelkuhle, Klärgrube, Tümpel, Wassergraben, Wasserlake, Wasserlauf), „Badeanstalten“ (Schwimmbad, Therapiebecken) und „häusliches Umfeld“ (Badewanne, Gartenteich, Pool, Planschbecken) eingeteilt. Knapp die Hälfte aller Ertrinkungsunfälle erfolgte mit einem Anteil von 44,5 % (61/137) in Badeanstalten (**Tab. 9**). Im häuslichen Umfeld waren es 29,2 % (40/137) und in offenen Gewässern 26,3 % (36/137). In 4 Fällen gab es keine Angaben zur Art des Gewässers.

8,2 % (5/61) der Ertrinkungsunfälle in Badeanstalten endeten tödlich, während es in offenen Gewässern 52,8 % (19/36) der Fälle waren (**Tab. 42** im Anhang). Im häuslichen Umfeld lag der Anteil an Verstorbenen bei 25,0 % (10/40). 55,8 % (19/34) aller tödlich verlaufenen Ertrinkungsunfälle ereigneten sich in offenen Gewässern, 29,4 % (10/34) im häuslichen Umfeld und 14,7 % (5/34) in Badeanstalten.

**Tabelle 9** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach Unfallort (n=141)

offene Gewässer	Badeanstalt	häusliches Umfeld	k. A.
36	61	40	4

## Submersionszeit

80,6 % (54/67) der Kinder waren weniger als 5 Minuten unter Wasser (**Tab. 10**). In 2 Fällen betrug die Untertauchzeit zwischen 5 und 15 Minuten, in 5 Fällen zwischen 15 und 30 Minuten. Drei (4,5 %) der Kinder waren länger als 30 Minuten unter Wasser. In 74 Fällen wurden keine Angaben zur Submersionszeit gemacht.

Wie **Tab. 43** im Anhang darstellt, hatten von den 55 Überlebenden 51 eine Submersionszeit von unter 5 Minuten. Drei Kinder waren gar nicht vollständig untergetaucht. Ein Kind überlebte den Ertrinkungsunfall, obwohl es mehr als 30 Minuten unter Wasser war. Von den Kindern, die den Ertrinkungsunfall nicht überlebten, hatten 3 eine Submersionszeit von weniger als 5 Minuten, bei 2 Kindern lag sie zwischen 5 und 15 Minuten, bei 5 Kindern zwischen 15 und 30 Minuten und in 2 Fällen bei mehr als 30 Minuten.

**Tabelle 10** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach Submersionszeiten (n=141)

keine Submersion	< 5 Minuten	5-15 Minuten	15-30 Minuten	> 30 Minuten	k. A.
3	54	2	5	3	74

### 3.3 Erstversorgung am Unfallort

#### Ersthelfer

Die Erste-Hilfe-Leistenden wurden in zwei Gruppen unterteilt: professionelle Helfer, zu denen ausgebildetes medizinisches Personal wie Ärzte, Pfleger und Sanitäter zählen, und Laien, die über keine solche Ausbildung verfügen. In der großen Mehrheit der Fälle wurde Erste Hilfe von Laien geleistet (92,6 %, 112/121, **Tab. 11**). In 7,4 % (9/121) waren die Ersthelfer professionell ausgebildetes Personal. 15 Kinder wurden bereits tot geborgen. In 5 Fällen fehlten die Angaben zu Ersthelfern.

**Tab. 44** im Anhang zeigt, dass in den Fällen, in denen die Erste Hilfe von Laien geleistet wurde, 83,9 % der Kinder (94/112) überlebten. Kamen ausschließlich professionelle Helfer zum Einsatz, überlebten 55,6 % (5/9). Von den Verstorbenen hatten 18,2 % (4/22) eine Ersthilfe durch professionelle Helfer und 81,8 % (18/22) durch Laien erhalten.

**Tabelle 11** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach Art der Ersthelfer (n=141)

Laien	professionelle Helfer	tot geborgen	k. A.
112	9	15	5

#### CPR (kardiopulmonale Reanimation) am Unfallort

In 50,0 % (63/126) der Fälle wurde, im Rahmen der Ersthilfe, zusätzlich eine kardiopulmonale Reanimation am Unfallort durchgeführt (**Tab. 12**). Insgesamt erhielten 52 Kinder eine Laienreanimation. Dies entspricht 41,3 % (52/126) aller Ertrinkungsunfälle. 85,2 % (52/61) der Reanimationen am Unfallort wurden von Laien durchgeführt. In 9 Fällen wurde ausschließlich von professionellen Helfern reanimiert. Dies sind 7,1 % (9/126) aller Ertrinkungsunfälle bzw. 14,8 % (9/61) aller Reanimationen.

Von den Kindern, bei denen eine kardiopulmonale Reanimation am Unfallort notwendig wurde, überlebten 65,1 % (41/63, vgl. **Tab. 45** im Anhang). Ohne CPR am Unfallort überlebten 98,4 % (62/63). 95,7 % der Verstorbenen hatten eine CPR erhalten (22/23).

Fand initial eine Laienreanimation statt, verstarben 30,8 % der Kinder (16/52, vgl. **Tab. 46** im Anhang). Wurde die Reanimation ausschließlich von professionellen Helfern durchgeführt, verstarben 55,6 % (5/9). Bei den Kindern, die überlebt haben, hatte in 90,0 % (36/40) der Fälle eine Laienreanimation stattgefunden. 76,1 % (16/21) der Verstorbenen wurden von Laien reanimiert.

**Tabelle 12 | Anzahl der Ertrinkungsunfälle mit und ohne CPR (n=141)**

	Anzahl (n)
keine CPR	63
CPR gesamt	63
davon:	
a) durch Laien:	52
b) nur durch medizinisches Personal:	9
k. A.	2
tot geborgen	15

### Notarzteinsatz

In 79,0 % (98/124) der Fälle kam ein Notarzt hinzu (**Tab. 13**). Eine zusätzliche Sauerstoffgabe erfolgte in 33,3 % (33/99). 23,9 % (28/117) der Kinder mussten in Folge des Ertrinkungsunfalls intubiert werden. Eine Behandlung mit Katecholaminen durch den Notarzt war bei 17 Kindern notwendig (15,0 %). Vier Kinder wurden defibrilliert, in 96,5 % (111/115) der Fälle war keine Defibrillation erfolgt.

War ein Notarzteinsatz notwendig, verstarben 23,5 % (23/98) der verunfallten Kinder (**Tab. 47** im Anhang). Gab es keinen, überlebten alle Kinder. Bei den Kindern, die den Ertrinkungsunfall nicht überlebten, war immer ein Notarzteinsatz erfolgt. 9,1 % (3/33) der Patienten, die Sauerstoff erhalten haben, sind verstorben (**Tab. 48** im Anhang). Von den Verstorbenen hatten 50,0 % Sauerstoff erhalten und 50,0 % nicht. Von den Patienten, die intubiert werden mussten, verstarben 50,0 % und 50,0 % überlebten (14/28, **Tab. 49** im Anhang). Von den Verstorbenen waren alle am Unfallort intubiert worden. War eine Katecholamingabe durch den Notarzt erfolgt, verstarben 64,7 % (11/17, **Tab. 50** im Anhang). Alle Verstorbenen hatten Katecholamine durch den Notarzt erhalten. War eine Defibrillation am Unfallort erfolgt, verstarb die Hälfte der betroffenen Patienten (2/4, **Tab. 51** im Anhang). 16,7 % (2/12) der Verstorbenen waren defibrilliert worden.

**Tabelle 13 | Erstversorgung am Unfallort von 141 Patienten nach Submersionsereignis**

	Notarzteinsatz	Sauerstoffgabe	Intubation	Katecholamingabe	Defibrillation
ja	98	33	28	17	4
nein	26	66	89	96	111
k. A.	2	27	9	13	11
tot geborgen	15	15	15	15	15

### 3.4 Präklinische Befunde

#### GCS (Glasgow Coma Scale) am Unfallort

In der überwiegenden Mehrheit der Fälle war der GCS entweder extrem niedrig oder extrem hoch: 30,7 % (23/75) der Kinder hatten einen GCS von 3, in 56,0 % (42/75) der Fälle wurden ein GCS von 15 angegeben (**Tab. 14**). Der durchschnittliche GCS (arithmetischer Mittelwert) lag bei 10,6 (797/75). Bei 51 Kindern gab es keine Angaben zum GCS.

Wie **Tab. 52** im Anhang zeigt, hatten alle Patienten, die verstorben sind, einen GCS von 3. Insgesamt sind von den 23 Kindern, bei denen am Unfallort ein GCS von 3 erhoben wurde, 12 verstorben (52,2 %).

**Tabelle 14 | Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach GCS am Unfallort (n=141)**

3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	tot geborgen	k. A.
23	1	1	2	0	0	0	1	0	1	1	3	42	15	51

#### Herzfrequenz am Unfallort

Bei 54,8 % (46/84) der verunfallten Kinder war die gemessene Herzfrequenz am Unfallort normal, bei 23,8 % (20/84) bestand eine Tachykardie und bei 3,8 % (3/84) eine Bradykardie (**Tab. 15**). In 15 Fällen (17,9 %) lag eine Asystolie vor. Bei 42 Kindern fehlten die Angaben zur Herzfrequenz.

Wie in **Tab. 53** im Anhang ersichtlich, verstarben 33,3 % (1/3) der Patienten mit Bradykardie im Verlauf, bei einer Tachykardie waren es 15,0 % (3/20). War keine Herzfrequenz messbar, starben 60,0 % (9/15). Von den Patienten, die normofrequent waren, ist keiner verstorben. Bei 69,2 % (9/13) der Verstorbenen lag eine Asystolie am Unfallort vor.



**Tabelle 15** / Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach Herzfrequenz\* am Unfallort (n=141)

normofrequent	Tachykardie	Bradykardie	Asystolie	tot geborgen	k. A.
46	20	3	15	15	42

\*altersadaptierte Referenzwerte nach: Kretz, FJ (2007) Anästhesie und Intensivmedizin bei Kindern: 99 Tabellen, 2. Aufl., Georg Thieme Verlag, Stuttgart, S.60, Tabelle 3.1a (Kretz 2007)

### Atmung am Unfallort

In 61,6 % (53/86) lag eine normale Atmung vor (**Tab. 16**). Bei 18,6 % (16/86) der Kinder bestand eine Dyspnoe, bei 19,8 % (17/86) eine Apnoe. In 40 Fällen gab es keine Daten zur Atmung am Unfallort.

70,6 % (12/17) der Kinder, bei denen eine Apnoe am Unfallort vorlag, verstarben (**Tab. 54** im Anhang). Die Kinder mit einer normalen Atmung bzw. Dyspnoe überlebten alle. Bei allen Verstorbenen lag eine Apnoe am Unfallort vor.

**Tabelle 16** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach Atmung am Unfallort (n=141)

Eupnoe	Dyspnoe	Apnoe	tot geborgen	k. A.
53	16	17	15	40

### Körpertemperatur am Unfallort

Bei den meisten Kindern (52,9 %, 18/34) wurde am Unfallort eine Körpertemperatur zwischen 34 und 36 °C gemessen (**Tab. 17**). 8,8 % (3/34) der Kinder und Jugendlichen waren normotherm. Bei 17,6 % (6/34) der Kinder lag die Körpertemperatur zwischen 32 und 34 °C und bei 8,8 % (3/34) zwischen 30 und 32 °C. In 4 Fällen (11,7 %) wurde eine Temperatur von unter 30 °C gemessen. Bei 92 Kindern fehlten die Angaben zur Körpertemperatur am Unfallort.

Alle Kinder, bei denen eine Körpertemperatur zwischen 36 °C und 37,5 °C gemessen wurde, überlebten (**Tab. 55** im Anhang). Von den leicht unterkühlten Patienten mit 34-36 °C Körpertemperatur verstarben 5,6 % (1/18). Bei einer Körpertemperatur zwischen 32 °C und 34 °C verstarben 16,7 % (1/6), zwischen 30 °C und 32 °C waren es 33,3 % (1/3) und bei unter 30 °C 25,0 % (1/4). Von den 4 Verstorbenen hatte jeweils einer eine Körpertemperatur zwischen 34-36 °C, 32-34 °C, 30-32 °C bzw. unter 30 °C.

**Tabelle 17** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach Körpertemperatur am Unfallort (n=141)

> 37,5 °C	36-37,5 °C	34-36 °C	32-34 °C	30-32 °C	< 30 °C	tot geborgen	k. A.
0	3	18	6	3	4	15	92

### Time to ROSC (Return of Spontaneous Circulation)

In 63 Fällen (57,8 %) war bereits initial ein Spontankreislauf vorhanden (**Tab. 18**). Bei 19,3 % (21/109) der Kinder kehrte der Spontankreislauf nach weniger als 5 Minuten zurück. In 6 Fällen (5,5 %) dauerte dies zwischen 5 und 30 Minuten, in 4 Fällen (3,7 %) zwischen 30 und 60 Minuten und bei 15 Kindern (13,8 %) war ein Spontankreislauf nach 60 Minuten noch nicht wieder eingetreten. In 17 Fällen fehlten die Angaben hierzu.

Wie der **Tab. 56** im Anhang zu entnehmen, verstarb keines der Kinder, bei denen initial ein Spontankreislauf vorhanden war oder die Zeit bis zur Rückkehr des Spontankreislaufes unter 5 Minuten lag. Dauerte dies zwischen 5 und 30 Minuten, so verstarben 16,7 % (1/6). Bei 30 bis 60 Minuten bis zum Eintritt eines Spontankreislaufes verstarben alle Kinder (4/4) und bei über 60 Minuten lag die Mortalität bei 73,3 % (11/15). Bei 6,3 % (1/16) der verstorbenen Kinder lag die Zeit bis zur Rückkehr des Spontankreislaufes zwischen 5 und 30 Minuten, bei 25,0 % (4/16) dauerte es 30 bis 60 Minuten und bei 68,8 % (11/16) länger als 60 Minuten.

**Tabelle 18** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach Länge der Time to ROSC (n=141)

initial Spontankreislauf	< 5 Min	5- 30 Min	30-60 Min	> 60 Min	tot geborgen	k. A.
63	21	6	4	15	15	17

## 3.5 Befunde in der Notaufnahme

### GCS bei Ankunft in der Notaufnahme

Bei Ankunft in der Klinik hatten 24 Kinder einen Punktwert auf der Glasgow Coma Scale von 3, bei 2 Kindern lag er bei 10, bei 2 weiteren bei 12, in 4 Fällen wurde ein GCS von 14 und in 71 Fällen einer von 15 erhoben (**Tab. 19**). Im Durchschnitt (arithmetisches Mittel) lag der GCS bei 11,7 (1201/103). Bei 23 Kindern fehlten die Angaben zum GCS.

Wie **Tab. 57** im Anhang zeigt, hatten alle Patienten, die verstorben sind, einen GCS von 3. Insgesamt verstarben von den 24 Kindern, bei denen bei Ankunft in der Notaufnahme ein GCS von 3 erhoben wurde, 12 (50,0 %).

**Tabelle 19** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach GCS in der Notaufnahme (n=141)

3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	tot geboren	k. A.
24	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	4	71	15	23

### Kreislauf bei Ankunft in der Notaufnahme

Der Kreislauf war bei 81,7 % der Patienten (94/115) bei Ankunft in der Klinik stabil (**Tab. 20**). 6,0 % (7/115) waren zentralisiert, bei 2,6 % (3/115) war der Kreislauf instabil und in 9,6 % (11/115) lag ein Kreislaufstillstand vor. In 11 Fällen gab es keine Angaben zum Kreislauf.

Von den Patienten, deren Kreislauf bei Ankunft in der Klinik stabil war, sind 3,2 % (3/94) verstorben (**Tab. 58** im Anhang). War der Kreislauf zentralisiert oder instabil, verstarb keiner. Lag ein Kreislaufstillstand vor, verstarben in der Folge 81,8 % der Betroffenen (9/11). 25,0 % (3/12) aller Verstorbenen hatten einen stabilen Kreislauf bei Ankunft in der Klinik, die übrigen 75,0 % einen Kreislaufstillstand.

**Tabelle 20** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach Zustand des Kreislaufs in der Notaufnahme (n=141)

stabil	zentralisiert	instabil	Stillstand	tot geboren	k. A.
94	7	3	11	15	11

### Blutdruck bei Ankunft in der Notaufnahme

In 64,8 % (70/108) der Fälle war der Blutdruck bei Ankunft in der Klinik normal (**Tab. 21**). 17,6 % (19/108) der Kinder waren hyperten und 7,4 % (8/108) hypoton. Bei 10,2 % (11/108) der verunfallten Kinder war der Blutdruck nicht messbar. Bei 18 Kindern wurden keine Angaben zum Blutdruck dokumentiert.

Wurde bei Ankunft in der Klinik ein normaler Blutdruck gemessen, verstarben 2,9 % (2/70, **Tab. 59** im Anhang). Von den Patienten, die hyperten waren, starben 5,3 % (1/19), von denen, die hypoton waren, verstarb keiner. War kein Blutdruck messbar, überlebten nur 18,2 % (2/11). Von den Verstorbenen hatten 16,7 % (2/12) einen nor-

malen Blutdruck, 8,3 % (1/12) waren hyperton und bei 75,0 % (9/12) war kein Blutdruck messbar.

**Tabelle 21** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach Höhe des Blutdrucks\* in der Notaufnahme (n=141)

normwertig	hyperton	hypoton	nicht messbar	tot geborgen	k. A.
70	19	8	11	15	18

\*altersadaptierte Referenzwerte nach: Neuhauser et al. 2011. Blood pressure percentiles by age and height from nonoverweight children and adolescents in Germany. Pediatrics 127, e978–e988. (Neuhauser et al. 2011)

### Atmung bei Ankunft in der Notaufnahme

In 66,1 % (76/115) der Fälle lag bei Ankunft in der Klinik eine Eupnoe vor. 9,6 % (11/115) der Kinder waren tachypnoeisch und 24,3 % (28/115) beatmet (**Tab. 22**). Bei 11 Kindern wurden keine Angaben zur Atmung dokumentiert.

Von den Kindern mit normaler Atmung oder einer Tachypnoe verstarb keines (**Tab. 60** im Anhang). Waren die Kinder beatmet, überlebten 57,1 % (16/28). Alle Kinder, die verstarben, waren bei Ankunft in der Klinik beatmet.

**Tabelle 22** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle nach Atmung in der Notaufnahme (n=141)

Eupnoe	Tachypnoe	beatmet	tot geborgen	k. A.
76	11	28	15	11

### Körpertemperatur bei Ankunft in der Notaufnahme

Bei Ankunft in der Klinik lag die Körpertemperatur in 60,0 % (57/94) der Fälle im Normbereich, weitere 18,1 % (17/94) waren mit 34-36 °C leicht unterkühlt (**Tab. 23**). Jeweils 3,5 % (4/94) der Kinder hatten eine Körpertemperatur über 37,5 bzw. zwischen 32 und 34 °C. In 3 Fällen (3,2 %) lag eine Unterkühlung von 32-34 °C vor und in 9,6 % (9/94) war die Körpertemperatur sogar auf unter 30 °C gefallen. Bei 32 Kindern war die Körpertemperatur bei Ankunft in der Klinik nicht dokumentiert.

Wie in **Tab. 61** im Anhang ersichtlich, überlebten alle Kinder mit einer Körpertemperatur über 37,5 °C. Bei einer Temperatur zwischen 36,0 und 37,5 °C verstarben 1,8 % (1/57). Lag die Körpertemperatur zwischen 34 und 36 °C, verstarben 17,6 % (3/17) der Kinder, zwischen 32 und 34 °C verstarben 25,0 % (1/4) und zwischen 30 und 32 °C waren es 33,4 % (1/3). Bei einer gemessenen Körpertemperatur von unter 30 °C war

die Wahrscheinlichkeit, zu versterben (55,6 %), höher als diejenige, zu überleben (44,4 %). Von den Verstorbenen hatten 45,5 % (5/11) eine Körpertemperatur von < 30 °C, 27,3 % (3/11) eine Temperatur von 34-36 °C und jeweils 9,1 % (1/11) eine Temperatur von 36-37, 32-34 bzw. 30-32 °C.

**Tabelle 23** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach Körpertemperatur in der Notaufnahme (n=141)

> 37,5 °C	36-37 °C	34-36 °C	32-34 °C	30-32 °C	< 30 °C	tot geboren	k. A.
4	57	17	4	3	9	15	32

### 3.6 Maßnahmen in der Klinik

#### Behandlung auf der Intensivstation

40,8 % (49/120) der Patienten wurden auf einer Intensivstation behandelt (**Tab. 24**). 28,4 % der Kinder (33/116) mussten beatmet werden, 20,9 % (24/115) erhielten Katecholamine. Bei 7 Patienten (6,0 %) wurde eine Erwärmung an der Herz-Lungen-Maschine (HLM) durchgeführt, 8 (7,0 %) erhielten eine Extrakorporale Membranoxygenierung (ECMO). Bei 11 von 116 Kindern (9,5 %) wurde eine therapeutische Hypothermie durchgeführt.

Wie aus den **Tab. 62-67** im Anhang zu entnehmen ist, verstarben 26,5 % (13/49) der Kinder, die auf der Intensivstation behandelt werden mussten. Von den im Laufe der präklinischen bzw. klinischen Behandlung verstorbenen Kindern wurden 76,5 % (13/17) auf einer Intensivstation behandelt.

Erfolgte eine Beatmung, verstarben 39,4 % der betroffenen Kinder (13/33), war eine Behandlung mit Katecholaminen in der Klinik notwendig, so verstarben 50,0 % (12/24). Nach dem Erwärmen an einer Herzlungenmaschine lag die Mortalität bei 71,4 % (5/7), nach einer Behandlung an der ECMO bei 75,0 % (6/8). Nach einer induzierten Hypothermie verstarben 45,5 % (5/11). Von den auf der Intensivstation verstorbenen Patienten wurden 38,5 % (5/13) an der Herzlungenmaschine erwärmt, knapp die Hälfte hatte eine ECMO-Behandlung erhalten (6/13) und bei 38,5 % (5/13) war eine Hypothermiebehandlung durchgeführt worden.

**Tabelle 24 | Maßnahmen in der Klinik nach Ertrinkungsunfall (n=141)**

	ja	nein	tot geborgen	k. A.
<b>Behandlung auf der Intensivstation</b>	49	71	15	6
<b>Beatmung</b>	33	83	15	10
<b>Katecholamine</b>	24	91	15	11
<b>Erwärmen an der HLM</b>	7	109	15	10
<b>ECMO-Behandlung</b>	8	108	15	10
<b>induzierte Hypothermie</b>	11	105	15	10

### 3.7 Laborwerte

#### **Niedrigster gemessener pH-Wert**

Der niedrigste pH-Wert war bei 40,4 % (36/89) der Kinder im Normbereich (**Tab. 25**). Bei weiteren 40,4 % (36/89) lag er zwischen 7,34 und 7,15 und in 19,1 % (17/89) der Fälle unter 7,15. In 37 Fällen fehlten die Angaben zum pH-Wert.

Keines der Kinder, bei denen der niedrigste gemessene pH-Wert im Normbereich war, verstarb (**Tab. 68** im Anhang). Lag der pH-Wert zwischen 7,34 und 7,15, verstarben 5,6 % (2/36). Bei einem pH-Wert unter 7,15 verstarben 58,8 % der Kinder (10/17). Von den Verstorbenen hatten 16,7 % (2/12) einen pH-Wert zwischen 7,15 und 7,35 und 83,3 % (10/12) einen Wert von unter 7,15.

**Tabelle 25 | Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach Höhe des niedrigsten gemessenen pH-Werts (n=141)**

7,35-7,45	7,15-7,34	<7,15	tot geborgen	k. A.
36	36	17	15	37

#### **Minimaler bzw. maximaler Kalium-Wert**

Bei 81,7 % (67/82) der Patienten lag das Kalium im Normbereich (**Tab. 26**). In 5 Fällen (6,1 %) war der Kalium-Wert zu niedrig, bei 10 Kindern (12,2 %) zu hoch. In 44 Fällen gab es keine Angaben zum Kalium-Wert.

Wie aus der **Tab. 69** im Anhang zu entnehmen ist, verstarben 7,5 % der Kinder (5/67) deren Kalium im Normbereich lag. War der Wert zu niedrig, lag die Mortalität bei 20,0 % (1/5), bei einem zu hohen Kalium-Wert bei 60,0 % (6/10). Bei 8,3 % (1/12) der

Verstorbenen wurde ein erniedrigter Kalium-Wert gemessen, bei 41,7 % (5/12) lag er im Normbereich und bei 50,0 % (6/12) war er erhöht.

**Tabelle 26** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach Höhe des minimalen bzw. maximalen gemessenen Kaliumwertes in mmol/l (n=141)

<3,5	3,5-5,5	>5,5	tot geborgen	k. A.
5	67	10	15	44

### Höchster gemessener Laktatwert

In 17 von 46 Fällen (37,0 %) war der Laktatwert im Normbereich (**Tab. 27**). In 34,8 % (16/46) lag er zwischen 2,2 und 10 mmol/l. In 5 Fällen (10,9 %) wurde ein Laktat von über 10 mmol/l gemessen und in 8 Fällen (17,4 %) lag es sogar über 20 mmol/l. Bei 80 Kindern war kein Laktatwert dokumentiert.

Bei einem gemessenen Laktat-Wert von unter 10 mmol/l verstarb keines der Kinder (**Tab. 70** im Anhang). Lag er zwischen 10 und 20 mmol/l, verstarben 60,0 % (3/5) und bei einem Wert über 20 mmol/l waren es 87,5 % (7/8). Von den Verstorbenen hatten 30,0 % (3/10) einen Laktat-Wert zwischen 10 und 20 mmol/l und 70,0 % (7/10) einen Wert über 20 mmol/l.

**Tabelle 27** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach Höhe des maximalen gemessenen Laktatwertes in mmol/l (n=141)

0,5-2,2	>2,2	>10	>20	tot geborgen	k. A.
17	16	5	8	15	80

## 3.8 Outcome

### Dauer des Klinikaufenthaltes

19,2 % (24/125) der Kinder waren gar nicht oder weniger als einen Tag in der Klinik (**Tab. 28**). 56,8 % (71/125) blieben 1 bis 3 Tage im Krankenhaus. 13,6 % (17/125) der verunfallten Kinder waren 4 bis 19 Tage stationär aufgenommen und bei 10,4 % (13/125) dauerte der Klinikaufenthalt länger als 10 Tage. In einem Fall war die Dauer des stationären Aufenthaltes den Unterlagen nicht eindeutig zu entnehmen.

Wurden die betroffenen Kinder (mit Ausnahme der bereits tot geborgenen) gar nicht bzw. weniger als einen Tag im Krankenhaus behandelt, lag die Mortalität bei 62,5 % (15/24, **Tab. 71** im Anhang). Betrug die Dauer des Klinikaufenthaltes 1 bis 3 Tage, ver-

starben 4,2% (3/71) der Kinder. Von den Kindern, die zwischen 4 und 10 Tagen im Krankenhaus lagen, verstarben 11,8 % (2/17) und bei einem Klinikaufenthalt von mehr als 10 Tagen waren es 15,4 % (2/13). Von den Verstorbenen wurden 68,1 % (15/22) gar nicht oder weniger als einen Tag in einem Krankenhaus behandelt. 13,7 % (3/22) wurden 1 bis 3 Tage stationär behandelt und jeweils 9,1 % (2/22) 4 bis 10 Tage bzw. länger als 10 Tage.

**Tabelle 28** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach Dauer des Klinikaufenthaltes (n=141)

0 Tage	1-3 Tage	4-10 Tage	> 10 Tage	tot geborgen	k. A.
24	71	17	13	15	1

### Komplikationen

In 51,7 % (61/118) der Fälle kam es zu Komplikationen wie ARDS, disseminierter intravasaler Koagulopathie (DIC), Pneumonie, Pankreatitis, akutem Nierenversagen, Schock, Multiorganversagen, Sepsis, Elektrolytstörung, Blutzuckerproblemen, Hypothermie oder hypoxischer Enzephalopathie infolge des Ertrinkungsunfalls, 48,3 % (57/118) blieben ohne Komplikationen (**Tab. 29**). In 8 Fällen fehlten die Angaben hierzu.

Wie der **Tab. 72** im Anhang zu entnehmen, ergab sich eine Mortalität von 24,6 % (15/61) bei den Kindern, die in der Folge des Ertrinkungsunfalls Komplikationen erlitten. Von den Patienten, bei denen keine Komplikationen auftraten, überlebten alle. Von den verstorbenen Kindern hatten naturgemäß alle Komplikationen erlitten.

**Tabelle 29** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle mit und ohne Komplikationen (n=141)

mit Komplikationen	ohne Komplikationen	tot geborgen	k. A.
61	57	15	8

### Überleben

103 der insgesamt 141 Kinder überlebten (73,0 %) den Ertrinkungsunfall, 38 (27,0 %) verstarben (**Tab. 30**).

**Tabelle 30** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle aufgeschlüsselt nach Überlebten und Verstorbenen (n=141)

überlebt	verstorben
103	38



## Neurologisches Defizit

Von den 103 Kindern, die den Ertrinkungsunfall überlebten, erlitten 5 (4,9 %) im Verlauf ein neurologisches Defizit (ND) bzw. mussten im Anschluss an den stationären Aufenthalt im Krankenhaus in einer Rehabilitationsklinik behandelt werden (**Tab. 31**). In einem Fall gab es keine Angaben hierzu.

**Tabelle 31** | Anzahl der Überlebenden mit und ohne neurologischem Defizit (ND) (n=103)

mit ND	ohne ND	k. A.
5	97	1

## 4 Diskussion

### 4.1 Methodenkritik

Die Stärke der vorliegenden Studie besteht darin, dass durch Einbeziehung aller Hamburger Kinderkliniken über einen 10-Jahres-Zeitraum und die zusätzliche Berücksichtigung der Rechtsmedizin am UKE ein hohes Maß an Vollständigkeit erzielt werden konnte. Damit sollten vor allem die schweren Verläufe mit intensivstationärer Behandlung und die tödlichen Ertrinkungsunfälle im Kindesalter nahezu lückenlos erfasst worden sein.

Dennoch gibt es eine gewisse Anzahl an Fällen, die in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden konnten: Dies sind zum einen die 8 Patienten, die zwar in den Archiven der jeweiligen Krankenhäuser unter der oben genannten ICD-Diagnose gefunden wurden, deren Akten jedoch aus unterschiedlichen Gründen nicht verfügbar waren. Zudem besteht die Möglichkeit, dass Patienten nicht mit der Diagnose T75.1, sondern anders kodiert wurden, sodass sie in der Liste der behandelten Ertrinkungsunfälle gar nicht erschienen.

Eine weitere Schwäche der Studie besteht darin, dass zwar sämtliche Kinderkliniken, aber nicht alle Krankenhäuser in Hamburg in die Auswertung einbezogen wurden. So ist nicht auszuschließen, dass einige Patienten nicht erfasst wurden, die in „Erwachsenenkliniken“ behandelt wurden. Dies könnte vor allem auf Patienten im fortgeschrittenen Jugendalter (16-18 Jahre) zutreffen, die demzufolge in dieser Statistik etwas unterrepräsentiert wären. Andererseits würde dadurch die Mortalität in dieser Altersgruppe überschätzt, da die am Unfallort Verstorbenen in Hamburg ausnahmslos und ausschließlich in der UKE-Rechtsmedizin untersucht werden und in jedem Fall Eingang in die Studie gefunden haben.

Abgesehen von der anzunehmenden Dunkelziffer konnten nicht von jedem bekannten Patienten alle Informationen zu den interessierenden Parametern eruiert werden. Hierzu zählt beispielsweise das Item „Nationalität“, das nicht konsequent dokumentiert war, sodass sich der in einigen Jahren klinisch zu beobachtende hohe Anteil an Migrantenkinder unter den Ertrinkungsopfern in dieser Auswertung nicht niederschlägt (DLRG e.V. 2016, 2017).

Schwierigkeiten bereitet schließlich auch das „Follow-Up“ der Patienten nach Entlassung aus der Akutklinik. Inwieweit sich ihr Zustand nach Beendigung der klinischen Behandlung verbesserte oder verschlechterte und ein neurologisches Defizit persistierte oder nicht, ist anhand der Krankenhaus-Akte meist nicht eindeutig nachvollziehbar. Somit können hier keine verbindlichen Aussagen über das endgültige neurologische Outcome der Patienten - insbesondere derjenigen, die nach längerer Intensivbehandlung direkt oder über eine Rehabilitationsklinik entlassen wurden – getroffen werden.

## 4.2 Epidemiologie und Unfallgeschehen

Im Folgenden sollen nun zunächst die epidemiologischen (Häufigkeit, Alter, Geschlecht, Vorerkrankungen) und die das Unfallgeschehen betreffenden Aspekte (Jahreszeit, Wochentag, Tageszeit, Unfallort) der erhobenen Daten genauer betrachtet und diskutiert werden.

### 4.2.1 Epidemiologie

Was die **Häufigkeit** von Ertrinkungsunfällen im Kindes- und Jugendalter anbelangt, wurden in dem untersuchten 10-Jahres-Zeitraum 141 Fälle aus den fünf Hamburger Kinderkliniken sowie der Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf beobachtet. Im Jahr 2016 lebten dem statistischen Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein zufolge 300.538 Kinder und Jugendliche unter 18 Jahren in Hamburg (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2017). Somit ergibt sich eine Inzidenz von ca. 4,7/100.000 Kindern pro Jahr. Pro Klinik wurden jährlich durchschnittlich 2,3 Kinder nach einem Submersionseignis behandelt (arithmetisches Mittel). Dies entspricht 3,8/100.000 Kinder die jährlich in Hamburger Kinderkliniken mit der Diagnose T75.1 behandelt wurden. Die knapp 20 % (26/141) der Ertrinkungsopfer, die in der Rechtsmedizin des UKEs registriert wurden, ohne vorher in einer der fünf Hamburger Kinderkliniken behandelt worden zu sein, sind hier nicht miteinberechnet.

In einer deutschlandweiten Studie, in der Ertrinkungsunfälle aus 228 Kliniken in den Jahren 1995 und 1996 ausgewertet wurden, ergab sich mit 2,3/100.000 Kindern pro Jahr eine etwas niedrigere Inzidenz als in unserer Arbeit (Thüner und Sefrin 2006). Grund hierfür ist wahrscheinlich vor allem, dass im Gegensatz zu unseren Berechnungen die Kinder, die direkt am Unfallort verstorben sind, nicht miteinbezogen wurden. Das statistische Bundesamt gibt für die Jahre von 2007 bis 2016 eine Fallzahl von 3-4/100.000 Kindern unter 15 Jahren pro Jahr mit der Diagnose T75.1 in deutschen

Krankenhäusern an (Gesundheitsberichterstattung des Bundes 2020). Diese Zahlen bestätigen unsere Beobachtung.

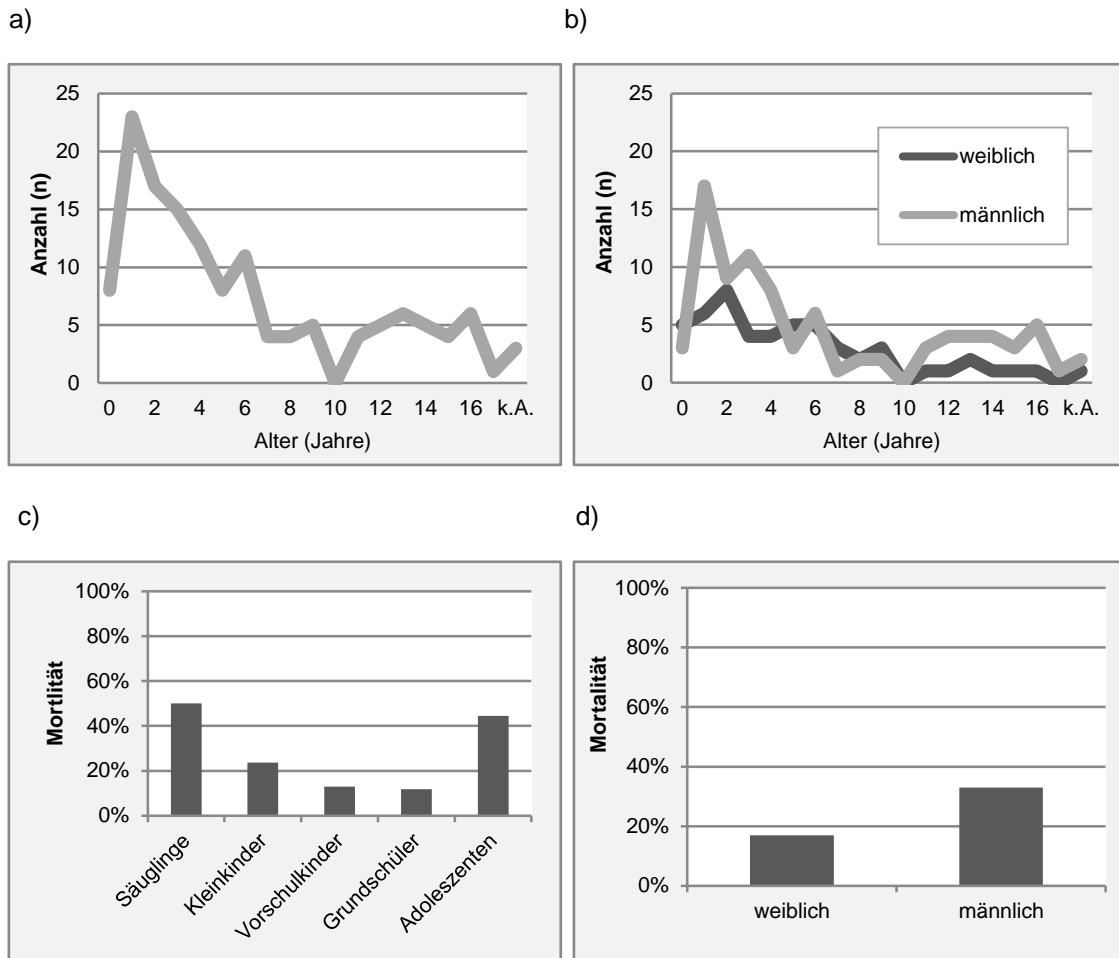
In der **Altersverteilung** ist sowohl bezüglich der Inzidenz als auch im Hinblick auf die Mortalität ein zweigipfliger Verlauf zu beobachten (**Abb. 4a/c**). Während der erste Peak bei der Häufigkeitsverteilung im Kleinkindalter liegt, ist er bezüglich der Mortalität etwas früher, nämlich im Säuglingsalter, zu finden. Der zweite Peak im Jugendalter fällt bei Betrachtung der Mortalität deutlich höher aus als bei der Inzidenz. Wie bereits erwähnt, mag die deutlich erhöhte prozentuale Mortalität im Jugendalter auch dadurch begründet sein, dass unter den Jugendlichen vermutlich einige (weniger schwer betroffene) in „Erwachsenenkliniken“ behandelt wurden und dieser Studie daher entgangen sind, während in der Rechtsmedizin am UKE ausnahmslos alle Hamburger Toten erfasst werden. So könnten in dieser Altersgruppe die Verstorbenen etwas überrepräsentiert sein.

Die Ergebnisse dieser Studie zur Häufigkeitsverteilung und Mortalität bestätigen die Aussagen der Literatur (Wintemute et al. 1987, Thüner und Sefrin 2006, Centers for Disease Control and Prevention 2012). Dem Schwerpunktbericht der Gesundheitsberichterstattung des Bundes zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen von 2004 zufolge ereignen sich in Deutschland mehr als die Hälfte aller tödlicher Ertrinkungsunfälle bei Kindern im Alter zwischen 1 und 4 Jahren (Schubert et al. 2004). Die Häufung von Ertrinkungsunfällen im Kleinkindesalter wird mit dem für dieses Alter typischen Erkundungsdrang in Kombination mit der neu hinzugewonnenen Bewegungsfreiheit erklärt. Hinzu kommt die fehlende Erfahrung mit Wasser als Gefahrenquelle bei dessen gleichzeitiger Anziehungskraft (Hon et al. 2008). Säuglinge und Kleinkinder sind zudem noch nicht in der Lage, sich selbst zu retten. Sie ertrinken so selbst in geringen Wassertiefen (Hon et al. 2008). Trotzdem gelten Ertrinkungsunfälle im Kleinkindesalter in einigen Studien als prognostisch günstiger als bei Erwachsenen (Suominen et al. 2002, Wollenek et al. 2002, Eich et al. 2005). Dies kann mehrere Gründe haben: Zum einen sind Kleinkinder grundsätzlich besser beaufsichtigt, was häufig zu einer schnelleren Rettung mit kürzerer Submersionszeit und direkten Reanimationsmaßnahmen führt (Nitta et al. 2013). Auch der emotionale Aspekt bei der Wiederbelebung eines Kindes im Vergleich zu Erwachsenen mit ggf. aggressiverer Therapie mag eine Rolle spielen (Quan et al. 2016). Zusätzlich wirken sich einige pathophysiologische Besonderheiten im Kleinkindesalter (vgl. Einleitung) protektiv aus. Als Risikofaktor im Jugendalter wird Alkoholkonsum genannt (Wintemute et al. 1987, Driscoll et al. 2004, Centers for Dis-

ease Control and Prevention 2012). Häufig führen in dieser Altersklasse ein Überschätzen der eigenen Fähigkeiten sowie Leichtsinns zu Ertrinkungsunfällen.

Bezüglich der **Geschlechterverteilung** ist eine deutliche „Knabenwendigkeit“ festzustellen. Das Risiko, an den Folgen eines Ertrinkungsunfalls zu versterben, war bei Jungen insgesamt fast doppelt so hoch wie bei Mädchen (33,0 % bzw. 17,0 %, **Abb. 4d**), umgekehrt war die große Mehrheit der Verstorbenen männlich (76,3 %). Wie aus **Abb. 4b** zu entnehmen ist, ist dieses Ungleichgewicht im Kleinkind- und im Adoleszentenalter besonders stark. Unter den 1-3-Jährigen waren ca. doppelt so viele Jungen wie Mädchen betroffen (2,1:1), unter den Jugendlichen waren es sogar mehr als drei Mal so viele (3,5:1).

Das erhöhte Risiko des männlichen Geschlechts bezüglich Inzidenz und Mortalität wird auch in der Literatur beschrieben (Wintemute 1990, Thüner und Sefrin 2006, Cohen et al. 2008, 2018, Quan et al. 2014, Shenoj et al. 2016). Der zweite Altersgipfel im Jugendalter ist weltweit ganz überwiegend auf männliche Ertrinkungsopfer zurückzuführen. In amerikanischen Studien ist der Geschlechterunterschied sogar noch größer als in unserer Arbeit. Im Bericht der Centers for Disease Control and Prevention (2012) sind Jungen vier Mal so häufig an Ertrinkungsunfällen verstorben wie Mädchen (2,07 vs. 0,54/ 100 000). Im Jugendalter wird die Mortalität für Jungen mit bis zu zehn Mal so hoch wie bei Mädchen beschrieben (Weiss et al. 2010). In der großangelegten landesweiten deutschen Studie von Thüner und Sefrin, die 734 pädiatrische Ertrinkungsunfälle untersuchte, wurde ein mit 1,8:1 ähnliches Geschlechterverhältnis wie in unserer Arbeit gefunden, jedoch kein Überwiegen von männlichen Ertrinkungsopfern im Adoleszentenalter (Thüner und Sefrin 2006). Möglicherweise sind diese häufig bereits am Unfallort verstorben und tauchen daher nicht in kinderklinischen Statistiken auf (Cohen et al. 2008). Es wird angenommen, dass das im Vergleich zu Mädchen unvorsichtigere, draufgängerischere Verhalten von Jungen sowie im Jugendalter deren höherer Alkoholkonsum Ursachen für den Geschlechterunterschied sind (Howland et al. 1996, World Health Organization 2014).

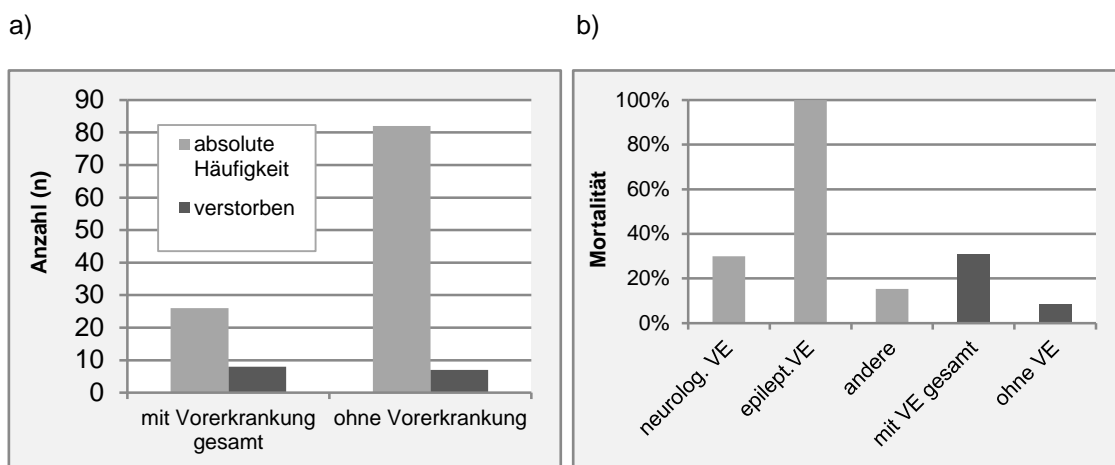


**Abb. 4** | Darstellung der Fallzahlen bezüglich des Alters (a) sowie des Alters und Geschlechts (b) und der Mortalität in Bezug auf Altersgruppen (c) sowie Geschlecht (d)

Bei knapp einem Viertel (24,1 %) der Kinder waren **Vorerkrankungen** bekannt. Am häufigsten handelte es sich hierbei um chronisch neurologische Erkrankungen (9,3 %), gefolgt von epileptischen Erkrankungen (2,8 %).

Wie aus **Abb. 5a/b** zu entnehmen ist, war die Mortalität bei Kindern mit Vorerkrankungen deutlich höher (30,8 %) als bei gesunden (8,5 %). Umgekehrt waren mehr als die Hälfte (53,3 %) aller verstorbenen Kinder vorerkrankt. Besonders gefährdet, an Badeunfällen zu versterben, waren dabei Kinder mit epileptischen Erkrankungen (**Abb. 5b**). Dies wird auch häufig in der Literatur beschrieben (Orlowski et al. 1982, Wintemute 1990, Diekema et al. 1993, Burford et al. 2005, Franklin et al. 2017). In dem Review von Burford et al. (2005) wird bei Epilepsie ein 4- bis 14-fach erhöhtes Risiko zu ertrinken angegeben. Dabei sei das Risiko besonders hoch, wenn der Patient men-

tal retardiert ist, die Krampfanfälle unzureichend kontrolliert sind oder die antiepileptische Medikation oder Dosierung kürzlich verändert worden ist.



**Abb. 5** | Darstellung der absoluten Häufigkeit und Mortalität bezüglich Vorerkrankungen im Vergleich (a) sowie der Mortalität (b)

#### 4.2.2 Unfallgeschehen

Im Hinblick auf die **Jahreszeit** (**Abb. 6a**) der Ertrinkungsunfälle von Kindern und Jugendlichen ist in dieser Studie eine deutliche Häufung im Sommer zu beobachten (43,5 %), im Winter gab es am wenigsten (12,3 %).

Ein Überwiegen von Ertrinkungsunfällen in den Sommermonaten findet sich auch in der einschlägigen Literatur (Wintemute et al. 1987, Thüner und Sefrin 2006, Kieboom et al. 2015, Shenoj et al. 2016, Cohen et al. 2018). Unsere Zahlen entsprechen den Angaben von Thüner und Sefrin, die in ihrer deutschlandweiten Studie einen Anteil von 43,1 % der Unfälle von Juni bis August beschreiben. Die Häufung von Ertrinkungsunfällen im Sommer hängt mit dem warmen Klima in diesen Monaten und womöglich den Sommerferien und damit erhöhten Freizeitaktivitäten der Kinder zusammen (O'Flaherty und Pirie 1997). Dies erklärt auch, warum in der vorliegenden Erhebung der Großteil der tödlich verlaufenen Unfälle im Sommer stattfand (36,1 %), wenngleich die relative Mortalität im Winter (52,9 %) am höchsten war (**Abb. 6b**). In amerikanischen Studien ereigneten sich sogar zwei Drittel aller Todesfälle bei Kindern unter 15 Jahren zwischen April und August (Weiss et al. 2010). Ertrinkungsunfälle im Winter werden ebenfalls mit einem schlechten Outcome assoziiert (Shenoj et al. 2016). Betrachtet man jedoch nur die Kinder mit Asystolie nach Ertrinkungsunfall, wie in der landesweiten holländischen Studie von Kieboom et al. (2015), ergibt sich ein besseres Outcome im

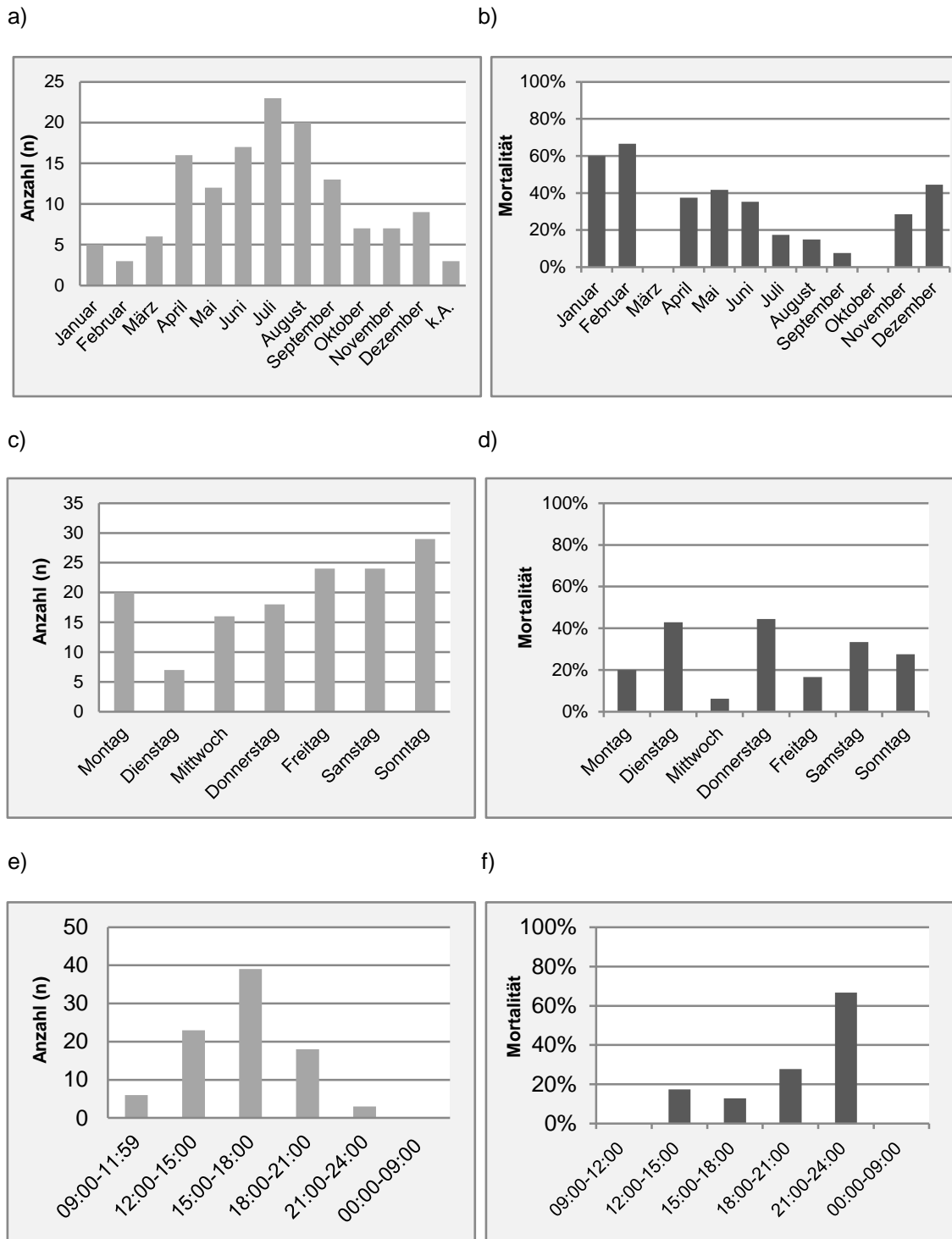
Winter. Dies hängt womöglich mit den kälteren Wassertemperaturen zu dieser Jahreszeit und der damit einhergehenden protektiven Hypothermie zusammen, die sich bei Ertrinken in eiskaltem Gewässer einstellt.

Die Häufigkeitsverteilung an unterschiedlichen **Wochentagen** ist **Abb. 6c** zu entnehmen. Am häufigsten kam es am Wochenende zu Ertrinkungsunfällen (arithmetische Mittelwerte: 26,5 Fälle/Tag am Wochenende vs. 17 Fälle/Tag an Werktagen).

Dies deckt sich mit den Zahlen der amerikanischen Studie von Wintemute et al. (1987), in der 40,0 % der Unfälle am Wochenende beobachtet wurden, und auch mit den Ergebnissen der Centers for Disease Control and Prevention (Gilchrist et al., 2004). Shenoj et al. (2016) hingegen registrierten mehr Ertrinkungsunfälle an Werktagen. Die Tage mit der höchsten Mortalität waren Dienstag (42,9 %) und Donnerstag (44,4 %; **Abb. 6d**). Insgesamt war die Mortalität jedoch an Wochenenden höher als an Werktagen (30,2 % bzw. 22,6 %). Dazu passt, dass auch knapp die Hälfte (44,4 %) aller tödlich endenden Unfälle am Wochenende stattfanden. Die Aussagen in der Literatur sind diesbezüglich nicht eindeutig. In den USA erfolgten die meisten tödlichen Ertrinkungsunfälle ebenfalls an Samstagen und Sonntagen (Weiss et al. 2010). In der Studie von Shenoj et al. (2016) werden hingegen Unfälle, die sich unter der Woche ereignen, mit einer erhöhten Mortalität in Verbindung gebracht.

Bezüglich der **Tageszeit** gab es die meisten Ertrinkungsunfälle am Nachmittag (43,8 %), während die Mortalität abends mit Abstand am höchsten war (**Abb. 6e/f**). Insgesamt gab es nachmittags ebenso viele tödlich verlaufene Ertrinkungsunfälle wie abends (jeweils 31,25 %). In der deutschen Studie von Thüner und Sefrin (2006) fanden mit 51,2 % ebenfalls die meisten Unfälle an Nachmittagen statt. Eine Erklärung für das Überwiegen von Ertrinkungsunfällen an Nachmittagen und Wochenenden sind die zu diesen Zeiten vermehrt stattfindenden Freizeitaktivitäten, bei Jugendlichen womöglich zusätzlich in Verbindung mit Alkohol. Das in dieser Studie beobachtete erhöhte Risiko in den späten Abendstunden, an einem Ertrinkungsunfall zu versterben, mag mit der in dieser Arbeit ebenfalls beobachteten erhöhten Mortalität im Jugendalter zu erklären sein.



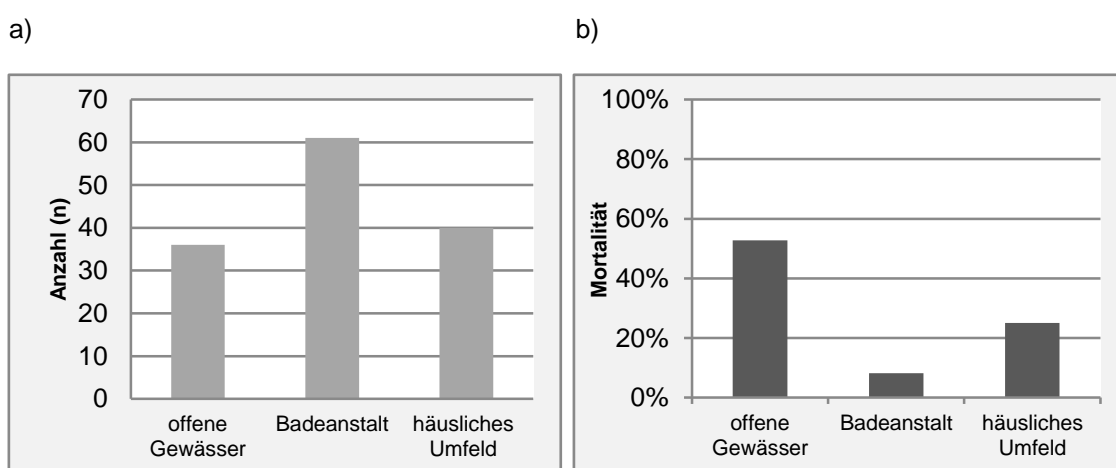


**Abb. 6** | Darstellung der Fallzahlen sowie der Mortalität bezüglich der Jahreszeit (a/b), des Wochentages (c/d) und der Uhrzeit (e/f).

Aufschlussreich ist auch die Verteilung der **Unfallorte**: Wie in **Abb. 7a** dargestellt, geschahen fast die Hälfte (44,5 %) aller Ertrinkungsunfälle in Badeanstalten, jeweils ca. ein Viertel im häuslichen Umfeld bzw. in offenen Gewässern (29,2 % bzw. 26,3 %). Im

Gegensatz dazu war die Mortalität mit 52,8 % in offenen Gewässern am höchsten und in Badeanstalten mit nur 8,2 % am niedrigsten (**Abb. 7b**). Dementsprechend ereignete sich der Großteil der tödlich verlaufenen Unfälle in offenen Gewässern (55,8 %). Obwohl in Badeanstalten die meisten Ertrinkungsunfälle passierten, gab es hier die wenigsten mit Todesfolge (14,7 %).

Während in einer amerikanischen Statistik 47,0 % der Ertrinkungsunfälle in offenen Gewässern, 32,0 % in Pools und nur 9,0 % zu Hause registriert wurden (Brenner et al. 2001), beschreiben Thüner und Sefrin (2006) mit 40,0 % in Frei- und Hallenbädern, 35,4 % auf privatem Gelände und 24,6 % in offenen Gewässern ähnliche Werte wie in der vorliegenden Studie. Die höchste Mortalität (17,8 %) wird hier ebenfalls in öffentlichen Gewässern beobachtet. Fast die Hälfte aller Unfälle mit letalem Ausgang (42,1 %) ereigneten sich jedoch auf privatem Gelände (Thüner und Sefrin 2006). Zu beachten ist, dass die bereits am Unfallort verstorbenen Kinder und Jugendlichen nicht in die Studie mit eingeschlossen sind. Hier machen womöglich Ertrinkungsunfälle in offenen Gewässern einen großen Teil aus. Dem statistischen Bundesamt zufolge geschahen zwischen 2005 und 2014 25,7 % aller tödlichen Ertrinkungsunfälle in natürlichen Gewässern, 13,3 % in Schwimmbädern und 7,2 % in der Badewanne (Ellsäßer 2017). Dass die Mortalität in offenen Gewässern so viel höher als in Badeanstalten oder im häuslichen Umfeld ist, hat unterschiedliche Gründe. So gibt es weniger Beaufsichtigung, vor allem von Teenagern. Eine weitere Ursache ist der Konsum von Alkohol und anderen Drogen. Zusätzlich ist die Rettung in offenen Gewässern erschwert (Burford et al. 2005).



**Abb. 7** | Darstellung der Fallzahlen (a) und der Mortalität (b) bezüglich des Unfallortes

### 4.3 Prädiktoren des Outcome

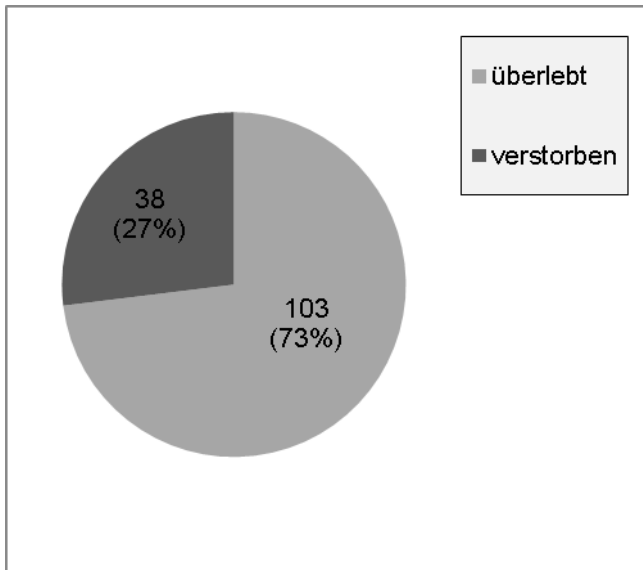
An diese epidemiologische und das Unfallgeschehen betreffende Beschreibung soll sich nun eine statistische Analyse derjenigen klinischen Parameter anschließen, die das Outcome (Überleben/Versterben) nach Ertrinkungsunfällen im Kindes und Jugendalter bestimmen.

#### 4.3.1 Gesamtmortalität

Wie in **Abb. 8** dargestellt, endeten insgesamt 38 (27,0 %) der in diese Studie eingeschlossenen 141 Ertrinkungsunfälle tödlich. Da davon ausgegangen werden kann, dass im Großraum Hamburg in dem hier beobachteten 10-Jahreszeitraum noch mehr Bade- und Ertrinkungsunfälle stattgefunden haben, von denen wahrscheinlich ein Großteil glimpflich ausgegangen ist, wird die reale Letalität niedriger ausfallen. Die Zahl beschreibt lediglich die Sterblichkeit unter den Kindern und Jugendlichen, die nach Ertrinkungsunfall in einer Kinderklinik behandelt oder, da sie nur noch tot geborgen werden konnten, direkt in der Rechtsmedizin gesehen wurden.

Die in der vorliegenden Auswertung beobachtete Häufigkeit an letalen Ertrinkungsunfällen entspricht ca. 0,2/100.000 Einwohner pro Jahr (gemessen am Bevölkerungsstand für Hamburg von 1.860.759 Einwohnern im Jahr 2016; Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2017). Laut DLRG ertranken deutschlandweit im 10-Jahreszeitraum von 2008-2017 insgesamt 521 Kinder, Jugendliche und junge Erwachsene bis 20 Jahre (siehe Statistik Ertrinken nach Alter 2008-2017, DLRG e.V. 2018). Pro 100 000 Einwohner waren es unter den 1-14-Jährigen im Jahr 2016 bundesweit 0,4 Fälle, bei den 15-20-Jährigen 0,8, also etwas mehr als in der vorliegenden Erhebung in Hamburg (Gesundheitsberichterstattung des Bundes 2017).

In der deutschlandweiten Arbeit von Thüner und Sefrin (2006) endeten lediglich 20,9 % der Ertrinkungsunfälle tödlich. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass in der vorliegenden Arbeit die Kinder, die am Unfallort tot aufgefunden wurden und nur in der Rechtsmedizin auftauchen, miteingeschlossen sind. In den USA wird teilweise von einer noch höheren Letalität von 30-50 % berichtet (Burford et al. 2005, Centers for Disease Control and Prevention 2012).



**Abb. 8** | Darstellung der Letalität bei 141 Ertrinkungsunfällen

Wie aus **Tab. 32** hervorgeht, sind in der univariaten Analyse unter den vorgenannten epidemiologischen und das Unfallgeschehen betreffenden Faktoren das männliche Geschlecht und das Vorhandensein von (neurologischen) Vorerkrankungen signifikant mit dem Versterben und der Unfallort „Badeanstalten“ (im Vergleich zu „offenen Gewässern“) signifikant mit dem Überleben vergesellschaftet.

Daneben fallen eine Reihe weiterer Faktoren auf, denen auch in der Literatur eine unterschiedlich große Bedeutung für die (prä-)klinische Prognoseabschätzung bei Ertrinkungsunfällen im Kindes- und Jugendalter beigemessen wird, und die im Folgenden, geordnet nach den Schlagworten Submersionszeit, Erstversorgung, Körpertemperatur und Notaufnahme, betrachtet werden sollen.

Nicht in die statistische Analyse einbezogen wurden Variablen, für die entweder nur eine geringe Stichprobenzahl vorlag und/oder die sich direkt aus anderen Variablen ergeben (wie etwa eine kardiopulmonale Reanimation aus einem Herz-Kreislauf-Stillstand etc.). Da intensivmedizinische Prozeduren wie eine Behandlung mittels ECMO oder therapeutische Hypothermie erst nach Ankunft in der Klinik eine Rolle spielen und daher nicht zu den prognostischen Faktoren für den Notarzt bzw. Rettungsdienst gehören, wurden sie für die statistische Auswertung ebenfalls nicht berücksichtigt.

**Tabelle 32** | Parameter zu Demographie, Setting am Unfallort und in der Klinik von 141 Ertrinkungsopfern. Univariate Analyse in Bezug auf das Überleben.

Variable	n (%) überlebt		n (%) verstorben		n gesamt (100 %)	p- Wert*
<b>Epidemiologie:</b>						
Alter						0,383
0	4	(50,0)	4	(50,0)	8	
1-3	2	(76,4)	13	(23,6)	55	
4-6	27	(87,1)	4	(12,9)	31	
7-11	15	(88,2)	2	(11,8)	17	
12-17	15	(55,6)	12	(44,4)	27	
Geschlecht						0,034
w	44	(83,0)	9	(17,0)	53	
m	59	(67,0)	28	(33,0)	87	
Vorerkrankungen						0,008
ja	18	(69,2)	8	(30,8)	26	
nein	75	(91,5)	7	(8,5)	82	
<b>am Unfallort:</b>						
Monat						0,25
Mai-Sept	65	(77,4)	19	(22,6)	84	
Okt-Apr	37	(68,5)	17	(31,5)	53	
Art des Gewässers						<0,001
Offene Gewässer	17	(47,2)	19	(52,8)	36	
Badeanstalt	56	(91,8)	5	(8,2)	61	
privates Umfeld	30	(75,0)	10	(25,0)	40	
Submersionszeit						<0,001
keine	3	(100,0)	0	(0,0)	3	
< 5 min	51	(94,4)	3	(5,6)	54	
5-15 min	0	(0,0)	2	(100,0)	2	
15-30 min	0	(0,0)	5	(100,0)	5	
> 30 min	1	(33,3)	2	(66,7)	3	
Ersthelfer						0,057
Laien	94	(83,9)	18	(16,1)	112	
Professionelle Helfer	5	(55,6)	4	(44,4)	9	
Atmung						<0,001
Spontanatmung	69	(100,0)	0	(0,0)	69	
Apnoe	5	(29,4)	12	(70,6)	17	
Herzfrequenz						<0,001
normofrequent	46	(100,0)	0	(0,0)	46	
Tachykardie	17	(85,0)	3	(15,0)	20	
Bradykardie	2	(66,7)	1	(33,3)	3	
Asystolie	6	(40,0)	9	(60,0)	15	

Time to ROSC						<0,001
initial Spontankreislauf	63	(100,0)	0	(0,0)	63	
< 5 min	21	(100,0)	0	(0,0)	21	
5-30 min	5	(83,3)	1	(16,7)	6	
30-60 min	0	(0,0)	4	(100,0)	4	
> 60 min	4	(26,7)	11	(73,3)	15	
<b>In der Notaufnahme:</b>						
Körpertemperatur						<0,001
≥ 36 °C	60	(98,4)	1	(1,6)	61	
32-35,9 °C	17	(81,6)	4	(19,0)	21	
< 32 °C	6	(50,0)	6	(50,0)	12	
<b>Laborwerte:</b>						
pH-Wert						<0,001
7,35-7,45	36	(100,0)	0	(0,0)	36	
7,15-7,34	34	(94,4)	2	(5,6)	36	
< 7,15	7	(41,2)	10	(58,8)	17	
Kalium						<0,001
< 3,5 mmol/l	4	(80,0)	1	(20,0)	5	
3,5-5,5 mmol/l	62	(92,5)	5	(7,5)	67	
> 5,5 mmol/l	4	(40,0)	6	(60,0)	10	

\*ermittelt durch Likelihood Ratio Chi Square; mit Ausnahme der Variable "Alter": Welch's T-Test (Satterthwaite Approximation)

#### 4.3.2 Submersionszeit

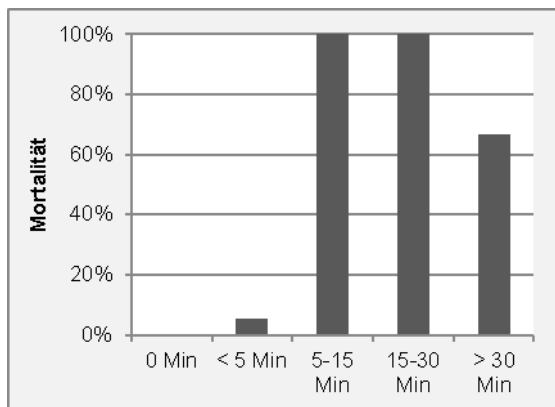
In den meisten Studien zum Outcome nach Ertrinkungsunfällen wird die Submersionszeit als stärkster Prädiktor des Überlebens bzw. Versterbens beschrieben (Suominen et al. 2002, Burford et al. 2005, Quan et al. 2014, 2016, Vähätalo et al. 2014, Kieboom et al. 2015, Shenoj et al. 2016). Problematisch ist hier, dass diese meist nur geschätzt werden kann und exakte Zeitangaben zur Dauer des Untertauchens selten dokumentiert sind (Kieboom et al. 2015). Trotzdem spielt die Submersionszeit als prognostischer Faktor eine zentrale Rolle, da sie als direkter Indikator für die Dauer der Hypoxie gilt, die wiederum ausschlaggebend für das neurologische Outcome nach einem Ertrinkungsunfall ist (Quan et al. 2016).

Wie **Abb. 9** zeigt, war in der vorliegenden Studie die Mehrheit (80,6 %) der Kinder und Jugendlichen weniger als 5 Minuten unter Wasser. Von diesen überlebten fast alle (51/54). In ganz wenigen Fällen (4,5 %) lag die Submersionszeit über 30 Minuten, dies wurde nur einmal überlebt. Bis auf diesen Ausnahmefall verstarben alle Kinder, die länger als 5 Minuten unter Wasser waren. Wie aus **Tab. 32** hervorgeht, ergibt sich

zwischen kurzer Submersionszeit und Überleben ein signifikanter Zusammenhang ( $p < 0.001$ ).

In der amerikanischen Studie von Shenoj et al. (2016) wies ein ähnlich hoher Anteil von 77,0 % der pädiatrischen Ertrinkungspatienten Submersionszeiten von unter 5 Minuten auf. Cohen et al. (2018) berichten von einer mittleren Submersionszeit von 4,5 Minuten. Sowohl in einer landesweiten holländischen Studie als auch in mehreren amerikanischen Arbeiten werden Submersionszeiten von über 25 Minuten als prognostisch extrem ungünstig eingestuft (Burford et al. 2005, Kieboom et al. 2015, Quan et al. 2016). Betrug die Untertauchzeit hingegen weniger als 10 (Quan et al. 2016) bzw. 5 Minuten (Shenoj et al. 2016), war das mit einem guten Outcome assoziiert.

Eine Analyse des einzigen Falles in dieser Studie, in dem ein Kleinkind trotz sehr langer Submersionszeit (> 30 Minuten) überlebte, findet sich weiter unten im Abschnitt 4.5 „Grenzfälle“.



**Abb. 9** | Darstellung der Mortalität bezüglich der Submersionszeit

#### 4.3.3 Erstversorgung am Unfallort

Bei mehr als der Hälfte der Patienten wurde in der vorliegenden Auswertung am Unfallort eine normale Herzfrequenz (54,8 %) und eine Eupnoe (61,6 %) festgestellt. In jeweils knapp einem Fünftel der Fälle lag eine Asystolie bzw. Apnoe vor (17,9 % bzw. 19,8 %). Die Mortalität bezüglich der Herzfrequenz und Atmung ist **Abb. 10a/b** zu entnehmen: Es besteht eine deutlich erhöhte Sterblichkeit im Falle einer Asystolie (60,0 %) bzw. Apnoe (70,6 %). Vor allem die Atmung scheint für die Prognoseabschätzung eine wichtige Rolle zu spielen: Alle Kinder mit vorhandener Spontanatmung am Unfallort überlebten, alle Verstorbenen waren am Unfallort

apnoeisch. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle war keine **Defibrillation** erfolgt (96,5 %). Die Mortalität lag hier bei 9,0 %, während von den 4 Kindern, die defibrilliert wurden, 2 verstarben (**Abb. 10c**). In dem in dieser Studie untersuchten Patientenkollektiv wurde die Erste Hilfe meist von Laien durchgeführt, wobei sich dies günstig auf das Überleben auswirkte. Wie **Abb. 10d** zeigt, war die Mortalität in diesen Fällen niedriger, als wenn ausschließlich professionelle Helfer zum Einsatz kamen (16,1 % vs. 44,4 %) – wenn auch knapp unterhalb der statistischen Signifikanz (**Tab. 32**). Ebenfalls ausschlaggebend für die Prognose war die Zeit, die verging, bis ein Spontankreislauf wiederhergestellt werden konnte (Return Of Spontaneous Circulation, ROSC). Die Mortalität stieg mit zunehmender Dauer an, wie **Abb. 10e** zu entnehmen ist. Am höchsten war sie bei einer Time to ROSC zwischen 30 und 60 Minuten, bei der alle Kinder verstarben. Umgekehrt hatte unter den Verstorbenen die Mehrzahl der Kinder eine Time to ROSC von mehr als 60 Minuten. Wie in **Tab. 32** aufgeführt, war in der univariaten Statistik ein signifikanter Einfluss von Atmung, Herzfrequenz und Time to ROSC auf das Überleben feststellbar.

Auch in einigen älteren Studien ist vor allem der initiale Zustand bzw. hämodynamische Status des Patienten hoch prädiktiv für das Outcome (Biggart und Bohn 1990, Habib et al. 1996, Spack et al. 1997). In der Metaanalyse von Shenoj et al. (2016) überlebten die Kinder mit Apnoe oder Asystolie am Unfallort mit 12,8 % bzw. 8,6 % noch seltener als in dieser Studie. Shenoj et al. (2017) konnten auch einen Score erstellen, anhand dessen die Kinder mit geringem Risiko für Folgeschäden nach einem Ertrinkungsunfall identifiziert und aus dem Krankenhaus entlassen werden können. Dabei waren neben dem initialen neurologischen Status eine normale Atemfrequenz, die Abwesenheit von Dyspnoe, die fehlende Notwendigkeit einer Beatmung und das Ausbleiben einer systolischen Hypotension in der Notaufnahme die fünf signifikanten Faktoren, um ein günstiges Outcome vorherzusagen. In einer US-amerikanischen Studie, die 60 pädiatrische Ertrinkungsunfälle aus den Jahren 2001-2012 untersuchte, hatten Patienten mit Atem- und Herzkreislaufstillstand ein schlechteres Outcome als Patienten, die „nur“ apnoeisch waren; Kinder mit Atem- und Herzkreislaufstillstand erlitten mehrheitlich ein Multiorganversagen und neurologische Folgeschäden. Bei einer Apnoe ohne Asystolie trat hingegen „nur“ in 49,0 % der Fälle ein Multiorganversagen auf und kein Patient hatte ein ungünstiges neurologisches Outcome (Mtaweh et al. 2015).

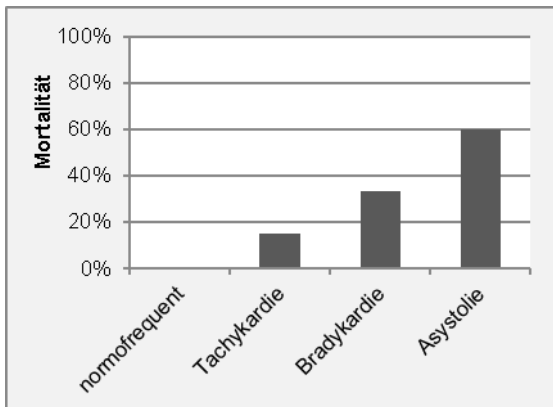
In einer großen japanischen Studie von Nitta et al. (2013), die pädiatrische und erwachsene Patienten mit OHCA (Out of Hospital Cardiac Arrest) nach Ertrinkungsunfall



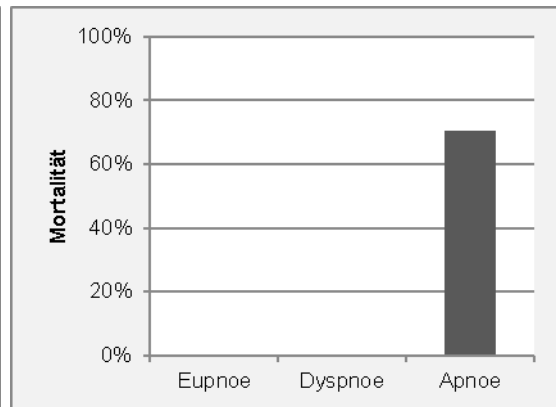
verglichen, war Kammerflimmern als initialer Rhythmus günstig für das Outcome. Da Kammerflimmern bei Ertrinkungsunfällen aber eher selten sei, sollte der Fokus zunächst auf der konsequenten Herzdruckmassage und Beatmung liegen. Nach Möglichkeit habe dann frühzeitig eine Rhythmuskontrolle stattzufinden, da ein günstiges Outcome bei Kammerflimmern von einer schnellen Defibrillation abhängt. Zu bedenken ist hierbei jedoch, dass die Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche Defibrillation mit sinkender Körpertemperatur abnimmt.

Was die Ersthelfer betrifft, so kamen in der Arbeit von Thüner und Sefrin (2006) mit 69,3 % Laien etwas seltener zum Einsatz als in der vorliegenden Erhebung. Die in dieser Studie ebenfalls beobachtete geringere Mortalität im Falle einer Ersten Hilfe durch Laien lässt sich mit dem schnelleren Beginn der Rettungsmaßnahmen (ggf. einschließlich kardiopulmonaler Wiederbelebung) begründen. Eine sofortige Reanimation noch vor Eintreffen des Notarztes wird mit einem signifikant besseren neurologischen Outcome bei Kindern nach Submersionseignis assoziiert (Kyriacou et al. 1994). Ausschlaggebend ist hier die kürzere Low Flow Time bzw. Hypoxie, die häufig eine bessere Prognose bedeutet. Dies spiegelt sich auch in den Beobachtungen bezüglich der Time to ROSC wider. Hier gilt: Je länger die Dauer bis zum Wiedereintritt des Spontankreislaufs, desto höher die Wahrscheinlichkeit für ein schlechtes Outcome. In der holländischen Studie von Kieboom et al. (2015) konnte bei keinem Kind mit Herzstillstand und Hypothermie, das länger als 30 Minuten reanimiert werden musste, ein gutes Outcome beobachtet werden. Burford et al. (2005) beschreiben eine kardiopulmonale Reanimation über mehr als 25 Minuten als negativen Prädiktor für das Outcome (Tod oder neurologisches Defizit).

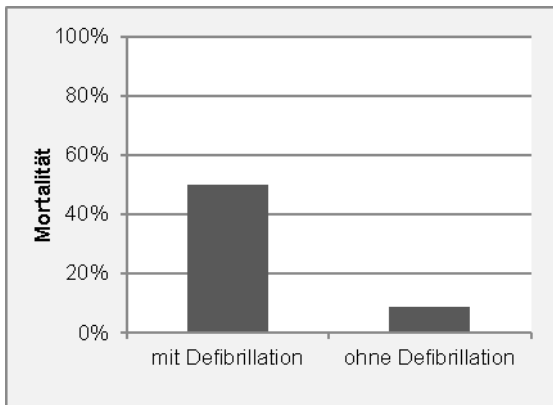
a)



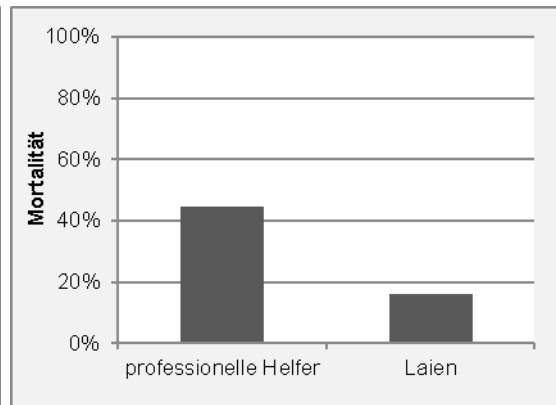
b)



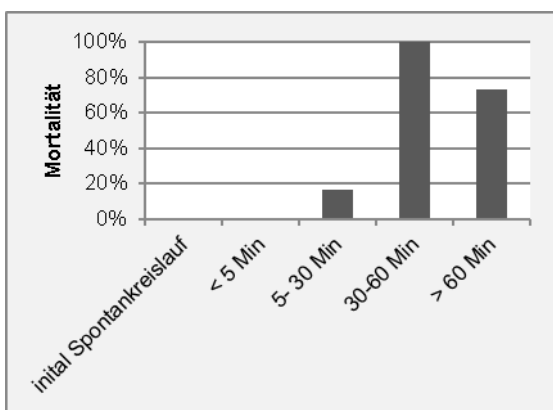
c)



d)



e)



**Abb. 10** | Darstellung der Mortalität bezüglich der Herzfrequenz (a) und Atmung (b) am Unfallort, einer stattgehabten Defibrillation durch den Notarzt (c), der Ersthelfer (d) sowie der Time to ROSC (e)

#### 4.3.4 Körpertemperatur

Neben der bereits genannten Submersionszeit ist die Körpertemperatur derjenige Parameter, dem im Zusammenhang mit dem Outcome nach kindlichen Ertrinkungsunfällen immer wieder besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird. Dabei ist zu beachten, dass die exakte Körpertemperatur durch herkömmliche Messgeräte oft nicht bestimmt werden kann, sodass am Unfallort der klinische Zustand des Patienten für die Einschätzung der Hypothermie entscheidend ist (Singer 2007a).

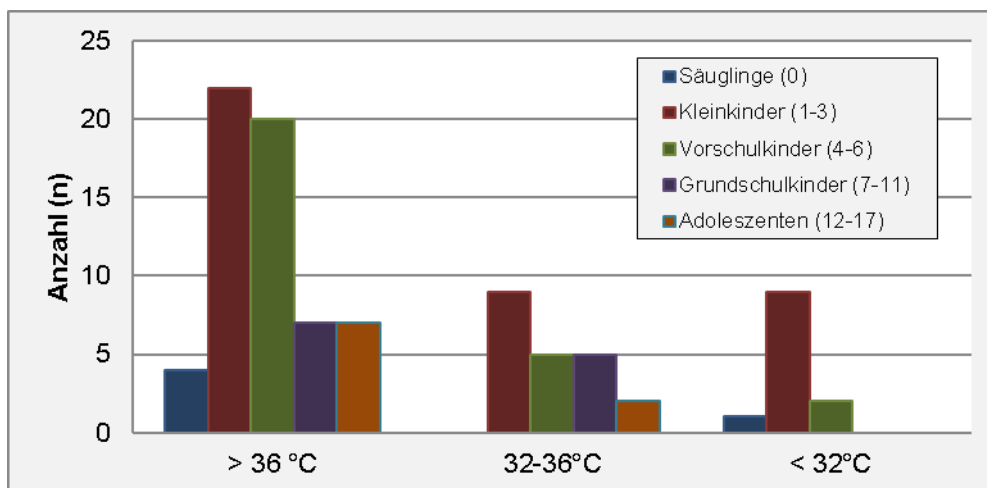
Wie **Abb. 12a** zeigt, lag im Vergleich zur Temperaturmessung am Unfallort, bei der die meisten Kinder leicht unterkühlt waren (70,5 %), die Körpertemperatur bei Ankunft in der Klinik überwiegend im Normbereich (60,0 %). Dies lässt möglicherweise darauf schließen, dass bei einem Teil der (geringfügig unterkühlten) Patienten eine Wiedererwärmung auf dem Transport (durch adäquate Isolation und „Warmzittern“) gelingt.

Auch der Anteil an stark unterkühlten Patienten betrug nur 12,8 % in der Notaufnahme im Gegensatz zu 20,5 % am Unfallort. Auffällig ist, dass vor allem Kleinkinder von einer Hypothermie betroffen waren (**Abb. 11**): 75,0 % der stark unterkühlten Patienten waren zwischen 1 und 3 Jahren alt, was zu der erhöhten Hypothermieeigung im Kleinkindesalter (großes Oberfläche:Volumen-Verhältnis) passt.

Zwischen Körpertemperatur und Überleben zeigte sich in dieser Studie ein signifikanter Zusammenhang (**Tab. 32**): Je niedriger die Temperatur, desto höher die Mortalität. Dies steht im Einklang mit der einschlägigen Literatur (Joanknecht et al. 2015, Al-Qurashi et al. 2019, Raess et al. 2020).

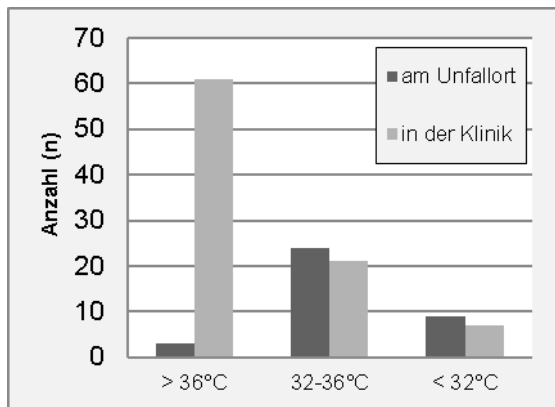
Dieser Zusammenhang (zwischen Hypothermie und Mortalität) gilt in noch stärkerem Maße für die Aufnahmetemperaturen in der Klinik als für die Körpertemperaturen am Unfallort (**Abb. 12b**) – vermutlich, weil eine niedrige Aufnahmetemperatur indirekt eine längere Submersionszeit und/oder langwierige Reanimationsmaßnahmen widerspiegelt. Gerade bei Kindern, die einen prolongierten Herz-Kreislauf-Stillstand aufweisen, nachdem sie in warmem Wasser ertrunken sind, ist davon auszugehen, dass dieser ursächlich nicht durch die Hypothermie, sondern durch die Hypoxie bedingt ist (Olfe et al. 2018). Die Hypothermie ist hier eher ein „Surrogatparameter“ für eine längere Submersion und/oder Reanimation mit resultierender Auskühlung und daher mit einem schlechteren Outcome assoziiert (Auerbach 1990, Singer 2007a, Joanknecht et al. 2015).

Eine Sonderstellung nehmen lediglich die Ertrinkungsunfälle von Kleinkindern in eiskalten Gewässern ein, die – bedingt durch den protektiven Effekt der tiefen Hypothermie - mitunter einen unerwartet günstigen Ausgang nehmen und im Abschnitt 4.5 „Grenzfälle“ beschrieben werden.

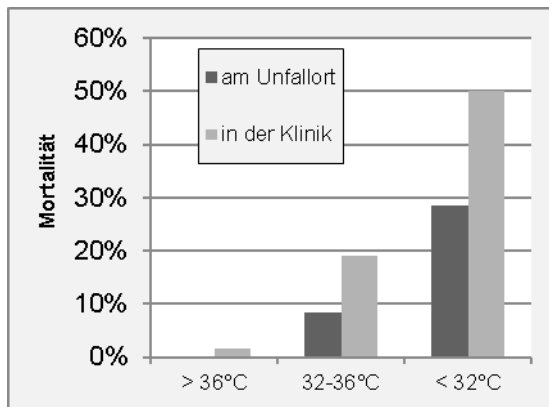


**Abb. 11** / Darstellung der Fallzahlen bezüglich der Körpertemperatur aufgeschlüsselt nach Altersgruppen

a)



b)



**Abb. 12** / Darstellung der Fallzahlen (a) und der Mortalität (b) bezüglich der Körpertemperatur am Unfallort vs. bei Ankunft in der in der Klinik

#### 4.3.5 Notaufnahme

Bezüglich des **Glascow Coma Scale (GCS)** gab es im Hinblick auf das Outcome kaum Unterschiede zwischen den erhobenen Daten am Unfallort und bei Ankunft in der Klinik. Alle Verstorbenen hatten jeweils einen GCS von 3. Die Mortalität bei einem GCS von 3 war ebenfalls ähnlich hoch (52,2 % vs. 50,0 %).

Spack et al. (1997) kommen in ihrer Arbeit über Kinder und Jugendliche, die nach einem Ertrinkungsunfall auf der Intensivstation behandelt werden mussten, zu dem Ergebnis, dass lediglich der Zustand der Patienten bei Ankunft in der Klinik ausschlaggebend für das Outcome sei. Ab einem GCS von  $\leq 4$  könne auch durch eine adäquate Intensivtherapie keine signifikante Verbesserung mehr erzielt werden. Burford et al. (2005) geben einen GCS von 3 als negativen Prädiktor für das Outcome (Versterben oder neurologisches Defizit) an. Einige neuere Studien sehen ebenfalls eine Assoziation zwischen GCS und Outcome (Vähätalo et al. 2014, Joanknecht et al. 2015, Al-Qurashi et al. 2019).

Sowohl der **pH-Wert** als auch das **Kalium** sind indirekte Indikatoren für eine Hypoxie bzw. Hypothermie. Dementsprechend zeigte sich in dieser Studie eine stark erhöhte Mortalität bei einem pH-Wert von unter 7,15 (58,8 %) sowie einem Kalium von über 5,5 mmol/l (60,0 %, **Abb. 13a/b**). Für eine genaue Aufschlüsselung der minimalen pH-Werte sowie maximalen Kalium-Werte siehe **Tab. 33**. Für beide Variablen zeigte sich in der univariaten Analyse ein hochsignifikanter Zusammenhang mit dem Outcome nach Ertrinkungsunfall ( $p < 0,001$ , **Tab. 32**).

Eine ältere kanadische Studie befasste sich mit Kindern und Jugendlichen, die infolge eines Ertrinkungsunfalls auf der Intensivstation behandelt wurden. Der durchschnittliche pH-Wert bei den Überlebenden lag bei 7,16 im Gegensatz zu 6,8 bei den Verstorbenen bzw. Patienten mit persistierendem neurologischem Defizit (Biggart und Bohn 1990). In der neueren landesweiten holländischen Studie von Kieboom et al. (2015) war der initiale pH-Wert signifikant niedriger bei Kindern mit schlechtem Outcome. Allerdings lag der niedrigste pH-Wert, bei dem noch ein gutes Outcome beobachtet wurde, bei 6,75. Zu beachten ist hier, dass der pH-Wert abhängig von der Körpertemperatur ist; so werden bei sehr tiefer Hypothermie und anschließender Blutgasanalyse bei 37 °C (d.h. ohne Rückkorrektur auf die aktuelle Körpertemperatur) mitunter spektakulär niedrige pH-Werte angezeigt (Singer 2002, 2007b).

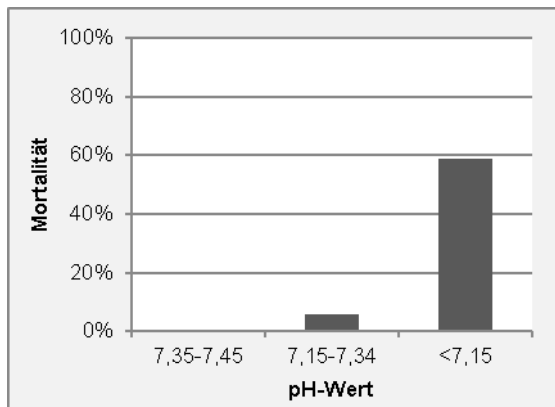
Während viele klinische und biochemische Veränderungen, wie der oben beschriebene pH-Wert, infolge einer Hypothermie unzuverlässige Prädiktoren sein können, wurde von der Hyperkaliämie postuliert, dass sie ein valider prognostischer Faktor sei: Schaller et al. (1990) beschrieben eine Verschiebung des Kaliums vom Intra- in den Extrazellularraum infolge von Azidose und Gewebeschädigung als wahrscheinlichsten Mechanismus für eine deletäre Hyperkaliämie bei Hypothermie. In einer neueren Studie aus Norwegen, in der Patienten zwischen 2 und 72 Jahren mit akzidenteller Hypother-

mie nach Ertrinkungsunfällen untersucht wurden, wurde ein Kaliumwert von >12 mmol/l als negativer Prädiktor für das Outcome beschrieben (Hilmo et al. 2014). In Algorithmen für Erwachsene, die einen hypothermen Kreislaufstillstand infolge von Lawinenglücken (Verschüttungstrauma!) erlitten haben, gilt ein Kaliumspiegel von über 12 mmol/l als Cut-off, bei dem keine Behandlung mittels Herz-Lungen-Maschine mehr empfohlen wird (Brodmann Maeder et al. 2011, Brugger et al. 2001). Dies kann aber nicht bedingungslos auf pädiatrische Patienten nach Ertrinkungsunfällen übertragen werden: Immer wieder wurden Fälle beschrieben, in denen Kinder trotz sehr hoher Kaliumspiegel überlebten (Romlin et al. 2015). In einer retrospektiven Studie aus Wien, in der Patienten nach Erwärmen durch kardiopulmonalen Bypass bei Hypothermie infolge eines Kaltwasser-Ertrinkens analysiert wurden, blieb Kalium ohne prognostischen Wert für das Outcome; es überlebten sogar die Kinder mit den höchsten Kaliumwerten (Wollenek et al. 2002).

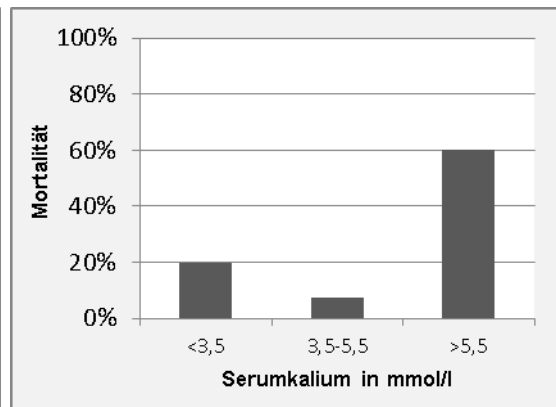
**Tabelle 33** | Aufschlüsselung der Patienten mit pH-Werten < 7,15 sowie mit Kaliumwerten > 5,5 mmol/l

<b>pH &lt; 7,15 (n= 17)</b>		<b>Kalium &gt; 5,5 mmol/l (n= 10)</b>	
<b>überlebt (n= 7)</b>	<b>verstorben (n= 10)</b>	<b>überlebt (n= 4)</b>	<b>verstorben (n=6)</b>
7,1	7,1	5,6 mmol/l	6,0 mmol/l
7,1	7,1	5,6 mmol/l	7,3 mmol/l
7,0	6,8	5,7 mmol/l	7,9 mmol/l
6,9	6,8	5,8 mmol/l	8,1 mmol/l
6,9	6,8		8,7 mmol/l
6,8	6,7		9,3 mmol/l
6,8	6,6		
	6,6		
	6,3		
	„nicht messbar“		

a)



b)



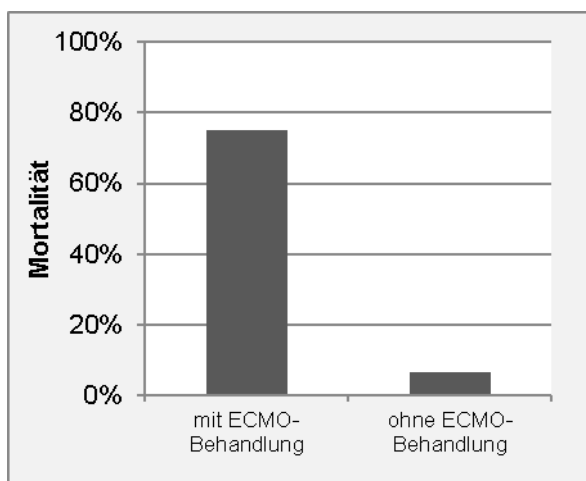
**Abb. 13** | Darstellung der Mortalität bezüglich des minimalen pH-Werts (a) sowie des minimalen bzw. maximalen Kaliumwerts (b) in der Klinik

#### 4.3.6 Intensivstationärer Verlauf

6,0 % der Kinder wurden an der **Herz-Lungen-Maschine** erwärmt, 7,0 % erhielten eine Behandlung mittels **ECMO**. Die Mortalität war hier mit 71,4 % bzw. 75,0 % (**Abb. 14**) deutlich erhöht im Gegensatz zu den Patienten, bei denen die jeweilige Maßnahme nicht notwendig war (7,3 % bei Patienten ohne Herz-Lungen-Maschine bzw. 6,5 % ohne ECMO).

Es gibt viele Studien, die zeigen, dass Patienten von einer Erwärmung durch den kardiopulmonalen Bypass profitieren (Wollenek et al. 2002, Eich et al. 2005, 2007, Guenther et al. 2009, Suominen et al. 2010, Skarda et al. 2012, Champigneulle et al. 2015, Romlin et al. 2015, Burke et al. 2016). Bei schwerer Hypothermie sei dies die effizienteste Methode der Wiedererwärmung mit geringem Risiko für einen „Wiedererwärmungsschock“ (Wollenek et al. 2002). Vor allem wenn keine Asystolie vor Beginn des ECLS (Extracorporeal Life Support) bestanden habe, gebe es gute Chancen auf ein positives Outcome (Burke et al. 2016). Besonders eine langsame Wiedererwärmung mit intermittierender therapeutischer Hypothermie über mehrere Tage scheint sowohl neuroprotektiv zu wirken als auch das Risiko für Komplikationen durch Reperfusion, wie beispielsweise Lungenödem, zu minimieren (Guenther et al. 2009, Suominen et al. 2010, Suen et al. 2017). Die Mortalität unter diesen Patienten ist nichtsdestotrotz hoch. In einer Studie aus Frankreich wurden von 43 Patienten mit einer Körpertemperatur von unter 30°C nach Ertrinkungsunfall 20 durch die ECMO behandelt. Von diesen Patienten überlebten nur 2, was einer Mortalität von 95,4 % bezogen auf das Gesamtkollektiv entspricht (Champigneulle et al. 2015). Die Arbeit aus den USA von Burke et al.

(2016) ergab eine Überlebensrate von 54,0 % unter 198 pädiatrischen Patienten, die nach Ertrinkungsunfall extrakorporal wiedererwärmt wurden. Allerdings war die geringe Mortalität maßgeblich dadurch beeinflusst, dass einem Teil der Patienten ein kardiopulmonaler Bypass gelegt wurde, obwohl kein Kreislaufstillstand vorlag. In einer weiteren amerikanischen Studie überlebten 2 von 9 Kindern mit Hypothermie und Herzstillstand nach kardiopulmonalem Bypass mit gutem neurologischem Outcome. Dies entspricht einer Mortalität von 77,8 %. Die Patienten, die von der Erwärmung an der ECMO profitierten und mit gutem Outcome entlassen werden konnten, zeigten schnell Anzeichen für eine positive Entwicklung. Nach mehr als 12 Stunden hämodynamischer Instabilität gab es hier keine Überlebenden mehr (Skarda et al. 2012). In einem 2019 von Bauman et al. veröffentlichten Case Report und Review wird die extrakorporale Membranoxygenierung als wichtiger Bestandteil der Therapie von hypothermen pädiatrischen Patienten nach Ertrinkungsunfall beschrieben.



**Abb. 14** | Darstellung der Mortalität mit und ohne ECMO-Behandlung

Von allen überlebenden Kindern in der vorliegenden Studie erlitten 5 (4,9 %) im Verlauf ein **neurologisches Defizit** bzw. mussten im Anschluss an den Krankenhausaufenthalt in einer Rehaklinik behandelt werden. Mit 5,5 % kamen Thüner und Sefrin (2006) auf einen ähnlich hohen Anteil an Kindern und Jugendlichen, die mit neurologischem Defizit überlebten. In den USA erlitten sogar 5-10 % der Kinder hypoxische Enzephalopathien (Burford et al. 2005, Weiss et al. 2010).

Insgesamt ist über das mittel- bis langfristige neurologische Outcome von Patienten nach Ertrinkungsunfall wenig bekannt (Suominen und Vähätalo 2012). Erleiden Kinder nach einem Submersionseignis ein schweres neurologisches Defizit, ist die Langzeit-



Mortalität aufgrund von Sekundärkomplikationen erhöht (Reynolds et al. 2017). Eine ältere Studie zeigte aber auch, dass von den Kindern, die mit hypoxischem Hirnschaden nach Ertrinkungsunfall in eine Rehabilitationsklinik entlassen worden waren, in einem Zeitraum von 19 Monaten 50,0 % wieder aus dem Koma erwachten (Heindl und Laub 1996).

#### 4.4 Multivariate Analyse

**Tabelle 34 | Logistische Regression: Prädiktoren für ein gutes Outcome (Überleben)**

Variable	OR	95 % KI		p- Wert*
		UG	OG	
<b>Demographie:</b>				
Alter				
pro Jahr	0,931	0,864	1,004	0,0629
Geschlecht				
m vs. w	0,431	0,187	0,993	0,0480
Vorerkrankungen				
ja vs. nein	0,216	0,071	0,633	0,0074
<b>am Unfallort:</b>				
Monat				
Mai-Sep vs. Okt-Apr	1,568	0,792	3,372	0,2500
Ort				
Badeanstalt vs. privates Umfeld	4,578	1,462	14,337	0,0090
offenes Gewässer vs. privates Umfeld	0,957	0,300	3,056	0,9411
Submersionszeit				
< 5 min vs. > 30 min	24,524	1,858	323,703	0,0008
5-15 min vs. > 30 min	0,333	0,004	0,004	0,3112
15-30 min vs. > 30 min	0,152	0,003	7,788	0,0878
Ersthelfer				
Laien vs. professionelle Helfer	4,180	1,025	17,042	0,0461
Herzfrequenz (HF)				
Asystolie vs. Bradykardie	0,411	0,032	5,282	0,0020
normale HF vs. Bradykardie	55,809	1,436	>999,999	0,0091
Tachykardie vs. Bradykardie	3,000	0,219	41,070	0,9504
Atmung				
Apnoe vs. Spontanatmung	0,003	<0,001	0,063	0,0002
Time to ROSC				
< 5 min vs. initial Spontankreislauf	7,787	0,412	147,111	0,0166

5-30 min vs. initial Spontankreislauf	0,664	0,085	5,159	0,5729
30-60 min vs. initial Spontankreislauf	0,026	<0,001	0,839	0,0598
> 60 min vs initial Spontankreislauf	0,071	0,019	0,258	0,0117
<b>In der Notaufnahme:</b>				
Körpertemperatur				
< 32 vs. $\geq$ 36 °C	0,025	0,003	0,181	0,0009
32-35,9 vs. $\geq$ 36 °C	0,096	0,014	0,676	0,5082
<b>Laborwerte:</b>				
pH-Wert				
7,15-7,35 vs. < 7,15	21,159	4,236	105,687	0,4925
7,35-7,45 vs. < 7,15	111,930	5,669	>999,999	0,0334
Kalium				
3,5-5,5 vs. > 5,5 mmol/l	16,415	3,532	76,289	0,0063
< 3,5 vs. > 5,5 mmol/l	4,333	0,399	47,042	0,9514

*\*Analysis of Penalized Maximum Likelihood Estimates mittels Wald Chi-Quadrat-Test*

Wie in **Tab. 34** ersichtlich, lag für einige Parameter, die mittels logistischer Regression analysiert wurden, eine statistische Signifikanz vor. Wie bereits ausführlich erläutert und in zahlreichen anderen Studien gezeigt, gehen dabei eine lange Submersionszeit und eine niedrige Körpertemperatur mit einer reduzierten Überlebenschance einher. Außerdem scheinen Vorerkrankungen einen ungünstigen Prädiktor darzustellen. Dies kann mit der Häufung vorerkrankter Kinder in einer Metropolregion in Verbindung gebracht werden oder auch dadurch bedingt sein, dass vorerkrankte Kinder, wenn sie beispielsweise im Wasser von einem Krampfanfall überrascht werden, besonders hilflos sind. Auffällig ist auch der „protektive“ Effekt von Badeanstalten, die ja speziell in den Sommermonaten den häufigsten Unfallort darstellen, und in denen immer Laien-Ersthelfer anwesend sind, deren Eingreifen nachweislich hilfreich ist (Kyriacou et al. 1994).

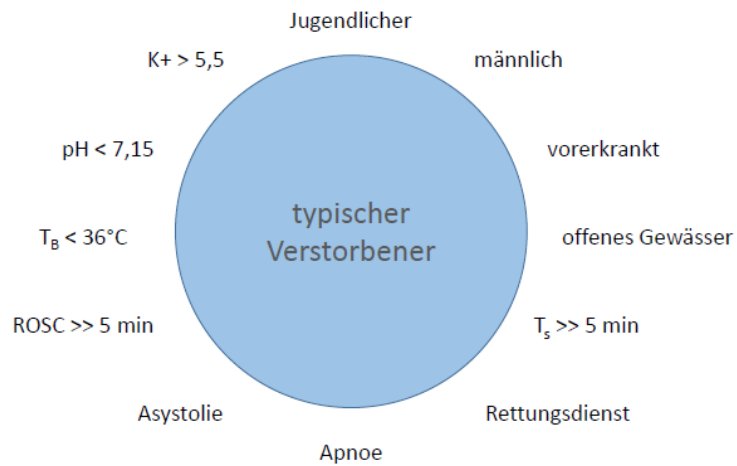
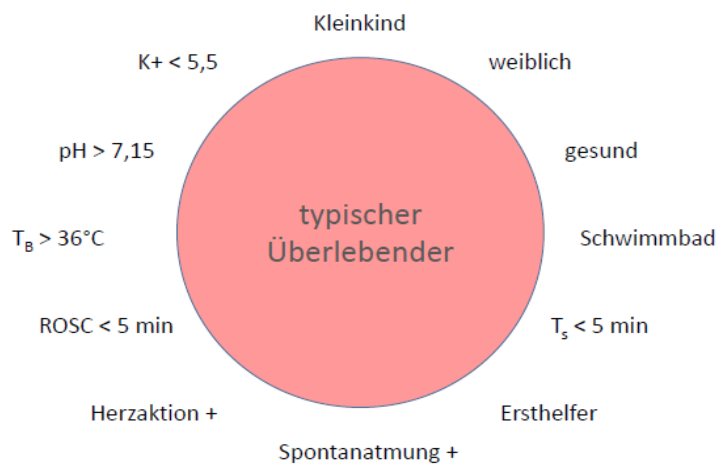
Eine vorhandene bzw. nicht vorhandene Atmung am Unfallort erwies sich in der statistischen Analyse als herausragender signifikanter Parameter. Eine Apnoe hatte in der vorliegenden Studienpopulation den mit Abstand deutlichsten negativen Einfluss auf das Überleben, während diejenigen Patienten, die am Unfallort eine Spontanatmung aufwiesen, die größten Überlebenschancen hatten. Dies unterstreicht die entscheidende Bedeutung der Dauer der Hypoxie für das Outcome nach Ertrinkungsunfällen.

Womöglich ist dies auch mit der Beobachtung zu vereinbaren, die Farr et al. (2015) in ihrer Studie aus Texas schildern. Von den dort untersuchten 281 Kindern und Jugendlichen überlebten alle Patienten, die sich nach dem Ertrinkungsunfall übergeben mussten, während bei keinem der Ertrinkungsopfer, die innerhalb von 24 Stunden verstarben, Erbrechen dokumentiert war. Das Erbrechen im Rahmen der Rettungsmaßnahmen mag hier unter anderem Anzeichen für die vorhandene bzw. früh wieder eintretende Spontanatmung nach einem Submersionsereignis sein.

Unter den Kindern und Jugendlichen, bei denen in der vorliegenden Studie eine Apnoe am Unfallort festgestellt wurde, hatten diejenigen mit einer tiefen Hypothermie ( $<32\text{ °C}$ ) die beste Überlebensquote. Hier überlebten allerdings trotzdem nur 6 von 10 Kindern. Interessant war außerdem, dass alle Apnoe-Patienten, die im Zeitraum von Mai bis September verunglückt waren, starben. Von denjenigen Patienten, welche zwischen Oktober und April verunglückten ( $n=8$ ), überlebten immerhin 5 (62,5 %). Die meisten Überlebenden waren dabei im privaten Umfeld, während sich die von Mai bis September Verstorbenen auf alle Kategorien gleichmäßig verteilten. Davon ausgehend, dass private Gartenteiche wie offene Gewässer in den Wintermonaten kältere Wassertemperaturen aufweisen, würde diese Beobachtung den protektiven Einfluss einer Hypothermie untermauern.

Zu einem ähnlichen Ergebnis in Bezug auf eine Asystolie kommen Biggart und Bohn (1990) in einer älteren Studie, die das Outcome von Kindern, die nach Ertrinkungsunfall auf einer Intensivstation behandelt werden mussten, untersucht. Die Kinder, die trotz Asystolie überlebten, waren allesamt tief hypotherm ( $<33\text{ °C}$ ), während von denjenigen, die mit Asystolie und einer Körpertemperatur über  $33\text{ °C}$  aufgenommen wurden, alle verstarben. Hieraus ergibt sich der Leitsatz „Ein Patient ist erst dann tot, wenn er warm und tot ist“ (Gilbert et al. 2000, Hilmo et al. 2014).

Alles in allem lassen die Daten ein typisches Bild der Überlebenden bzw. Verstorbenen pädiatrischer Ertrinkungsunfälle erkennen (**Abb. 15**), das gut mit klinischen Erfahrungen auf diesem Gebiet übereinstimmt. Neben den bekannten epidemiologischen, individuellen und situativen Prognosefaktoren erweist sich das Vorhandensein von „irgendwelchen“ Lebenszeichen am Unfallort als ausgesprochen günstiger Prädiktor des Überlebens, während Apnoe und Asystolie, insbesondere, wenn sie nicht binnen kurzer Zeit auf eingeleitete Erstmaßnahmen ansprechen, ein ungünstiges Vorzeichen darstellen.



$T_B$  = Körpertemperatur zum Zeitpunkt der Bergung;  $T_s$  = Submersionszeit; ROSC: Return of Spontaneous Circulation

**Abb. 15** | Schema Überlebende vs. Verstorbene. Die Abbildung illustriert die Eigenschaften, die gemäß der Ergebnisse der vorliegenden Studie typischerweise mit einem Überleben bzw. Versterben nach Ertrinkungsunfall vergesellschaftet waren.

## 4.5 Grenzfälle

Obwohl die Submersionszeit eine zentrale prognostische Rolle spielt (**Tab. 1**), wird immer wieder von mehr oder weniger spektakulären Einzelfällen berichtet, in denen das Ertrinken entweder trotz langer Submersionszeit überlebt wurde oder aber Patienten nur kurz untergetaucht waren und dennoch verstarben.

Wie schon unter 1.4 erläutert, sind es vor allem Kleinkinder, die im Zusammenhang mit einem Sturz in eiskalte Gewässer und einer damit verbundenen protektiven Hypothermie auch längere Submersionszeiten weitgehend schadlos überleben (Hughes et al. 2002, Wollenek et al. 2002, Suominen et al. 2010, Romlin et al. 2015, Bauman et al. 2019). Bei den Fällen hingegen, die trotz kurzer Submersionszeit tödlich enden, handelt es sich oft um Jugendliche oder junge Erwachsene, die unvermittelt untergehen und unmittelbar danach nur noch tot geborgen werden können (Tester et al. 2011).

**Tab. 35** zeigt die Charakteristika der in dieser Studie beobachteten „Grenzfälle“, von denen einer der erstgenannten und drei der letztgenannten Kategorie zuzurechnen sind.

**Tabelle 35** | Vergleich der Charakteristika von Patienten mit langer Submersionszeit und gutem Outcome vs. kurzen Submersionszeiten und schlechtem Outcome.

	Submersionszeit >30 Minuten + überlebt	Submersionszeit <5 Minuten + verstorben		
	Patient A1	Patient B1	Patient B2	Patient B3
Alter	5 Jahre	1 Jahr	4 Jahre	9 Jahre
Geschlecht	weiblich	männlich	männlich	weiblich
Vorerkrankungen	nein	keine	keine	epileptische Erkrankung
Unfallmonat	April	August	Juli	Dezember
Unfallort	offenes Gewässer	privates Umfeld	Badeanstalt	privates Umfeld
Ersthelfer	professionelle Helfer	Laien	Laien	Laien
CPR am Unfallort	ja	ja	ja	ja
Laienreanimation	nein	ja	ja	ja
Katecholamine	ja	ja	ja	ja

Defibrillation	ja	nein	nein	nein
GCS Unfallort	3	3	3	3
Atmung Unfallort	Apnoe	Apnoe	Apnoe	Apnoe
Herzfrequenz Unfallort	Asystolie	Asystolie	Asystolie	Asystolie
Körpertemperatur Unfallort	< 32 °C	k. A.	32-35,9°C	k. A.
Körpertemperatur Klinik	<32°C	32-35,9°C	36-37,5°C	32-35,9°C
GCS Klinik	3	3	3	3
Atmung Klinik	beatmet	beatmet	beatmet	beatmet
minimaler pH	< 7,0	< 7,0	< 7,0	7,15-7,34
ECMO	ja (72h)	nein	nein	nein
induzierte Hypothermie	ja	ja	ja	ja
time to ROSC	k. A.	> 60 Min	> 60 Min	5-30 Min
neurologisches Defizit	reversibel	---	---	---
Todesursache	---	posthypoxisch	posthypoxisch	Hirntod (Organspende)

CPR: Cardiopulmonary Resuscitation; GCS: Glasgow Coma Scale; ECMO: Extracorporale Membranoxygenierung; ROSC: Return of Spontaneous Circulation

#### 4.5.1 Gutes Outcome trotz langer Submersionszeit

Die Patientin, die mehr als 30 Minuten vermisst war, verunglückte im April in der zu dieser Jahreszeit noch „eiskalten“ Elbe. Ihre Körpertemperatur lag bei 24 °C und es liegt nahe, dass die tiefe Hypothermie in diesem Fall der entscheidende protektive Faktor war.

Wie schon in der Einleitung beschrieben, haben Kleinkinder insofern günstige physiologische Voraussetzungen für ein Überleben in eiskaltem Wasser, als ihre Kältegegenregulation durch das schnelle Absinken der Körpertemperatur so rasch „überfahren“ wird, dass sich der Schutzeffekt der Hypothermie bereits ausbildet, bevor eine Hypoxie einsetzt. Dies wird umso wahrscheinlicher, wenn das Kind, wie es sich in diesem Fall

(nach Angaben der Feuerwehr) zugetragen hatte, nicht von Anfang an komplett untergetaucht ist, sondern vielmehr noch im Wasser treibt und dadurch nicht vollständig „anoxisch“ ist.

Der hier beschriebene Fall reiht sich ein in eine ganze Reihe ähnlicher Einzelfallberichte (überlebter Ertrinkungsunfälle von Kleinkindern in eiskalten Gewässern) in der wissenschaftlichen Literatur (Hughes et al. 2002, Romlin et al. 2015, Kriz et al. 2017), die aber – wie auch die vorliegende Statistik zeigt – nicht darüber hinwegtäuschen dürfen, dass diese Situation die absolute Ausnahme darstellt.

Dies gilt auch für die Apnoe am Unfallort, die sich in dieser Studie als negativer Prädiktor des Überlebens herausgestellt hat und offensichtlich nur ausnahmsweise überlebt werden kann, wenn z.B., wie hier, eine stärkere kältebedingte Drosselung der Stoffwechselrate vorliegt.

#### *4.5.2 Letales Outcome trotz kurzer Submersionszeit*

Von dem umgekehrten Grenzfall, einem fatalen Outcome trotz kurzer Submersionszeit, sind, wie bereits erwähnt, typischerweise junge Erwachsene betroffen, die in scheinbar risikoarmem Setting und ohne erklärbare Ursache untergehen und nicht wieder auftauchen. Eine Theorie für die Ursache solcher Ereignisse ist der „autonome Konflikt“: Durch das Zusammentreffen vagaler (z.B. durch Eintauchen des Gesichtes in Wasser oder Wiedereinsetzen der Atmung nach Luftanhalten) mit sympathischen Stimuli (z.B. durch Kälte, körperliche Anstrengung oder Angst) kommt es zu antagonistisch wirkenden negativ und positiv chronotropen Einflüssen auf das Herz (Tipton 2014). Das simultane Auftreten einer sympathisch getriggerten Tachykardie und einer parasympathisch induzierten Bradykardie kann zu Arrhythmien führen. Vor allem durch prädisponierende Faktoren wie eine koronare Herzkrankheit oder unerkannte präexistente Erregungsleitungsstörungen wie das Long-QT-Syndrom wird das Risiko erhöht, dass solche Arrhythmien tödlich verlaufen (Shattock und Tipton 2012). Der vegetative Konflikt bzw. kardiale Arrhythmien als Todesursache nach einem Submersionsereignis sind jedoch äußerst schwierig zu diagnostizieren, da sie post mortem nicht mehr detektierbar sind und es häufig durch terminale Schnappatmung zur Inhalation von Wasser in die Lunge kommt, was ein „Ertrinken“ vortäuschen kann (Bierens et al. 2016).

Solche Fälle, wie vorstehend beschrieben, sind jedoch in der vorliegenden Auswertung von Ertrinkungsunfällen im Kindes- und Jugendalter nicht vorgekommen. Bei den drei Kindern dieser Studie, die nur kurze Submersionszeiten aufwiesen und trotzdem ver-

starben, handelte es sich um jüngere Kinder, die in vergleichsweise „warmer“ Umgebung verunglückt sind. Sofern die Körpertemperatur abgesunken war, ist die Hypothermie vermutlich während der Wiederbelebung und nicht durch den Ertrinkungsunfall selbst hervorgerufen worden, sodass die deletäre Hypoxie schon vorher eingetreten war. Die vermeintlich kurzen Submersionszeiten täuschen wahrscheinlich darüber hinweg, wie lange die Kinder tatsächlich unter Wasser gewesen waren – vermutlich waren sie bereits untergetaucht, als sie noch gar nicht vermisst wurden. Die unbeaufsichtigten Zeiten mögen zudem im Hinblick auf eine mögliche Vernachlässigung der Aufsichtspflicht bewusst oder unbewusst verkürzt angegeben worden sein. Im Falle der Epilepsie muss von einem Anfall ausgegangen werden, der, wie bereits unter 4.2 beschrieben, mutmaßlich aufgrund der besonderen Wehrlosigkeit ein besonders hohes Risiko für einen letal endenden Ertrinkungsunfall birgt (Orlowski et al. 1982, Wintemute 1990, Diekema et al. 1993, Burford et al. 2005, Franklin et al. 2017). Alle drei Fälle belegen eindrucksvoll, dass asystol aufgefundene Patienten in einem solchen Setting praktisch nicht mehr zu retten sind.



## 5 Zusammenfassung

**Hintergrund und Zielstellung:** Das Ertrinken zählt zu den häufigsten unfallbedingten Todesursachen bei Kindern. Die Submersionszeit (Ts) gilt als einziger belastbarer Prädiktor des Outcome. Jedoch sind die untersuchten Kollektive oft heterogen und schwer vergleichbar. Daher sollte hier das Unfallgeschehen in einer deutschen Metropolregion möglichst vollständig auf Prognosefaktoren und besonders un-/günstige Fallkonstellationen untersucht werden.

**Material und Methoden:** Dazu wurden retrospektiv alle Ertrinkungsunfälle von Personen zwischen 0 und 18 Jahren ausgewertet, die vom 01.01.2007 bis zum 31.12.2016 an einer der fünf Hamburger Kinderkliniken behandelt bzw. am Institut für Rechtsmedizin nachuntersucht worden waren. Die Datenerhebung folgte den Utstein-Kriterien. Neben der deskriptiven (epidemiologischen) Statistik wurde eine uni-/multivariate Analyse klinischer Prädiktoren des Überlebens vorgenommen. Gesondert betrachtet wurden Fälle, die trotz kurzer Ts fatal bzw. trotz langer Ts günstig ausgegangen waren.

**Ergebnisse und Diskussion:** Es konnten 141 Patienten eingeschlossen werden, von denen 103 (73 %) den Ertrinkungsunfall überlebt hatten und 38 (27 %) verstorben (davon 15 tot geborgen) waren. Der in der Literatur beschriebene doppelte Häufigkeitsgipfel mit einem Überwiegen des männlichen Geschlechts sowohl im Kleinkind- als auch im Jugendalter fand sich ebenso bestätigt wie die Saisonalität mit einer Bevorzugung der Sommermonate. Lange Submersionszeiten und niedrige Körpertemperaturen korrelierten mit schlechtem, frühzeitige (Laien-)Reanimation und geringe Laborwertverschiebungen mit gutem Outcome. Neben männlichem Geschlecht (OR 0.431, 95 %-KI 0.187-0.993) und Vorerkrankungen (OR 0.216, 95 %-KI 0.071-0.663) erwies sich die Apnoe am Unfallort als signifikant negativer Prädiktor des Überlebens (OR 0.003, 95 %-KI <0.001-0.063). Ein Fall (5 J.) eines unbeeinträchtigten Überlebens trotz Ts > 30 min wurde durch tiefe Hypothermie, konsequente Reanimation und extrakorporale Wiedererwärmung begünstigt. Drei Fälle (1/4/9 J.) mit tödlichem Ausgang trotz Ts < 5 min hatten in warmer Umgebung stattgefunden und eine initiale Asystolie aufgewiesen.

**Schlussfolgerung:** Während Asystolie auch nach vermeintlich kurzer Ts eine kritische Hypoxie anzeigt, stellt die erhaltene Atmung am Unfallort einen signifikanten Prädiktor des Überlebens bei kindlichen Ertrinkungsunfällen dar. Günstiges Outcome bei langer Ts und niedriger Körpertemperatur ist selten, eine konsequente Reanimation und extrakorporale Wiedererwärmung hierbei ggf. entscheidend.

## **Abstract**

**Introduction:** Drowning is one of the most common causes of accidental death in children. Submersion time (Ts) is considered the only reliable predictor of outcome. However, the studied cohorts were often heterogeneous and difficult to compare. Therefore, the aim here was to analyse drowning accidents in a German metropolitan region as completely as possible for prognostic factors and particularly unfavourable case constellations.

**Methods:** For this purpose, all drowning accidents of persons aged between 0 and 18 years who had been treated at one of the five children's hospitals in Hamburg or followed up at the Institute of Forensic Medicine from 01.01.2007 to 31.12.2016 were retrospectively evaluated. Data collection followed the Utstein criteria. In addition to descriptive (epidemiological) statistics, a uni-/multivariate analysis of clinical predictors of survival was performed. Cases that had fatal outcomes despite short Ts or favourable outcomes despite long Ts were considered separately.

**Results:** 141 patients of whom 103 (73 %) survived the drowning accident and 38 (27 %) died (of whom 15 were recovered dead) were included. The double peak of incidence described in the literature, with a predominance of the male sex in both infancy and adolescence, was confirmed, as was seasonality with a preference for the summer months. Long submersion times and low body temperatures correlated with poor outcomes, early (lay) resuscitation and minor shifts in lab values were associated with good outcomes. In addition to male sex (OR 0.431, 95 % CI 0.187-0.993) and pre-existing conditions (OR 0.216, 95 % CI 0.071-0.663), apnea at the scene proved to be a significant negative predictor of survival (OR 0.003, 95 % CI <0.001-0.063). In one case (5 yr) the unimpaired survival despite Ts > 30 min was promoted by deep hypothermia, consistent resuscitation, and extracorporeal rewarming. Three cases (1/4/9 yr) with fatal outcomes despite Ts < 5 min occurred in a warm environment and exhibited initial asystole.

**Conclusions:** While asystole indicates critical hypoxia even after presumed short Ts, preserved breathing at the scene is a significant predictor of survival in childhood drowning accidents. Favourable outcomes at long Ts and low body temperature are rare, and consistent resuscitation and extracorporeal rewarming may be decisive in this setting.

## **6 Abkürzungsverzeichnis**

ARDS – Acute Respiratory Distress Syndrome

AKK – Altonaer Kinderkrankenhaus

AK Nord – Asklepios Klinik Nord-Heidelberg

CPR – Kardiopulmonale Reanimation

DIC – disseminierter intravasale Koagulopathie

DLRG – Deutsche Lebens-Rettungs-Gesellschaft

ECLS – Extracorporeal Life Support

ECMO – extrakorporale Membranoxygenierung

GCS – Glasgow Coma Scale

HF – Herzfrequenz

HLM – Herz-Lungen-Maschine

ICD – International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems

ND – neurologisches Defizit

OHCA – Out of Hospital Cardiac Arrest

ROSC – Return of Spontaneous Circulation

SND – schwere neurologische Defizite

UHZ – Universitäres Herzzentrum

UKE – Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf

WHO – World Health Organization

## 7 Literaturverzeichnis

- Al-Qurashi FO, Yousef AA, Aljoudi A, Alzahrani SM, Al-Jawder NY, Al-Ahmar AK, Al-Majed MS, Abouollo HM (2019) A Review of Nonfatal Drowning in the Pediatric Age Group: A 10-Year Experience at a University Hospital in Saudi Arabia. *Pediatric Emergency Care*, 35(11):782–786.
- Auerbach PS (1990) Some People Are Dead When They're Cold and Dead. *JAMA*, 264(14):1856–1857.
- Bauman BD, Louiselle A, Nygaard RM, Vakayil V, Acton R, Hess D, Saltzman D, Kreykes N, Fischer G, Louie J, et al. (2019) Treatment of Hypothermic Cardiac Arrest in the Pediatric Drowning Victim, a Case Report, and Systematic Review. *Pediatric Emergency Care*, 37(10): e653-e659.
- van Beeck EF, Branche CM, Szpilman D, Modell JH, Bierens JJLM (2005) A new definition of drowning: towards documentation and prevention of a global public health problem. *Bulletin of the World Health Organization*, 83:853–856.
- Bierens JJLM, Lunetta P, Tipton M, Warner DS (2016) Physiology Of Drowning: A Review. *Physiology (Bethesda, Md.)*, 31(2):147–166.
- Biggart MJ, Bohn DJ (1990) Effect of hypothermia and cardiac arrest on outcome of near-drowning accidents in children. *The Journal of Pediatrics*, 117(2 Pt 1):179–183.
- Brenner RA, Trumble AC, Smith GS, Kessler EP, Overpeck MD (2001) Where Children Drown, United States, 1995. *Pediatrics*, 108(1):85–89.
- Brodmann Maeder M, Martin D, Balthasar E, Stefan L, Roland D, Lars E, Luca M, Markus N, Mario S, Eva R-K, et al. (2011) The Bernese Hypothermia Algorithm: A consensus paper on in-hospital decision-making and treatment of patients in hypothermic cardiac arrest at an alpine level 1 trauma centre. *Injury*, 42(5):539–543.
- Brugger H, Durrer B, Adler-Kastner L, Falk M, Tschirky F (2001) Field management of avalanche victims. *Resuscitation*, 51(1):7–15.

- Bugeja L, Franklin RC (2013) An analysis of stratagems to reduce drowning deaths of young children in private swimming pools and spas in Victoria, Australia. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 20(3):282–294.
- Burford AE, Ryan LM, Stone BJ, Hirshon JM, Klein BL (2005) Drowning and Near-Drowning in Children and Adolescents: A Succinct Review for Emergency Physicians and Nurses. *Pediatric Emergency Care*, 21(9):610–616.
- Burke CR, Chan T, Brogan TV, Lequier L, Thiagarajan RR, Rycus PT, McMullan DM (2016) Extracorporeal life support for victims of drowning. *Resuscitation*, 104:19–23.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2012) Drowning--United States, 2005-2009. *MMWR. Morbidity and mortality weekly report*, 61(19):344–347.
- Champigneulle B, Bellenfant-Zegdi F, Follin A, Lebard C, Guinvarch A, Thomas F, Pirracchio R, Journois D (2015) Extracorporeal life support (ECLS) for refractory cardiac arrest after drowning: an 11-year experience. *Resuscitation*, 88:126–131.
- Cohen N, Scolnik D, Rimon A, Balla U, Glatstein M (2018) Childhood Drowning: Review of Patients Presenting to the Emergency Departments of 2 Large Tertiary Care Pediatric Hospitals Near and Distant From the Sea Coast. *Pediatric Emergency Care*, 36(5): e258-e262.
- Cohen RH, Matter KC, Sinclair SA, Smith GA, Xiang H (2008) Unintentional pediatric submersion-injury-related hospitalizations in the United States, 2003. *Injury Prevention*, 14(2):131–135.
- Diekema DS, Quan L, Holt VL (1993) Epilepsy as a Risk Factor for Submersion Injury in Children. *Pediatrics*, 91(3):612–616.
- DLRG e.V. (2016) Pressemitteilung Statistik Ertrinken. Hannover/Bad Nenndorf [Online im Internet.] URL: [https://www.dlrg.de/fileadmin/user\\_upload/DLRG.de/Fuer-Mitglieder/AA\\_DLRG2019/die\\_dlrg/Presse/Statistik\\_Ertrinken/2015/dlrg-presse-ertrinken-pm-2015.pdf](https://www.dlrg.de/fileadmin/user_upload/DLRG.de/Fuer-Mitglieder/AA_DLRG2019/die_dlrg/Presse/Statistik_Ertrinken/2015/dlrg-presse-ertrinken-pm-2015.pdf) [Stand: 5.5.2020, 11:57].

- DLRG e.V. (2017) Pressemitteilung Statistik Ertrinken. Berlin/Bad Nenndorf  
[Online im Internet.] URL:  
[https://www.dlrg.de/fileadmin/user\\_upload/DLRG.de/Fuer-Mitglieder/AA\\_DLRG2019/die\\_dlrg/Presse/Statistik\\_Ertrinken/2016/dlrg-presse-ertrinken-pm-2016.pdf](https://www.dlrg.de/fileadmin/user_upload/DLRG.de/Fuer-Mitglieder/AA_DLRG2019/die_dlrg/Presse/Statistik_Ertrinken/2016/dlrg-presse-ertrinken-pm-2016.pdf) [Stand: 24.02.2021, 14:24].
- DLRG e.V. (2018) Statistik Ertrinken. Bad Nenndorf  
[Online im Internet.] URL:  
<https://www.dlrg.de/informieren/die-dlrg/presse/statistik-ertrinken/vorjahre/>  
[Stand: 10.08.2020, 13:59].
- DLRG e.V. (2020) Pressemitteilung Statistik Ertrinken 2019. München/Bad Nenndorf  
[Online im Internet.] URL:  
[https://www.dlrg.de/fileadmin/user\\_upload/DLRG.de/Fuer-Mitglieder/AA\\_DLRG2019/die\\_dlrg/Presse/Statistik\\_Ertrinken/2019/dlrg-presse-ertrinken-pressemitteilung-2019.pdf](https://www.dlrg.de/fileadmin/user_upload/DLRG.de/Fuer-Mitglieder/AA_DLRG2019/die_dlrg/Presse/Statistik_Ertrinken/2019/dlrg-presse-ertrinken-pressemitteilung-2019.pdf) [Stand: 20.03.2021, 11:13].
- Driscoll TR, Harrison JA, Steenkamp M (2004) Review of the role of alcohol in drowning associated with recreational aquatic activity. *Injury Prevention: Journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention*, 10(2):107–113.
- Eich C, Bräuer A, Kettler D (2005) Recovery of a hypothermic drowned child after resuscitation with cardiopulmonary bypass followed by prolonged extracorporeal membrane oxygenation. *Resuscitation*, 67(1):145–148.
- Eich C, Bräuer A, Timmermann A, Schwarz SKW, Russo SG, Neubert K, Graf BM, Aleksic I (2007) Outcome of 12 drowned children with attempted resuscitation on cardiopulmonary bypass: An analysis of variables based on the “Utstein Style for Drowning”. *Resuscitation*, 75(1):42–52.
- Ellsäßer G (2017) Unfälle, Gewalt, Selbstverletzung bei Kindern und Jugendlichen. Ergebnisse der amtlichen Statistik zum Verletzungsgeschehen 2014. Fachbericht. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden  
[Online im Internet.] URL:  
[https://www.gbebund.de/pdf/Unfaelle\\_Gewalt\\_Selbstverletzung\\_2017.pdf#search=%22Ertrinken%22](https://www.gbebund.de/pdf/Unfaelle_Gewalt_Selbstverletzung_2017.pdf#search=%22Ertrinken%22) [Stand: 6.3.2021, 16:42].

- Farr KM, Camp EA, Yusuf S, Shenoi RP (2015) Vomiting is not associated with poor outcomes in pediatric victims of unintentional submersions. *The American Journal of Emergency Medicine*, 33(5):626–630.
- Franklin RC, Pearn JH, Peden AE (2017) Drowning fatalities in childhood: the role of pre-existing medical conditions. *Archives of Disease in Childhood*, 102(10):888–893.
- Gesundheitsberichterstattung des Bundes (2017) Tabelle: Ertrinken - Sterbefälle Sterbeziffern (je 100.000 Einwohner, altersstandardisiert) (ab 1998), statistisches Bundesamt, Zweigstelle Bonn  
[Online im Internet.] URL:  
[http://www.gbebund.de/oowa921install/servlet/oowa/aw92/WS0100/\\_XWD\\_FORMPROC?TARGET=&PAGE=\\_XWD\\_2&OPINDEX=1&HANDLER=XS\\_ROTATE\\_ADVANCED&DATACUBE=\\_XWD\\_30&D.000=PAGE&D.001=PAGE&D.002=ACROSS&D.003=PAGE&D.004=PAGE&D.946=DOWN&D.011=PAGE&D.100=ACROSS](http://www.gbebund.de/oowa921install/servlet/oowa/aw92/WS0100/_XWD_FORMPROC?TARGET=&PAGE=_XWD_2&OPINDEX=1&HANDLER=XS_ROTATE_ADVANCED&DATACUBE=_XWD_30&D.000=PAGE&D.001=PAGE&D.002=ACROSS&D.003=PAGE&D.004=PAGE&D.946=DOWN&D.011=PAGE&D.100=ACROSS) [Stand: 13.10.2020, 16:07].
- Gilbert M, Busund R, Skagseth A, Nilsen PA, Solbø JP (2000) Resuscitation from accidental hypothermia of 13.7 degrees C with circulatory arrest. *Lancet (London, England)*, 355(9201):375–376.
- Gilchrist J, Gotsch K, Ryan G (2004) Nonfatal and fatal drownings in recreational water settings - United States, 2001-2002. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 53(21):447–450.
- Gries A (2001) Emergency management in near-drowning and accidental hypothermia. *Der Anaesthesist*, 50(11):887–898; quiz 899, 901.
- Guenther U, Varelmann D, Putensen C, Wrigge H (2009) Extended therapeutic hypothermia for several days during extracorporeal membrane-oxygenation after drowning and cardiac arrest Two cases of survival with no neurological sequelae. *Resuscitation*, 80(3):379–381.
- Habib DM, Tecklenburg FW, Webb SA, Anas NG, Perkin RM (1996) Prediction of childhood drowning and near-drowning morbidity and mortality. *Pediatric Emergency Care*, 12(4):255–258.

- Heindl UT, Laub MC (1996) Outcome of Persistent Vegetative State Following Hypoxic or Traumatic Brain Injury in Children and Adolescents. *Neuropediatrics*, 27(2):94–100.
- Hilmo J, Naesheim T, Gilbert M (2014) “Nobody is dead until warm and dead”: Prolonged resuscitation is warranted in arrested hypothermic victims also in remote areas – A retrospective study from northern Norway. *Resuscitation*, 85(9):1204–1211.
- Hon K-LE, Leung T-F, Chan S-YJ, Cheung K-L, Ng P-C (2008) Indoor versus outdoor childhood submersion injury in a densely populated city. *Acta Paediatrica* (Oslo, Norway: 1992), 97(9):1261–1264.
- Howland J, Hingson R, Mangione TW, Bell N, Bak S (1996) Why are most drowning victims men? Sex differences in aquatic skills and behaviors. *American Journal of Public Health*, 86(1):93–96.
- Hughes SK, Nilsson DE, Boyer RS, Bolte RG, Hoffman RO, Lewine JD, Bigler ED (2002) Neurodevelopmental outcome for extended cold water drowning: a longitudinal case study. *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS*, 8(4):588–595.
- Idris AH, Bierens JJLM, Perkins GD, Wenzel V, Nadkarni V, Morley P, Warner DS, Topjian A, Venema AM, Branche CM, et al. (2017) 2015 revised Utstein-style recommended guidelines for uniform reporting of data from drowning-related resuscitation: An ILCOR advisory statement. *Resuscitation*, 118:147–158.
- Joanknecht L, Argent AC, van Dijk M, van As AB (2015) Childhood drowning in South Africa: local data should inform prevention strategies. *Pediatric Surgery International*, 31(2):123–130.
- Kennedy JM, Lazoritz S, Palusci VJ (2020) Risk Factors for Child Maltreatment Fatalities in a National Pediatric Inpatient Database. *Hospital Pediatrics*, 10(3):230–237.
- Kieboom JK, Verkade HJ, Burgerhof JG, Bierens JJ, Rheenen PF van, Kneyber MC, Albers MJ (2015) Outcome after resuscitation beyond 30 minutes in drowned



- children with cardiac arrest and hypothermia: Dutch nationwide retrospective cohort study. *BMJ (Clinical research ed.)*, 350:h418.
- Kretz F-J (2007) *Anästhesie und Intensivmedizin bei Kindern: 99 Tabellen*, 2. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart. 60.
- Kriz D, Piantino J, Fields D, Williams C (2017) Pediatric Hypothermic Submersion Injury and Protective Factors Associated with Optimal Outcome: A Case Report and Literature Review. *Children*, 5(1):4.
- Kyriacou DN, Arcinue EL, Peek C, Kraus JF (1994) Effect of Immediate Resuscitation on Children with Submersion Injury. *Pediatrics*, 94(2):137–142.
- Lunetta P, Modell JH, Sajantila A (2004) What is the incidence and significance of „dry-lungs“ in bodies found in water? *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 25(4):291–301.
- Mtaweh H, Kochanek PM, Carcillo JA, Bell MJ, Fink EL (2015) Patterns of multiorgan dysfunction after pediatric drowning. *Resuscitation*, 90:91–96.
- Neuhauser HK, Thamm M, Ellert U, Hense HW, Rosario AS (2011) Blood pressure percentiles by age and height from nonoverweight children and adolescents in Germany. *Pediatrics*, 127(4):e978–e988.
- Nitta M, Kitamura T, Iwami T, Nadkarni VM, Berg RA, Topjian AA, Okamoto Y, Nishiyama C, Nishiuchi T, Hayashi Y, et al. (2013) Out-of-hospital cardiac arrest due to drowning among children and adults from the Utstein Osaka Project. *Resuscitation*, 84(11):1568–1573.
- O’Flaherty JE, Pirie PL (1997) Prevention of Pediatric Drowning and Near-drowning: A Survey of Members of the American Academy of Pediatrics. *Pediatrics*, 99(2):169–174.
- Olfe J, Gottschalk U, Singer D (2018) Ertrinkungsunfälle bei Kindern und Jugendlichen. *Notfallmedizin up2date*, 13(2):187–207.
- Orlowski JP, Szpilman D (2001) Drowning. Rescue, resuscitation, and reanimation. *Pediatric Clinics of North America*, 48(3):627–646.

- Orlowski JP, Rothner AD, Lueders H (1982) Submersion accidents in children with epilepsy. *American Journal of Diseases of Children* (1960), 136(9):777–780.
- Quan L, Mack CD, Schiff MA (2014) Association of water temperature and submersion duration and drowning outcome. *Resuscitation*, 85(6):790–794.
- Quan L, Bierens JJLM, Lis R, Rowhani-Rahbar A, Morley P, Perkins GD (2016) Predicting outcome of drowning at the scene: A systematic review and meta-analyses. *Resuscitation*, 104:63–75.
- Raess L, Darms A, Meyer-Heim A (2020) Drowning in Children: Retrospective Analysis of Incident Characteristics, Predicting Parameters, and Long-Term Outcome. *Children* (Basel, Switzerland), 7(7).
- Rellensmann G, Rieger-Fackeldey E, Omran H (2011) Ertrinkungsunfälle bei Kindern. *Intensivmedizin up2date*, 7(4):325–336.
- Reynolds JC, Michiels EA, Nasiri M, Reeves MJ, Quan L (2017) Observed long-term mortality after 18,000 person-years among survivors in a large regional drowning registry. *Resuscitation*, 110:18–25.
- Romlin BS, Winberg H, Janson M, Nilsson B, Björk K, Jeppsson A, Drake G, Claesson A (2015) Excellent Outcome With Extracorporeal Membrane Oxygenation After Accidental Profound Hypothermia (13.8°C) and Drowning. *Critical Care Medicine*, 43(11):e521-525.
- Schaller M-D, Fischer AP, Perret CH (1990) Hyperkalemia: A Prognostic Factor During Acute Severe Hypothermia. *JAMA*, 264(14):1842–1845.
- Schubert I, Horch K, Kahl H, Köster I, Meyer C, Reiter S (2004) Schwerpunktbericht der Gesundheitsberichterstattung des Bundes: Gesundheit von Kindern und Jugendlichen. Berlin  
 [Online im Internet.] URL:  
<http://doczz.net/doc/5963421/gesundheit-von-kindern-und-jugendlichen> [Stand: 27.04.2020, 11:33].
- Shattock MJ, Tipton MJ (2012) „Autonomic conflict“: a different way to die during cold water immersion? *The Journal of Physiology*, 590(14):3219–3230.

- Shenoi RP, Koerner CE, Cruz AT, Frost MH, Jones JL, Camp EA, Alam S, Fraser JJJ (2016) Factors Associated With Poor Outcome in Childhood Swimming Pool Submersions. *Pediatric Emergency Care*, 32(10):669–674.
- Shenoi RP, Allahabadi S, Rubalcava DM, Camp EA (2017) The Pediatric Submersion Score Predicts Children at Low Risk for Injury Following Submersions. *Academic Emergency Medicine*, 24(12):1491–1500.
- Singer D (2002) Phylogenesese des Stoffwechsels der Säugetiere. *AINS - Anästhesiologie · Intensivmedizin · Notfallmedizin · Schmerztherapie*, 37(8):441–460.
- Singer D (2007a) Ertrinkungsunfälle im Kindesalter. *Notfallmedizin up2date*, 2(4):301–324.
- Singer D (2007b) Why 37 degrees C? Evolutionary fundamentals of thermoregulation. *Der Anaesthesist*, 56(9):899–902, 904–906.
- Singer D, Bretschneider HJ (1990a) Metabolic reduction in hypothermia: pathophysiological problems and natural examples--Part 1. The Thoracic and Cardiovascular Surgeon, 38(4):205–211.
- Singer D, Bretschneider HJ (1990b) Metabolic reduction in hypothermia: pathophysiological problems and natural examples--Part 2. The Thoracic and Cardiovascular Surgeon, 38(4):212–219.
- Skarda D, Barnhart D, Scaife E, Molitor M, Meyers R, Rollins M (2012) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (EC-CPR) for hypothermic arrest in children: is meaningful survival a reasonable expectation? *Journal of Pediatric Surgery*, 47(12):2239–2243.
- Spack L, Gedeit R, Splaingard M, Havens PL (1997) Failure of aggressive therapy to alter outcome in pediatric near-drowning. *Pediatric Emergency Care*, 13(2):98–102.
- Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2017) Bevölkerungsstand in den Hamburger Stadtteilen (Melderegister) - Statistikamt Nord.Hamburg [Online im Internet.] URL: <https://www.statistik-nord.de/zahlen-fakten/hamburger->

melderegister/bevoelkerungsstand/dokumentenansicht/bevoelkerungsstand-in-den-hamburger-stadtteilen-(melderegister)/ [Stand: 12.05.2020, 15:35].

Suen K-F, Leung R, Leung L-P (2017) Therapeutic Hypothermia for Asphyxial Out-of-Hospital Cardiac Arrest Due to Drowning: A Systematic Review of Case Series and Case Reports. *Therapeutic Hypothermia and Temperature Management*, 7(4):210–221.

Suominen P, Baillie C, Korpela R, Rautanen S, Ranta S, Olkkola KT (2002) Impact of age, submersion time and water temperature on outcome in near-drowning. *Resuscitation*, 52(3):247–254.

Suominen PK, Vähätalo R (2012) Neurologic long term outcome after drowning in children. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*, 20:55.

Suominen PK, Vallila NH, Hartikainen LM, Sairanen HI, Korpela RE (2010) Outcome of drowned hypothermic children with cardiac arrest treated with cardiopulmonary bypass. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, 54(10):1276–1281.

Tester DJ, Medeiros-Domingo A, Will ML, Ackerman MJ (2011) Unexplained drownings and the cardiac channelopathies: a molecular autopsy series. *Mayo Clinic proceedings*. Elsevier. 941-947.

Thüner C, Sefrin P (2006) Ertrinkungsunfälle im Kindesalter. *Intensivmedizin und Notfallmedizin*, 43(2):111–122.

Tipton MJ (2014) Sudden cardiac death during open water swimming. *British Journal of Sports Medicine*, 48(15):1134–1135.

Vähätalo R, Lunetta P, Olkkola KT, Suominen PK (2014) Drowning in children: Utstein style reporting and outcome. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, 58(5):604–610.

Weiss J, The Committee on Injury, Violence, and Poison Prevention (2010) Prevention of Drowning. *Pediatrics*, 126(1):e253–e262.

Wintemute GJ (1990) Childhood drowning and near-drowning in the United States. *American Journal of Diseases of Children (1960)*, 144(6):663–669.

Wintemute GJ, Kraus JF, Teret SP, Wright M (1987) Drowning in childhood and adolescence: a population-based study. *American Journal of Public Health*, 77(7):830–832.

Wollenek G, Honarwar N, Golej J, Marx M (2002) Cold water submersion and cardiac arrest in treatment of severe hypothermia with cardiopulmonary bypass. *Resuscitation*, 52(3):255–263.

World Health Organization (2014) *Global report on drowning: preventing a leading killer*. WHO. Genf  
[Online im Internet.] URL:  
[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases-risks/risks/global-report-on-drowning/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/risks/global-report-on-drowning/en/) [Stand: 23.04.2020].

## 8 Anhang

### 8.1 Datenerhebungsbogen: Ertrinkungsunfälle bei Kindern und Jugendliche

Variable	Kategorien
<b>Demographische Daten/ Informationen zum Patienten (4 Items)</b>	
Alter am Unfalltag	in Jahren
Geschlecht	m/w
Nationalität	
Vorerkrankungen	Epileptische Erkrankung, chronische Herzerkrankung, chronische neurologische Erkrankung, keine
<b>Unfallzeitpunkt und Setting am Unfallort (9 Items)</b>	
Unfallmonat	Monat
Unfalldatum	DD.MM.YYYY
Wochentag	Tag
Uhrzeit	HH:MM
Art des Gewässers	Badeanstalt, Schwimmhalle, eigener Pool, fremder Pool, eigener Teich, fremder Teich, See, Fluss, Bach, Badewanne, Regentonne
Wassertemperatur	°C
Submersionszeit	Minuten
Immersionszeit	Minuten
Zeit bis zur Bergung	HH:MM:SS
<b>Erstversorgung am Unfallort (8 Items)</b>	
Ersthelfer	Laien/professionelle Helfer/ Bergung via Rettungsteam
CPR	ja/nein
Laien CPR	ja/nein
Notarzt notwendig	ja/nein
Sauerstoffzufuhr	ja/nein
Katecholamine	ja/nein
Intubation	ja/nein
Defibrillation	ja/nein
<b>Präklinische Befunde (5 Items)</b>	
GCS	3/6/9/12/15/k. A.
Puls	normal/Bradykardie/Tachykardie/Asystolie
Atmung	normal/Dyspnoe/Apnoe
Körpertemperatur (°C)	36-37,5/34-36/32-34/30-32/<30
time to ROSC	HH:MM
<b>Befunde in der Notaufnahme (5 Items)</b>	
GCS	3/6/9/12/15/k. A.
Kreislauf	Stabil, instabil, zentralisiert, Stillstand
Blutdruck	normal, hypoton, hyperton, nicht messbar

Atmung	normal, Tachypnoe, beatmet
Körpertemperatur (°C)	36-37,5/34-36/32-34/<30
<b>Maßnahmen in der Klinik (6 Items)</b>	
Behandlung auf der Intensivstation	ja/nein
Beatmung	ja/nein
Katecholamine	ja/nein
Erwärmen an der Herz-Lungenmaschine	ja/nein
ECMO	ja/nein
induzierte Hypothermie/neuroprotektive Intensivtherapie	ja/nein
<b>Laborwerte (3 Items)</b>	
niedrigster gemessener pH-Wert	
minimaler bzw. maximaler Kaliumwert	mmol/l
höchster gemessener Laktatwert	mmol/l
<b>Outcome (5 Items)</b>	
Dauer des Klinikaufenthaltes	in Tagen
Komplikationen	ARDS, DIC, Pneumonie, Pankreatitis, Akutes Nierenversagen, Schock, Multiorganversagen, Sepsis, Elektrolytstörung, Glukosewertentgleisungen, andere, unbekannt
Überleben	ja/nein
wenn ja:	
Neurologisches Defizit (Verlegung in Rehabilitationsklinik)	ja/nein
wenn nein:	
Todesursache	

## 8.2 Sortierung der Ergebnisse nach den Kriterien „überlebt“ / „verstorben“ (als Grundlage für die statistische Auswertung)

### Grundgesamtheit

n = 141, davon überlebt n = 103 (73,0%) und verstorben n = 38 (27,0%)

#### 8.2.1 Demographische Daten

##### Alter

**Tabelle 36** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach Altersgruppen und sortiert nach „überlebt“ / „verstorben“ (n=138)

	< 1 Jahr	1-3 Jahre	4-6 Jahre	7-11 Jahre	12-17 Jahre
überlebt	4	42	27	15	15
verstorben	4	13	4	2	12

##### Geschlecht

**Tabelle 37** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach Geschlecht und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=141)

	weiblich	männlich
überlebt	44	59
verstorben	9	29

##### Vorerkrankungen

**Tabelle 38** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach Vorerkrankungen und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=141)

	chronische neurologische Erkrankung	epileptische Erkrankung	chronische Herzerkrankung	andere	keine	k. A.
überlebt	7	0	0	11	75	10
verstorben	3	3	0	2	7	23



## 8.2.2 Unfallzeitpunkt und Setting am Unfallort

### Jahreszeit

**Tabelle 39** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach Monat und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=141)

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	k.A.
überlebt	2	1	6	10	7	11	19	17	12	7	5	5	1
verstorben	3	2	0	6	5	6	4	3	1	0	2	4	2

### Wochentag

**Tabelle 40** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach Wochentag und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=141)

	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	k. A.
überlebt	16	4	15	10	20	16	21	1
verstorben	4	3	1	8	4	8	8	2

### Uhrzeit

**Tabelle 41** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach Tageszeit und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=141)

	09:00-12:00	12:00-15:00	15:00-18:00	18:00-21:00	21:00-24:00	00:00-09:00	k. A.
überlebt	6	19	34	13	1	0	30
verstorben	0	4	5	5	2	0	22

### Art des Gewässers

**Tabelle 42** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach Unfallort und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=141)

	offene Gewässer	Badeanstalt	im häuslichen Umfeld	k. A.
überlebt	17	56	30	0
verstorben	19	5	10	4

### Submersionszeit

**Tabelle 43** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach Submersionszeit und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=141)

	keine Submersion	< 5 Minuten	5-15 Minuten	15-30 Minuten	> 30 Minuten	k. A.
überlebt	3	51	0	0	1	48
verstorben	0	3	2	5	2	26

### 8.2.3 Erstversorgung am Unfallort

Von den 38 Verstorbenen waren 15 bereits tot geborgen worden. Diese sind in den folgenden Tabellen nicht erneut mit aufgeführt.

#### Ersthelfer

**Tabelle 44** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach Ersthelfer und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	professionelle Helfer	Laien	k. A.
überlebt	5	94	4
verstorben	4	18	1

#### CPR (kardiopulmonale Reanimation) am Unfallort

**Tabelle 45** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle mit und ohne CPR am Unfallort, sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	mit CPR	ohne CPR
überlebt	41	62
verstorben	22	1

#### Laienreanimation

**Tabelle 46** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle mit und ohne Laienreanimation, sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=63)

	mit Laienreanimation	ohne Laienreanimation	k. A.
überlebt	36	4	1
verstorben	16	5	1

#### Notarzteinsatz

**Tabelle 47** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle mit und ohne Notarzteinsatz, sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	mit Notarzteinsatz	ohne Notarzteinsatz	k. A.
überlebt	75	26	2
verstorben	23	0	0

#### Sauerstoff durch Notarzt

**Tabelle 48** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle mit und ohne Sauerstoffgabe durch den Notarzt, sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	mit Sauerstoffgabe	ohne Sauerstoffgabe	k. A.
überlebt	30	63	10
verstorben	3	3	17

## Intubation

**Tabelle 49** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle mit und ohne Intubation, sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	mit Intubation	ohne Intubation	k. A.
überlebt	14	89	0
verstorben	14	0	9

## Katecholamine durch Notarzt

**Tabelle 50** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle mit und ohne Katecholamingabe durch den Notarzt, sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	mit Katecholamingabe	ohne Katecholamingabe	k. A.
überlebt	6	96	1
verstorben	11	0	12

## Defibrillation

**Tabelle 51** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle mit und ohne Defibrillation, sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	ja	nein	k. A.
überlebt	2	101	0
verstorben	2	10	11

## 8.2.4 Präklinische Befunde

### GCS am Unfallort

**Tabelle 52** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach GCS und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	k. A.
überlebt	11	1	1	2	0	0	0	1	0	1	1	3	42	40
verstorben	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11

### Herzfrequenz am Unfallort

**Tabelle 53** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach Herzfrequenz und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	normal	Tachykardie	Bradykardie	Asystolie	k. A.
überlebt	46	17	2	6	32
verstorben	0	3	1	9	10

\*altersadaptierte Referenzwerte nach: Kretz, FJ (2007) Anästhesie und Intensivmedizin bei Kindern: 99 Tabellen, 2. Aufl., Georg Thieme Verlag, Stuttgart, S.60, Tabelle 3.1a (Kretz 2007)

## Atmung am Unfallort

**Tabelle 54** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach Atmung am Unfallort und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	normal	Dyspnoe	Apnoe	k. A.
überlebt	53	16	5	29
verstorben	0	0	12	11

## Körpertemperatur am Unfallort

**Tabelle 55** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach Körpertemperatur am Unfallort und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	> 37,5	36-37,5	34-36	32-34	30-32	< 30	k. A.
überlebt	0	3	17	5	2	3	73
verstorben	0	0	1	1	1	1	19

## Time to ROSC (Return Of Spontaneous Circulation)

**Tabelle 56** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach Time to ROSC am Unfallort und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	< 5 Min	5- 30 Min	30-60 Min	> 60 Min	keine	k. A.
überlebt	21	5	0	4	63	10
verstorben	0	1	4	11	0	7

## 8.2.5 Befunde und Maßnahmen in der Notaufnahme

### GCS bei Ankunft in der Notaufnahme

**Tabelle 57** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach GCS in der Notaufnahme und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	k. A.
überlebt	12	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	4	71	12
verstorben	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11

### Kreislauf bei Ankunft in der Notaufnahme

**Tabelle 58** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach Kreislauf in der Notaufnahme und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	stabil	zentralisiert	instabil	Stillstand	k. A.
überlebt	91	7	3	2	0
verstorben	3	0	0	9	11

## Blutdruck bei Ankunft in der Notaufnahme

**Tabelle 59** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach Blutdruck in der Notaufnahme und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	normal	hyperton	hypoton	nicht messbar	k. A.
überlebt	68	18	8	2	7
verstorben	2	1	0	9	11

\*altersadaptierte Referenzwerte nach: Neuhauser et al. 2011. Blood pressure percentiles by age and height from nonoverweight children and adolescents in Germany. Pediatrics 127, e978–e988. (Neuhauser et al. 2011)

## Atmung bei Ankunft in der Notaufnahme

**Tabelle 60** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach GCS in der Notaufnahme und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	normal	Tachypnoe	beatmet	k. A.
überlebt	76	11	16	0
verstorben	0	0	12	11

## Körpertemperatur bei Ankunft in der Notaufnahme

**Tabelle 61** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach Körpertemperatur in der Notaufnahme in °C und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	> 37,5	36-37	34-36	32-34	30-32	< 30	k. A.
überlebt	4	56	14	3	2	4	20
verstorben	0	1	3	1	1	5	12

### 8.2.6 Maßnahmen in der Klinik

## Behandlung auf der Intensivstation

**Tabelle 62** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle mit und ohne Behandlung auf der Intensivstation, sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	mit Behandlung auf der Intensivstation	ohne Behandlung auf der Intensivstation	k. A.
überlebt	36	67	0
verstorben	13	4	6

## Beatmung

**Tabelle 63** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle mit und ohne Beatmung, sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	mit Beatmung	ohne Beatmung	k. A.
überlebt	20	83	0
verstorben	13	0	10

## Katecholamine

**Tabelle 64** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle mit und ohne Katecholamingabe, sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	mit Katecholamingabe	ohne Katecholamingabe	k. A.
überlebt	12	91	0
verstorben	12	0	11

## Erwärmen an der Herzlungenmaschine

**Tabelle 65** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle mit und ohne Erwärmen an der HLM, sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	mit HLM	ohne HLM	k. A.
überlebt	2	101	0
verstorben	5	8	10

## ECMO (Extracorporale Membranoxygenierung)

**Tabelle 66** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle mit und ohne Behandlung durch die ECMO, sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	mit ECMO	ohne ECMO	k. A.
überlebt	2	101	0
verstorben	6	7	10

## Induzierte Hypothermie

**Tabelle 67** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle mit und ohne induzierter Hypothermie, sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	mit induzierter Hypothermie	ohne induzierte Hypothermie	k. A.
überlebt	6	97	0
verstorben	5	8	10

## 8.2.7 Laborwerte

### Niedrigster gemessener pH-Wert

**Tabelle 68** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach Höhe des niedrigsten gemessenen pH-Werts und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	7,35-7,45	7,15-7,34	<7,15	k. A.
überlebt	36	34	7	26
verstorben	0	2	10	11

### Minimaler bzw. maximaler Kalium-Wert

**Tabelle 69** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach Höhe des minimalen bzw. maximalen gemessenen Kaliumwertes in mmol/l und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	<3,5	3,5-5,5	>5,5	k. A.
überlebt	4	62	4	33
verstorben	1	5	6	11

### Höchster gemessener Laktatwert

**Tabelle 70** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach Höhe des maximalen gemessenen Laktatwerts in mmol/l und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	0,5-2,2	>2,2	>10	>20	k. A.
überlebt	17	16	2	1	67
verstorben	0	0	3	7	13

## 8.2.8 Outcome

### Dauer des Klinikaufenthaltes

**Tabelle 71** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach Dauer des Klinikaufenthaltes und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	0 Tage	1-3 Tage	4-10 Tage	> 10 Tage	k. A.
überlebt	9	68	15	11	0
verstorben	15	3	2	2	1

### Komplikationen

**Tabelle 72** | Anzahl der Ertrinkungsunfälle, aufgeschlüsselt nach Komplikationen und sortiert nach "überlebt" / "verstorben" (n=126)

	ja	nein	k. A.
überlebt	46	57	0
verstorben	15	0	8

## 9 Danksagung

Zur Entstehung einer wissenschaftlichen Arbeit gehören stets mehr als eine Person und daher möchte ich an dieser Stelle allen danken, die mich in dieser herausfordernden, aber auch ungemein bereichernden Phase meiner akademischen Laufbahn begleitet haben.

Mein größter Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. med. Dominique Singer, der mir diese Dissertation ermöglicht und mich geduldig und kompetent durch jede Phase dieser Promotion geführt hat. Ohne seine enorme Unterstützung und gutherzige Begleitung hätte diese Arbeit nicht fertiggestellt werden können. Außerdem danke ich meiner Betreuerin, Frau Dr. med. Urda Gottschalk, die durch ihren fachlichen Beitrag und organisatorischen Einsatz ebenfalls maßgeblich an der Entstehung dieser Dissertation beteiligt war.

Meinen Dank aussprechen möchte ich weiterhin Herrn Prof. Dr. med. Jan Peter Sperhake, Herrn Prof. Dr. med. Lutz Koch, Herrn Dr. med. Axel von der Wense, Frau Dr. med. Caroline Schmitt, Frau Dr. Susanne Schmidtke und Frau Dr. Petra Rohatsch sowie deren MitarbeiterInnen für die freundliche Kooperation sowie Bereitstellung der Daten, die für die Vollständigkeit dieser Studie essenziell waren.

Ohne meine Eltern und deren uneingeschränkte, liebevolle und vielseitige Unterstützung während meines Studiums wäre diese Arbeit so nicht möglich gewesen. Mein ganz besonderer Dank gilt außerdem meinem Freund sowie meinen Freunden und Geschwistern, die mir durch ihren nie endenden Zuspruch und große emotionale Unterstützung stets Kraft gaben und damit ein wichtiger Grundpfeiler für die Entstehung dieser Arbeit waren. Dafür danke ich ihnen von Herzen.



## **10 Lebenslauf**

**Lebenslauf wurde aus datenschutzrechtlichen Gründen entfernt.**

## 11 Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.



Unterschrift: .....