

Aus der  
Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie  
ehemals  
Klinik für Allgemeine, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie  
Klinik der Universität München  
Direktor: Prof. Dr. Wolfgang Böcker



## **Prävalenz und potenzielle Folgen einer Insufflation bei Reanimationspatienten**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von  
Maximilian Andreas Fichtl

aus  
München

Jahr  
2024

---

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Karl-Georg Kanz

Mitberichterstatter: PD Dr. Markus Albertsmeier

PD Dr. Thomas Weig

Prof. Dr. Roman L. Haberl

Mitbetreuung durch die

promovierte Mitarbeiterin: Prof. Dr. med. Viktoria Bogner-Flatz

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 07.11.2024

# Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Inhaltsverzeichnis .....</b>                                       | <b>3</b>  |
| <b>Zusammenfassung .....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>Abstract.....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>Abbildungsverzeichnis.....</b>                                     | <b>7</b>  |
| <b>Tabellenverzeichnis .....</b>                                      | <b>8</b>  |
| <b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>                                    | <b>9</b>  |
| <b>1. Einleitung .....</b>  | <b>10</b> |
| 1.1 Kardiopulmonale Reanimation.....                                  | 10        |
| 1.2 Computertomographie im Rahmen der Reanimation.....                | 11        |
| 1.3 Insufflation als möglicher Einflussfaktor .....                   | 12        |
| <b>2. Material und Methoden .....</b>                                 | <b>13</b> |
| 2.1 Untersuchungspopulation .....                                     | 13        |
| 2.1.1 Patientenerfassung .....  | 13        |
| 2.1.2 Datenkomplettierung .....                                       | 14        |
| 2.2 CT-Auswertung .....   | 14        |
| 2.2.1 Volumetrie .....  | 15        |
| 2.3 Messvalidierung .....   | 18        |
| 2.4 Statistische Auswertung .....                                     | 20        |
| <b>3. Ergebnisse .....</b>  | <b>22</b> |
| 3.1 Patientenpopulation .....   | 22        |
| 3.1.1 Demographische Auswertung .....                                 | 22        |
| 3.1.2 Outcome der Reanimation .....                                   | 23        |
| 3.1.3 Eingesetzte Atemwegshilfsmittel .....                           | 24        |
| 3.2 Volumetrie Ergebnisse .....                                       | 25        |
| 3.3 Korrelation zwischen Gasvolumen und Outcome der Reanimation ..... | 27        |
| <b>4. Diskussion.....</b>   | <b>32</b> |
| 4.1 Stellenwert des Gasvolumens für die Reanimation.....              | 33        |
| 4.1.1 Physiologisches Gasvolumen und Reanimationspatienten .....      | 33        |
| 4.1.2 Ursache der Insufflation .....                                  | 33        |
| 4.1.3 Krankheitsbild abdominelles Kompartmentsyndrom.....             | 35        |
| 4.1.4 Insufflation bei Reanimationspatienten .....                    | 37        |

---

|           |                                   |           |
|-----------|-----------------------------------|-----------|
| 4.2       | Datenauswertung .....             | 42        |
| 4.2.1     | Computertomographie .....         | 42        |
| 4.3       | Limitationen .....                | 44        |
| 4.3.1     | Patientendaten.....               | 44        |
| 4.3.2     | Computertomographie .....         | 45        |
| 4.3.3     | Kausalität der Ergebnisse .....   | 46        |
| 4.4       | Empfehlung .....                  | 47        |
| <b>5.</b> | <b>Literaturverzeichnis .....</b> | <b>51</b> |
|           | <b>Anhang.....</b>                | <b>56</b> |
|           | <b>Danksagung .....</b>           | <b>60</b> |
|           | <b>Affidavit .....</b>            | <b>61</b> |
|           | <b>Lebenslauf.....</b>            | <b>62</b> |
|           | <b>Publikationsliste .....</b>    | <b>65</b> |

## Zusammenfassung

**Hintergrund:** Die Belüftung des Magens während der kardiopulmonalen Reanimation als Resultat einer fehlerhaften Ventilation stellt eine bekannte Komplikation dar. Allerdings sind Prävalenz, Schweregrad und der Einfluss auf das Ergebnis einer Reanimation unklar. Gas ist ein bekannter Auslöser für das abdominelle Kompartmentsyndrom. Dabei handelt es sich um einen pathologisch erhöhten, intraabdominellen Druck mit daraus resultierenden systemischen Folgen auf die Hämodynamik. Ziel der Studienarbeit war es, das durchschnittliche intraabdominelle Gasvolumen im Magen-Darm-Trakt von Reanimationspatienten zu bestimmen und einen möglichen Einfluss auf das Reanimationsergebnis zu untersuchen.

**Methoden:** Für die retrospektive Arbeit wurden 361 Reanimationspatienten aus den Schockräumen der Kliniken rechts der Isar (Technische Universität München) und Chirurgischen Klinik und Poliklinik Innenstadt (Ludwig-Maximilians-Universität München) aus den Jahren 2014 bis 2018 einbezogen. Anhand von CT-Aufnahmen konnte das Gasvolumen im Magen-Darm-Trakt von 172 Patienten bestimmt werden. Im Rahmen der statistischen Auswertung erfolgte ein Vergleich des Gasvolumens zwischen Reanimationen mit letalem und erfolgreichem Ausgang mittels Mann-Whitney-U-Test (Wilcoxon-Rangsummen Test).

**Ergebnisse:** Das durchschnittliche Gasvolumen im Magen-Darm-Trakt der untersuchten Reanimationspatienten lag bei 1044 ml mit einer Standardabweichung von 1061 ml ( $M = 1044$  ml;  $SD = 1061$  ml) und übersteigt damit das physiologische Gasvolumen von durchschnittlich 149 ml ( $M = 149$  ml;  $SD = 21$  ml). Ein erhöhtes Gesamtvolumen konnte bei 92,44% der untersuchten Patienten nachgewiesen werden. Es existiert ein signifikanter Unterschied ( $p < 0,01$   $W = 4141$ ) bezogen auf das Gasvolumen innerhalb des Magen-Darm-Traktes zwischen Patienten, die überlebt haben ( $M = 751$  ml;  $SD = 818$  ml) und jenen, die verstorben sind ( $M = 1178$  ml;  $SD = 1133$  ml). Gleichermaßen war das intestinale Gasvolumen bei verstorbenen Patienten ( $M = 726$  ml;  $SD = 838$  ml) signifikant erhöht ( $p < 0,01$   $W = 4278$ ) im Vergleich zu Patienten, die überlebt haben ( $M = 408$  ml;  $SD = 503$  ml). Es bestand kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,12$ ;  $W = 3656,5$ ) zwischen den beiden Gruppen in Bezug auf eine Insufflation des Magens (überlebt:  $M = 343$  ml;  $SD = 491$  ml vs. verstorben:  $M = 452$  ml;  $SD = 500$  ml). Die Effektstärke einer Insufflation des Magen-Darm-Traktes (Cohens  $r = 0,24$ ) und des Intestinums (Cohens  $r = 0,28$ ) auf das Ergebnis einer Reanimation war gering.

**Schlussfolgerung:** Bei der Insufflation des Magen-Darm-Traktes von Reanimationspatienten handelt es sich um eine häufige Komplikation und korreliert mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für den letalen Ausgang einer Reanimation. Es bleibt unklar, ob dieser Effekt durch einen intraabdominellen Druckanstieg bedingt ist, oder eine Insufflation als Confounder einer unzureichenden Oxygenierung durch eine unsachgerechte Ventilation zu interpretieren ist.

---

## Abstract

### Background:

Air insufflation of the stomach is a known complication of ventilation during cardiopulmonary resuscitation. However, the prevalence, severity, and impact on the resuscitation outcome remains unknown. Gas is a known cause of abdominal compartment syndrome, which describes pathological pressure increase within the abdomen, resulting in adverse effects on the patient's hemodynamics. The objective is to determine the intestinal gas volume of resuscitation patients and investigate the possible effects regarding the outcome of these patients.

### Methods:

For this retrospective study, 361 resuscitation patients treated in the trauma rooms of the University Hospitals rechts der Isar (Technical University Munich) and Chirurgischen Klinik und Poliklinik Innenstadt (Ludwig-Maximilians-University Munich) between 2014 to 2018 were included. Computer tomography scans of 172 patients were used to determine gastric and intestinal gas volume. The mean gas volume was then compared between the surviving group and the deceased group using the Mann-Whitney-U-Test (Wilcoxon rank-sum test).

### Results:

The mean gas volume within the gastro-intestinal system of resuscitation patients was 1044 ml ( $M = 1044$  ml;  $SD = 1061$  ml), considerably higher than the physiological volume of 149 ml ( $M = 149$  ml;  $SD = 21$  ml). Excessive insufflation occurred in 92.44% of the examined patients. There was a significant difference ( $p < 0.01$ ;  $W = 4141$ ) in gas volume between surviving ( $M = 751$  ml;  $SD = 818$  ml) and deceased patients ( $M = 1178$  ml;  $SD = 1133$  ml). Likewise, the gas volume within the intestine of deceased ( $M = 726$  ml;  $SD = 838$  ml) patients was significantly larger ( $p < 0.01$   $W = 4278$ ) than that of surviving patients ( $M = 408$  ml;  $SD = 503$  ml). There was no significant difference ( $p = 0.12$ ;  $W = 3656.5$ ) between the two groups for the volume within the stomach ( $M = 343$  ml;  $SD = 491$  ml vs.  $M = 452$  ml;  $SD = 500$  ml). The effect size for gastro-intestinal insufflation (Cohen's  $r = 0.24$ ) and intestinal insufflation (Cohen's  $r = 0.28$ ) regarding the resuscitation outcome was small.

### Conclusion:

Gas insufflation of the gastro-intestinal system is a common occurrence in resuscitation patients and is linked to worse outcomes. It remains unclear, whether this effect is due to resulting increased abdominal pressure or should be interpreted as a result of inadequate ventilation during cardiopulmonary resuscitation.

---

## Abbildungsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 1: Selektion Patientenpopulation .....  | 15 |
| Abbildung 2: eingespielte DICOM Datei .....   | 16 |
| Abbildung 3: Darstellung Gas mittels Threshold .....  | 16 |
| Abbildung 4: Gas innerhalb des MDT .....  | 17 |
| Abbildung 5: Volumetrie MDT .....   | 17 |
| Abbildung 6: Gas innerhalb des Magens .....   | 18 |
| Abbildung 7: Volumetrie des Magen.....  | 18 |
| Abbildung 8: Messwiederholungen .....   | 19 |
| Abbildung 9: Histogramm des Patientenalters .....   | 23 |
| Abbildung 10: Gasverteilung Magen-Darm-Trakt, Magen und Dünn-/Dickdarm..  | 27 |
| Abbildung 11: Volumen und Outcome des MDT .....   | 28 |
| Abbildung 12: Volumen und Outcome des Magen .....   | 29 |
| Abbildung 13: Volumen und Outcome des Intestinum .....  | 30 |
| Abbildung 14: Larynxtubus .....   | 35 |
| Abbildung 15: CT axial mit Kompression der V. cava inferior Höhe rechte Niere                                     | 38 |
| Abbildung 16: CT-Abdomen sagittal mit Kompression der V. cava inferior .....                                      | 39 |
| Abbildung 17: Bildserie CT-Abdomen axial.....   | 40 |
| Abbildung 18: CT-Abdomen/Thorax koronar und sagittal .....  | 41 |
| Abbildung 19: nicht funktionale Magensonde, CT axial.....   | 48 |
| Abbildung 20: defekte Magensonde, CT koronar und sagittal .....   | 49 |
| Abbildung 21: Cystographie, aus <a href="http://physiologie.cc/IX.6.htm">http://physiologie.cc/IX.6.htm</a> ..... | 50 |

---

## Tabellenverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Tabelle 1: Testmessung/-wiederholung in Milliliter bei 6 zufälligen Patienten..... | 20 |
| Tabelle 2: Alter in Jahren und Outcome .....                                       | 22 |
| Tabelle 3: Geschlecht und Outcome .....  | 23 |
| Tabelle 4: Outcome und Durchführung Reanimation.....                               | 24 |
| Tabelle 5: Eingesetzte Atemweghilfsmittel .....                                    | 25 |
| Tabelle 6: Ergebnisse Volumetrie in Milliliter .....                               | 26 |
| Tabelle 7: Studien zur Bestimmung des optimalen HU Threshold .....                 | 43 |

---

## Abkürzungsverzeichnis

|       |  |
|-------|--|
| ACS   | Abdominelles Kompartmentsyndrom                |
| AED   | Automatisierter externer Defibrillator         |
| AHA   | American Heart Association                     |
| CCF   | Chest compression fraction                     |
| CT    | Computertomographie                            |
| ERC   | European Resuscitation Council                 |
| ET    | Endotracheal-Tubus                             |
| HU    | Hounsfield-Unit                                |
| IAH   | Intraabdomnielle Hypertonie                    |
| IAP   | Intraabdomineller Druck                        |
| LM    | Larynxmaske                                    |
| LT    | Larynxtubus                                    |
| M     | Mittelwert                                     |
| MDT   | Magen-Darm-Trakt                               |
| mmHg  | Millimeter Quecksilbersäule                    |
| PACS  | Picture Archiving and Communication System     |
| ROSC  | return of spontaneous circulation              |
| SD    | Standardabweichung                             |
| WSACS | World Society of abdominal Compartmentssyndrom |

# 1. Einleitung

Ziel dieser Arbeit ist die Beschreibung der Prävalenz einer Belüftung des Magen-Darm-Traktes bei Reanimationspatienten und deren potenziell daraus resultierenden Folgen auf den Ausgang einer Reanimation.

## 1.1 Kardiopulmonale Reanimation

Laut Deutschem Reanimationsregister erlitten in Deutschland im Jahr 2021 ca. 60.000 Menschen einen präklinisch, plötzlichen Herzkreislaufstillstand und mussten infolgedessen durch den Rettungsdienst und Notarzt reanimiert werden. Daraus ergibt sich eine Inzidenz von 60,4/100.000 Einwohnern. Das Durchschnittsalter der Patienten lag bei 70,2 Jahren, wobei Männer im Vergleich zu Frauen mit 65,9% der Fälle häufiger betroffen waren. In 65,4% der Fälle ereignete sich der Herz-Kreislaufstillstand im häuslichen Bereich (1).

Zur Abwendung des plötzlichen Herztodes werden die Maßnahmen der kardiopulmonalen Reanimation ergriffen (2). Entsprechend des Ausbildungsstandes der Helfer werden die Reanimationsmaßnahmen nach Basic- (3) und Advanced-Life-Support (4) angewendet. Grundsätzlich beinhalten diese gleichermaßen die Maßnahmen der Thoraxkompression, der Beatmung und Elektrotherapie, sowie ggf. fortführende Maßnahmen.

Die durch die Fachorganisationen herausgegebenen Reanimationsleitlinien werden in regelmäßigen Abständen aktualisiert. Ziel der Überarbeitungen ist die Optimierung der zu ergreifenden Maßnahmen in der Praxis, die das Ergebnis einer Reanimation positiv beeinflussen können. Zum Beispiel wurde in den Reanimationsleitlinien des Jahrs 2005 der Rhythmus von abwechselnd 15 Thoraxkompressionen und 2 Beatmungen auf 30 Thoraxkompressionen und 2 Beatmungen angepasst (5-8).

Im Laufe der vergangenen Jahre wurden zahlreiche technische Hilfsmittel eingeführt, die im Rahmen einer Reanimation eingesetzt werden können. Für die Ventilation stehen neben der endotrachealen Intubationsmöglichkeit auch supraglottische Atemwegshilfsmittel zur Verfügung. Diese bieten den Vorteil einer erleichterten und schnellen Durchführung und sind auch für nicht-ärztliches Personal anwendbar (9, 10).

Für die Thoraxkompressionen haben sich, insbesondere in speziellen Situationen im präklinischen Bereich, mechanische Reanimationsgeräte etabliert. Diese pneumatischen- oder elektronischen Hilfsmittel übernehmen die Herzdruckmassage und erlauben

beispielsweise eine Fortführung der Thoraxkompressionen während einer technischen Rettung oder für die Dauer eines prolongierten Transportes in die Klinik (11, 12).

Zu den bedeutsamsten Entwicklungen zählt die Einführung von automatisierten externen Defibrillatoren (AED) für Laienhelfer. Die durchschnittliche Anfahrdauer für den Rettungsdienst betrug in Deutschland für das Jahr 2021  $7,04 \pm 3,49$  min, jedoch führten in 42,6% der Fälle Ersthelfer initial eine Laienreanimation durch (1). Den Ersthelfern kommt ein besonderer Stellenwert für den Erfolg der Reanimation zu, da der unmittelbare Beginn der Reanimationsmaßnahmen und die Durchführung der Frühdefibrillation die Wahrscheinlichkeit für einen erfolgreichen Ausgang einer Reanimation erhöhen.

## 1.2 Computertomographie im Rahmen der Reanimation

Die Grundlage dieser Arbeit bilden Computertomographieaufnahmen von Patienten, die während der Fortführung der Reanimationsmaßnahmen oder nach Erreichen eines „return of spontaneous circulation“ (=engl. Erreichen eines Spontankreislaufs; ROSC) erstellt worden sind.

Die Computertomographie (CT) als technisch-diagnostisches Mittel hat sich insbesondere bei Trauma-Patienten etabliert (13, 14). Der Einsatz bei Reanimationspatienten mit scheinbar ausschließlich internistischen Ursachen einer Reanimation ist bisher hingegen weniger gebräuchlich. Die Durchführung radiologischer Untersuchungen geht mit einer Pausierung der Thoraxkompressionen einher. Dies steht in scheinbarem Widerspruch zu den Grundsätzen der kardiopulmonalen Reanimation, wonach eine Unterbrechung der Herz-Druck-Massage zu vermeiden ist. Die „Chest compression fraction“ (CCF) ist definiert als Durchführungsdauer der Thoraxkompressionen in Relation zur Gesamtdauer der Reanimation und sollte nach den Leitlinien der American Heart Association über 80% betragen. Wie Studien gezeigt haben, ist die CCF ein relevanter Faktor für den erfolgreichen Ausgang einer Reanimation (15).

Den Nachteil einer Unterbrechung der Thoraxkompressionen steht der Mehrwert der CT-Diagnostik für die Identifikation auslösender Ereignisse einer Reanimation gegenüber (16, 17). In verschiedenen Studien wurden die technische Durchführbarkeit (18) und Stellenwert der CT im Rahmen einer Reanimation untersucht.

Wie die Ergebnisse von Arbeiten gezeigt haben, ist die Durchführung unter einer laufenden Reanimation technisch möglich. Dies gilt gleichermaßen für eine Reanimation mit manuellen- und mechanischen Thoraxkompressionen, die für ca. 20 Sekunden unterbrochen werden muss (18).

### 1.3 Insufflation als möglicher Einflussfaktor

Es existieren verschiedene Faktoren, welche den Ausgang einer Reanimation beeinflussen. Zu den wichtigsten zählen dabei die korrekte und frühe Durchführung von Beatmung, Thoraxkompression und Elektrotherapie.

Grundsätzlich stellt die Insufflation des Magens mit Gas im Rahmen der Reanimation einen bekannten Prozess dar. Sie wird vornehmlich als Produkt einer nicht sachgemäß durchgeführten Ventilation verstanden. Eine mögliche Komplikation einer prolongierten und ausgeprägten Insufflation besteht in der Regurgitation und Aspiration.

Eine Akkumulation von Luft im Bauchraum kann mit einer Zunahme des abdominellen Drucks einhergehen und zu den Krankheitsbildern der intraabdominellen Hypertension (IAH) oder abdominellen Kompartmentsyndrom (ACS) führen (42,43). Solch gesteigerte abdominelle Druckverhältnisse haben negative Folgen auf die Hämodynamik und Perfusion. Diese sind nicht auf die abdominellen Organe begrenzt, da die Druckverhältnisse über das Diaphragma auch auf die thorakalen Organe übertragen werden. Das Ausmaß einer möglichen Insufflation bei Reanimationspatienten und die potenziellen Auswirkungen einer resultierenden IAH während der Reanimation sind nach unserem Wissensstand bisher unzureichend untersucht.

Diese Arbeit setzt sich mit der Prävalenz und dem Schweregrad der Insufflation bei Reanimationspatienten auseinander und untersucht ferner, inwieweit eine mögliche Korrelation zwischen dem Grad der Insufflation und dem Ausgang einer Reanimation besteht.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Untersuchungspopulation**

Die verwendeten Daten wurden bei präklinischen Reanimationspatienten aus dem Raum München und Umland im Zeitraum von 01.01.2014 bis einschließlich 31.12.2018 erhoben. In die Studie eingeschlossen wurden Patienten aus den Kliniken rechts der Isar der technischen Universität München und der Chirurgischen Klinik und Poliklinik Innenstadt der Ludwig-Maximilians-Universität München, die über die angeschlossenen Schockräume der Klinik aufgenommen wurden.

Ein positives Votum des Ethikrates der Ludwig-Maximilians-Universität München (23-0605) und Technischen Universität München (2023-186-S-SR) liegt vor.

#### **2.1.1 Patientenerfassung**

Zu Beginn der Studie wurden für die Klinik rechts der Isar die Daten aller über den Schockraum aufgenommenen Patienten anhand der schriftlichen Schockraumdokumentation gesichtet. Im betroffenen Zeitraum wurden 5.233 Patienten aufgenommen. Präklinische Reanimationspatienten sind in der schriftlichen Dokumentation gesondert gekennzeichnet. Anhand der Vermerke konnten 345 Reanimationspatienten ermittelt und mittels MS Excel (Microsoft Corporation. Microsoft Excel [Internet]. 2018. erhältlich auf: <https://office.microsoft.com/excel>) festgehalten werden.

Für die Chirurgische Klinik und Poliklinik Innenstadt wurde das klinische Picture Archiving and Communication System (PACS) nach aufgenommenen Schockraumpatienten mit der Diagnose „Reanimation“ im entsprechenden Zeitraum abgefragt. Es konnten 16 Patienten mit den relevanten Merkmalen ermittelt, und der Excel-Liste hinzugefügt werden.

Insgesamt konnten 361 Patienten mit der Haupt- oder Aufnahmediagnose „Reanimation“ aus den beiden Kliniken bestimmt werden.

### **2.1.2 Datenkomplettierung**

Für die Datenkomplettierung wurden die Informationen der Reanimationspatienten anhand des PACS um folgende Informationen ergänzt:

- Datum der Aufnahme
- Alter
- Geschlecht
- Verstorben im Schockraum
- Sekundäres Überleben
- Laufende Reanimation oder bestehender Eigenkreislauf bei Aufnahme
- Art des einliegenden Atemweghilfsmittels bei Aufnahme
- Verwendung mechanischer Reanimationsgeräte
- Einliegende Magensonde bei Aufnahme
- Durchführung CT im Schockraum

## **2.2 CT-Auswertung**

Sofern bei Patienten im Schockraum eine CT-Untersuchung durchgeführt wurde, konnte auf die erstellten Bilder durch das PACS zugegriffen werden.

Von den insgesamt 361 Reanimationspatienten erfolgte in 294 Fällen eine CT-Untersuchung. Bei 192 Patienten wurde dabei das Abdomen miterfasst. Bei 172 Patienten war eine volumetrische Auswertung des intraluminalen abdominalen Gasvolumens möglich. Bei den untersuchten Serien wurde nicht zwischen dem verwendeten CT-Modell, dem eingesetzten Fenster, der Verwendung mit- oder ohne Kontrastmittel oder der Schnittdicke unterschieden.

Ausschlussgründe waren:

- Ungenügende Bildqualität durch Artefakte
- Abdomen nicht vollständig erfasst
- Penetrierendes Trauma mit Pneumoperitoneum
- Ausgeprägtes Weichteilemphysem im Bereich des Abdomens

Bei Fällen mit genannten Ausschlussgründen konnte nicht gewährleistet werden, dass es nicht zu einer Verzerrung bei der Erhebung des intraluminalen Gasvolumens kommt.

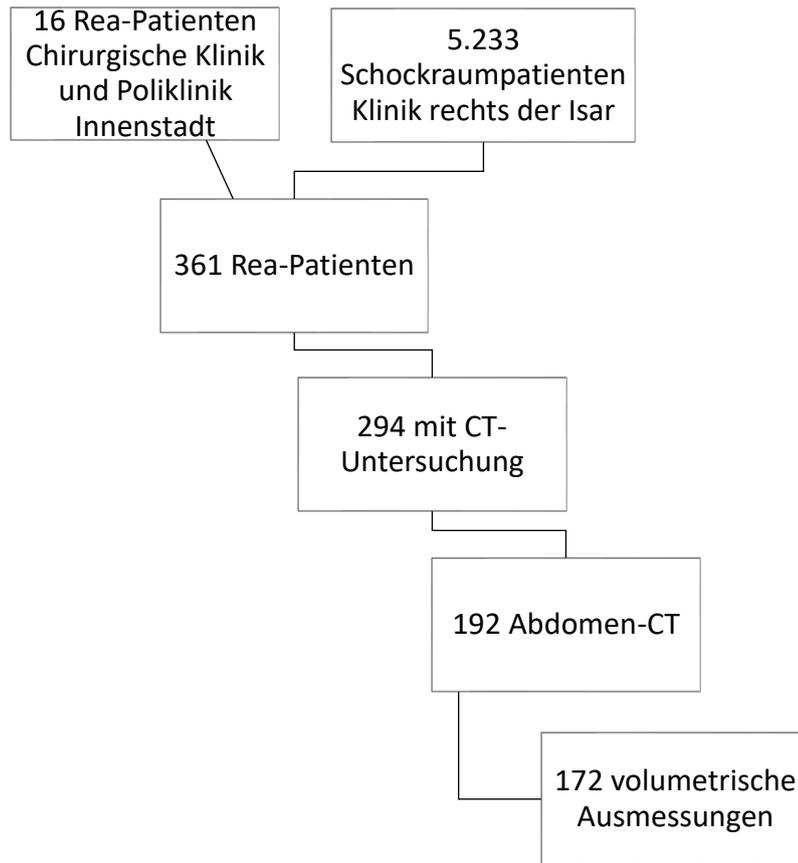


Abbildung 1: Selektion Patientenpopulation

### 2.2.1 Volumetrie

Die Bestimmung des gashaltigen Volumens innerhalb des Magen-Darm-Traktes (MDT) wurde mittels der Software 3DSlicer (The Slicer Community, Version 4.10.2 r28257, erhältlich auf: <https://www.slicer.org>) vorgenommen.

Als Messbereich für Gas im MDT wurde ein Bereich zwischen -1021 bis -500 HU festgelegt. Die Auswertung wurde für alle Patienten durch die gleiche Person in einer festgelegten Abfolge von Arbeitsschritten durchgeführt:

Für eine Auswertung wurden die CT-Bilddateien als DICOM-Format in das Programm eingespielt und eine geeignete Serie ausgewählt (siehe Abbildung 2).

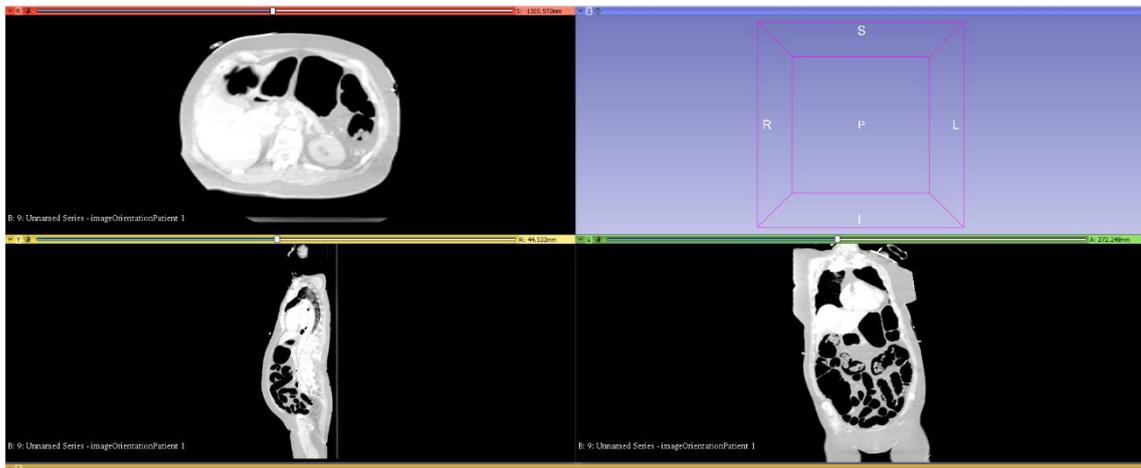


Abbildung 2: eingespielte DICOM Datei

Über den „Segment Editor“ wurde ein neues Segment mit dem Titel „Gas“ mit der Farbe Grün erstellt. Im Anschluss wurden mittels der „Threshold“-Funktion Voxel im Bereich von -1021 und -500 HU grafisch dargestellt (siehe Abbildung 3).

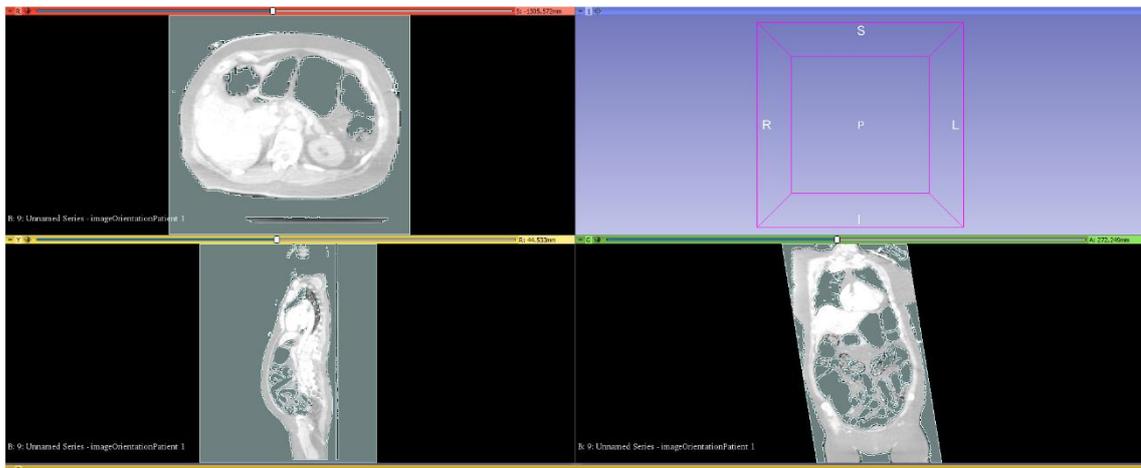


Abbildung 3: Darstellung Gas mittels Threshold

Für eine Berechnung des intraluminalen Gasvolumens mussten alle extraintestinal gelegenen und mit Gas gefüllten Bereiche manuell entfernt werden. Dafür wurden initial die extrakorporalen Bereiche mittels der „Scissor“-Funktion in mehreren Schritten entfernt. Um ein möglichst präzises Arbeiten zu gewährleisten, wurden diese Arbeitsschritte in jeden der vier Darstellungsfenster vorgenommen (axiales-, sagittales-, koronares- und 3D Fenster). In den nächsten Arbeitsschritten wurden die gashaltigen Bereiche der Atemwege gleichermaßen schrittweise entfernt. Um die korrekte

Durchführung zu kontrollieren, wurden nach den einzelnen Arbeitsschritten die CT-Bilder mit dem korrelierenden 3D-Darstellungsfenster (Abb. 4, Fenster rechts oben) verglichen. So wurde verhindert, dass fälschlicherweise Bereiche entfernt oder extraintestinal gelegene Bereiche bei der Bearbeitung belassen wurden.

Die volumetrische Berechnung des Gases erfolgte für die Abschnitte des MDT von Magen bis einschließlich Sigmoideum (siehe Abbildung 4).

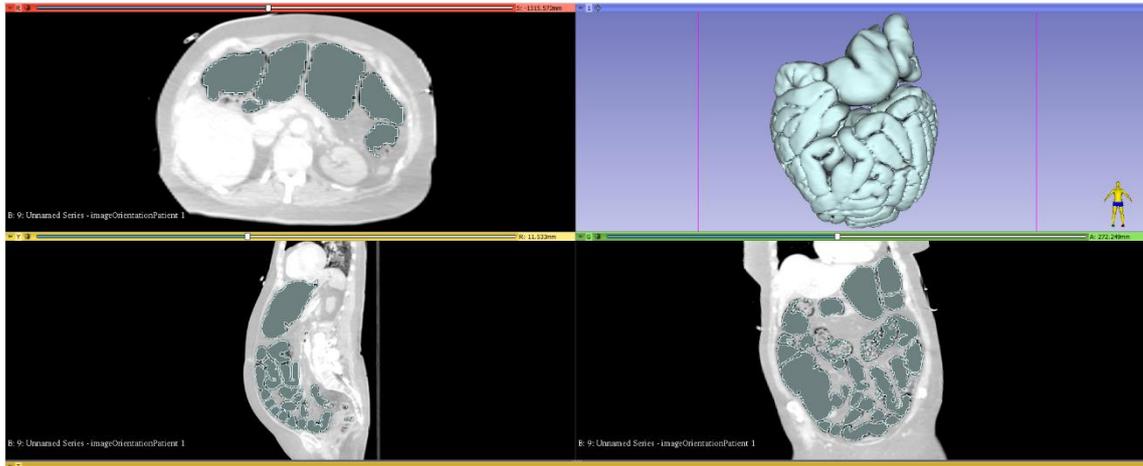


Abbildung 4: Gas innerhalb des MDT

Die Bestimmung des Gasvolumens erfolgte durch die „Segment Statistics“-Funktion mittels Berechnung des, nach der manuellen Bearbeitung, verbleibenden Gasvolumens zunächst für den gesamten MDT (siehe Abbildung 5).

|   | A       | B                             | C                | D                | E                             | F                | G                | H               | I               |
|---|---------|-------------------------------|------------------|------------------|-------------------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | Segment | Number of voxels [voxels] (1) | Volume [mm3] (1) | Volume [cm3] (1) | Number of voxels [voxels] (2) | Volume [mm3] (2) | Volume [cm3] (2) | Minimum [hnsfU] | Maximum [hnsfU] |
| 2 | gas     | 817471                        | 5.54676e+06      | 5546.76          | 817471                        | 5.54676e+06      | 5546.76          | -1021           | -500            |

Abbildung 5: Volumetrie MDT

Im Anschluss erfolgte eine Volumetrie des gastralen Gasvolumens, gesondert vom nachgeschalteten Intestinum. Dafür wurden die oben genannten Arbeitsschritte erweitert, indem die gasgefüllten Bereiche von Duodenum, Jejunum, Ileum und Colon mittels der „Scissors“-Funktion entfernt wurden (siehe Abbildung 6).

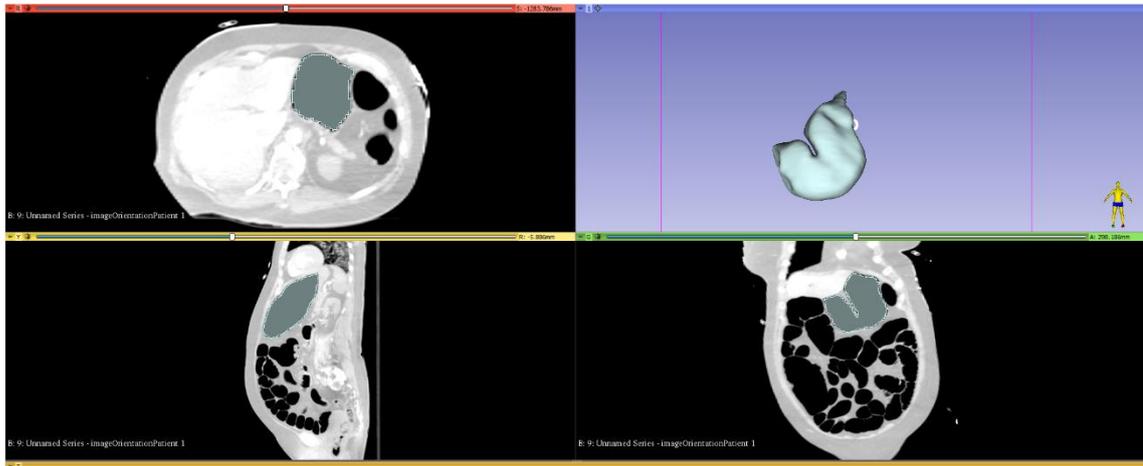


Abbildung 6: Gas innerhalb des Magens

Abschließend erfolgte mittels der „Segment Statistics“-Funktion die Berechnung des verbleibenden Gasvolumens für den Magen (siehe Abbildung 7).

| A         | B                             | C                | D                | E                             | F                | G                | H               | I               |
|-----------|-------------------------------|------------------|------------------|-------------------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| 1 Segment | Number of voxels [voxels] (1) | Volume [mm3] (1) | Volume [cm3] (1) | Number of voxels [voxels] (2) | Volume [mm3] (2) | Volume [cm3] (2) | Minimum [hnsFU] | Maximum [hnsFU] |
| 2 gas     | 121704                        | 825794           | 825.794          | 121704                        | 825794           | 825.794          | -1012           | -500            |

Abbildung 7: Volumetrie des Magen

Die erhobenen Volumina wurden auf die zweite Dezimalstelle gerundet und in Milliliter-Angabe in der Datenbank für die jeweiligen Patienten dokumentiert. Das gashaltige Volumen konnte für den MDT gesamtheitlich und den Magen gesondert nach den oben genannten Arbeitsschritten direkt erfolgen. Die Bestimmung des intestinalen Gasvolumens (= Duodenum, Jejunum, Ileum, Kolon und Sigmoideum) erfolgte indirekt durch Berechnung, als Volumendifferenz des MDT-Gesamtvolumens abzüglich das gastralen Gasvolumens.

## 2.3 Messvalidierung

Um die interne Validität der volumetrischen Auswertung beurteilen zu können, wurden 6 zufällig ausgewählte Patienten wiederholt ausgemessen. Die Ausmessung erfolgte für die einzelnen Patienten vollständig neu durch das wiederholte Einspielen der DICOM Dateien in die Slicer-Software sowie der in 2.2.1 beschriebenen Vorgehensweise zur

Volumetrie. Die so unabhängig ermittelten Werte ermöglichen eine Beurteilung der Reproduzierbarkeit und internen Validität durch die Software.

In Abb. 8 sind die Ergebnisse der 5 Messwiederholungen für die 6 Patienten dargestellt. Die Abszisse beschreibt die Messwiederholung und die Ordinate beschreibt das ermittelten Gasvolumen in Milliliter (ml). Die horizontale, gepunktete Linie stellt den Mittelwert der jeweiligen Wiederholungsmessungen dar.

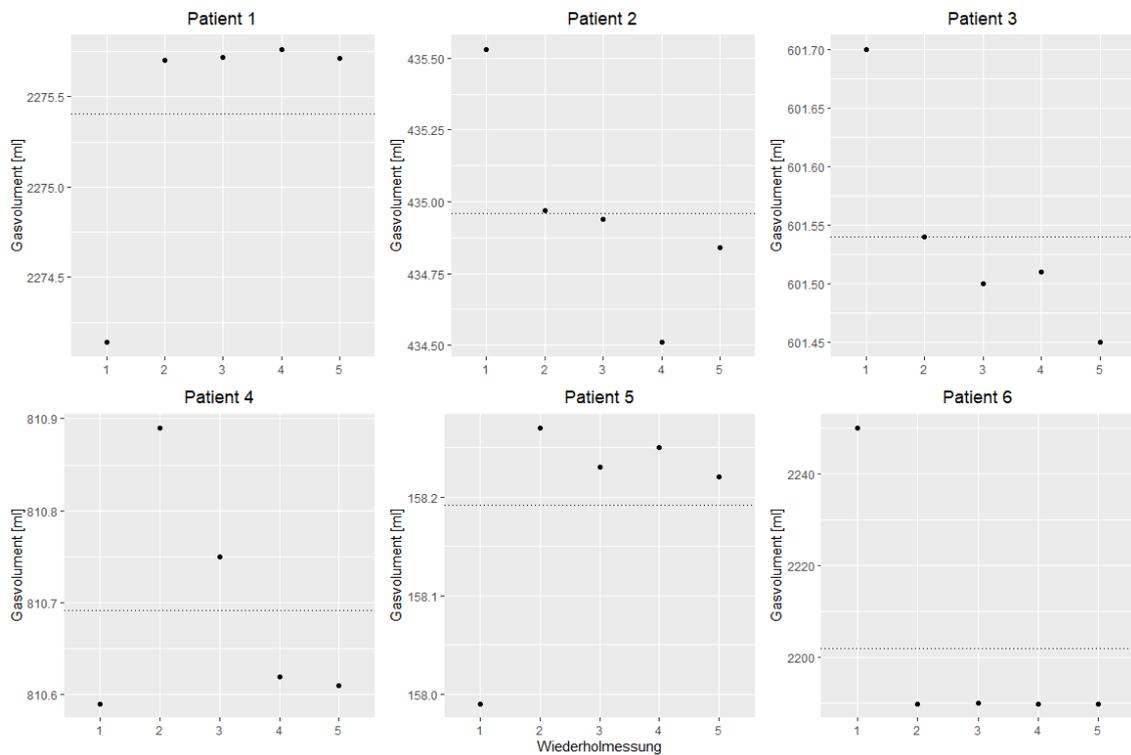


Abbildung 8: Messwiederholungen

Neben der grafischen Darstellung der Messergebnisse, sind die erhobenen Werte in der Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Testmessung/-wiederholung in Milliliter bei 6 zufälligen Patienten

|                         | <b>Patient 1</b> | <b>Patient 2</b> | <b>Patient 3</b> | <b>Patient 4</b> | <b>Patient 5</b> | <b>Patient 6</b> |
|-------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Test 1</b>           | 2274,14          | 435,53           | 601,70           | 810,59           | 157,99           | 2249,97          |
| <b>Test 2</b>           | 2275,70          | 434,97           | 601,54           | 810,89           | 158,27           | 2189,91          |
| <b>Test 3</b>           | 2275,72          | 434,94           | 601,50           | 810,75           | 158,23           | 2190,06          |
| <b>Test 4</b>           | 2275,76          | 434,51           | 601,51           | 810,62           | 158,25           | 2189,90          |
| <b>Test 5</b>           | 2275,71          | 434,84           | 601,45           | 810,61           | 158,22           | 2189,89          |
| <b>Mittelwert±</b>      | 2275,41 ±        | 434,96 ±         | 601,42 ±         | 810,69 ±         | 158,19 ±         | 2201,95 ±        |
| <b>SD</b>               | 0,71             | 0,67             | 0,10             | 0,13             | 0,11             | 26,85            |
| <b>Relativer Fehler</b> | <0,1%            | 0,23%            | <0,1%            | <0,1%            | <0,18%           | 2,73%            |

Für eine Beurteilung der Reproduzierbarkeit wurde der relative Fehler berechnet. Dieser ist definiert als die Spannweite zwischen dem Maximum und Minimum, geteilt durch den Mittelwert. Dieser lag bei den Patienten Nr. 1-5 bei < 0,3%. Für Patient Nr. 6 lag der relative Fehler bei 2,73%, ausschlaggebend war eine Abweichung der ersten Messung.

Vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Messwiederholung kann davon ausgegangen werden, dass interne Validität gegeben ist. Damit sind auch die innerhalb der gesamten Patientenpopulation ermittelten Werte anhand der in 2.2.1 beschriebenen Vorgehensweise vergleichbar.

Bezogen auf Patient Nr. 6 kann es vereinzelt zu Messdifferenzen kommen, allerdings handelt es sich dabei, vor dem Hintergrund des erhobenen Gesamtvolumens, um eine tolerierbare Abweichung. Retrospektiv wird ein Anwenderfehler vermutet, durch den extrakorporales oder extraintestinales unvollständig entfernt wurde.

## 2.4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS (IBM Corp. IBM SPSS Statistics for Windows [Internet]. Armonk, NY: IBM Corp; 2017. URL <https://www.ibm.com/de-de/analytics/spss-statistics-software>), nachdem die Excel Liste in das Programm eingespielt wurde. Ergänzend wurde R (RStudio Team (2020). RStudio: Integrated

Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>) für eine Visualisierung der Ergebnisse eingesetzt.

Für die Untersuchungspopulation erfolgte anfänglich eine Auswertung der demographischen Merkmale und dem Outcome der Reanimation. Ergänzend wurde der Mittelwert und Median für das berechnete Gasvolumen zwischen den Vergleichsgruppen „bei Reanimation verstorben“ und „bei Reanimation überlebt“ berechnet.

Es existieren verschiedene statistische Verfahren, um eine Korrelation zwischen Variablen zu untersuchen. Die Auswahl des anzuwendenden Tests ist von den Eigenschaften der vorliegenden Daten abhängig. Um die Auswahl der korrekten Messmethode zu erlauben, wurden die Daten vorab auf Normalverteilung überprüft. Diese lag grafisch nicht vor (vgl. Abb.10). Ergänzend wurde der Shapiro-Wilk-Test durchgeführt. Die Nullhypothese besagt dabei, dass die Daten normalverteilt sind. Dabei ergab  $p < 0,01$ . Entsprechend muss die Nullhypothese verworfen werden und es ist davon auszugehen, dass die Daten nicht normalverteilt sind.

Für die Beurteilung der Korrelation von intraabdominellen Gas auf das Outcome einer Reanimation wurde der Wilcoxon-Mann-Whitney-U-Test (Wilcoxon Rangsummen Test) angewendet. Dabei handelt es sich um ein nicht parametrisches Verfahren, welches testet, ob sich zwei unabhängige Stichproben und Gruppen bezüglich einer zentralen Tendenz unterscheiden. Eine Durchführung ist mit ordinalskalierten und metrischen Variablen möglich. Ergänzend wurde im Falle einer statistischen Signifikanz die Effektstärke einer Insufflation der unterschiedlichen Abschnitte des MDT auf das Outcome mitbestimmt. Dabei entspricht  $r > 0,1$  nach Cohen einem kleinen Effekt,  $r > 0,3$  einem mittleren Effekt und  $r > 0,5$  einem großen Effekt (19).

Zusätzlich zu dem Wilcoxon-Mann-Whitney-U-Test wurde ein Bootstrapping-Verfahren eingesetzt. Dieses dient dem Vergleich der Mittelwerte des Gasvolumens in Abhängigkeit des Outcomes (20). Das Verfahren kann unabhängig von der statistischen Verteilung eingesetzt werden. Der errechnete Mittelwert ergibt sich aus einer neuen Population, die durch das Ziehen und Zurücklegen der Werte generiert wird. Durch das repetierende Anwenden dieser Schritte versucht man die Verteilung der Statistik zu beurteilen. Für diese Arbeit wurden 10.000 Durchläufe verwendet.

Die Durchführung des Bootstrapping-Verfahrens erlaubt einen Vergleich und eine Interpretation der Ergebnisse des Wilcoxon-Mann-Whitney-U-Tests. Darüber hinaus ist das Bootstrapping-Verfahren weniger anfällig für eine ungleiche Verteilung der verwendeten Daten.

## 3. Ergebnisse

### 3.1 Patientenpopulation

Insgesamt wurden 361 Patienten in die Auswertung einbezogen (n = 361). Die Population wurde in Bezug auf demographische Merkmale, die Ergebnisse der Volumetrie sowie das Outcome der Reanimation untersucht.

Ferner werden die bei der Reanimation verwendeten Hilfsmittel und der Kreislaufzustand zum Zeitpunkt der Einlieferung ins Krankenhaus beschrieben.

#### 3.1.1 Demographische Auswertung

Im Median waren die Patienten 67 Jahre alt. Der jüngste Patient war 16 und der älteste Patient 99 Jahre alt. Wie die Daten gezeigt haben, gab es mit 255 Fällen im Vergleich zu 106 Fällen mehr als doppelt so viele männliche wie weibliche Patienten, die im Rahmen einer präklinischen Reanimation über den Schockraum aufgenommen worden sind.

Tabelle 2: Alter in Jahren und Outcome

| Patienten         |     | Alter  |            |           |
|-------------------|-----|--------|------------|-----------|
|                   | n   | Median | Mittelwert | Min / Max |
| <b>Gesamt</b>     | 361 | 67,00  | 64,19      | 16 / 99   |
| <b>Überlebt</b>   | 82  | 64,00  | 62,61      | 27 / 99   |
| <b>Verstorben</b> | 173 | 69,00  | 64,88      | 16 / 97   |

Die Tabelle 3 zeigt das Verhältnis von weiblichen- und männlichen Patienten in Bezug auf das Outcome einer Reanimation. Bei weiblichen Reanimationspatientinnen kam es in 73,6% der Fälle zu einem letalen Ausgang, im Vergleich zu 67,8% bei männlichen Reanimationspatienten.

Tabelle 3: Geschlecht und Outcome

| Männlich |            |          | Weiblich |            |          |
|----------|------------|----------|----------|------------|----------|
| n        | Verstorben | Überlebt | n        | Verstorben | Überlebt |
| 255      | 173        | 82       | 106      | 78         | 28       |

In der Abb. 9 ist die demographische Altersverteilung visualisiert. Es zeigte sich eine annähernde Normalverteilung des Patientenalters der Untersuchungspopulation.

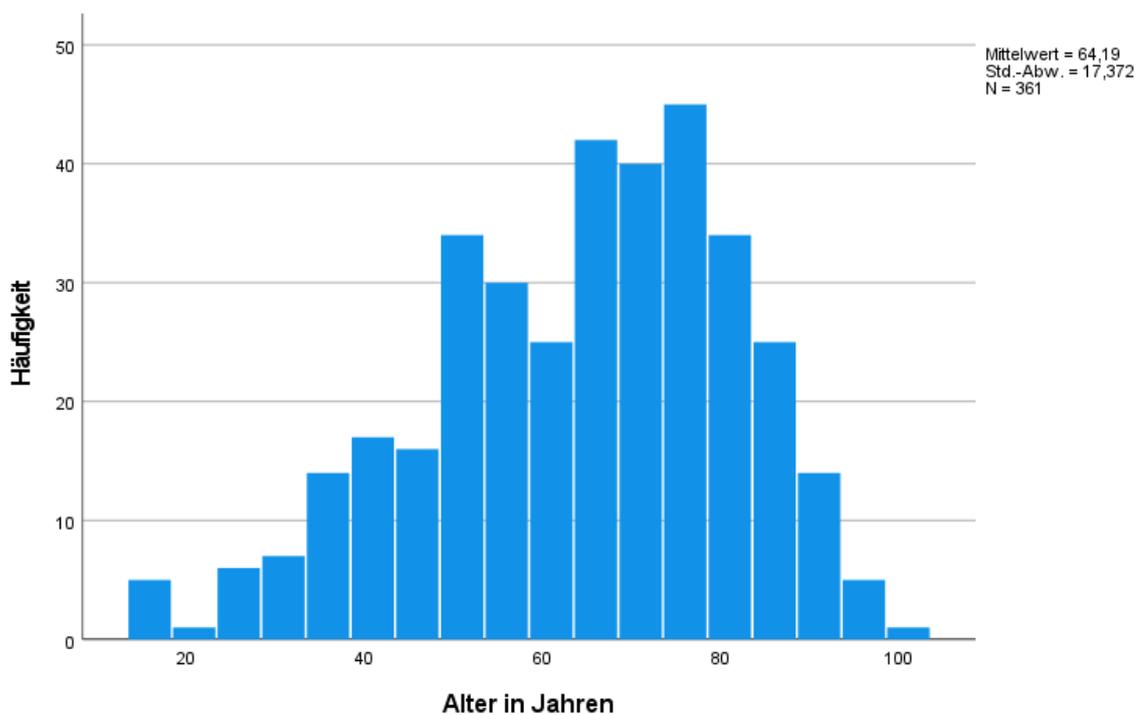


Abbildung 9: Histogramm des Patientenalters

### 3.1.2 Outcome der Reanimation

Von 361 (n = 361) Reanimationen wurden 175 (48,5%) unter dem Stichwort „laufende Reanimation“ in die Klinik eingeliefert. Bei 186 Patienten (51,5%) bestand zum Zeitpunkt der Aufnahme ein „return of spontaneous circulation“ (ROSC).

Bei 123 Patienten (34,1%) wurden die Reanimationsmaßnahmen im Schockraum mit der Diagnose Exitus letalis eingestellt. Für 238 Patienten (65,9%) hat sich nach der Aufnahme in den Schockraum eine Verlegung auf eine andere Station angeschlossen. In der Regel handelte es sich dabei um eine Intensivstation oder das Herzkatheterlabor.

Nach Auswertung der vorliegenden Dokumentation von Rettungsdienst und Schockraum, kamen bei 165 Reanimationen (45,7%) mechanische Reanimationshilfen (mCPR) im Laufe der Reanimationsbemühungen zum Einsatz. Es wurde nicht weiter zwischen dem Zeitpunkt und der Dauer der Anwendung eines mechanischen Reanimationsgerätes differenziert. In den verbleibenden 196 Fällen (54,3%) wurden entsprechend der vorliegenden Dokumentation ausschließlich manuelle Thoraxkompressionen eingesetzt.

Tabelle 4: Outcome und Durchführung Reanimation

| Patienten | Aufnahmestatus |                      | Outcome        |           | Thoraxkompression |         |
|-----------|----------------|----------------------|----------------|-----------|-------------------|---------|
|           | ROSC           | Laufende Reanimation | Exitus letalis | Verlegung | Mechanisch        | Manuell |
| n         |                |                      |                |           |                   |         |
| 361       | 186            | 175                  | 110            | 251       | 165               | 196     |

### 3.1.3 Eingesetzte Atemweghilfsmittel

Die Beschreibung des eingesetzten Atemweghilfsmittels bezieht sich auf den Zeitpunkt der Aufnahme im Schockraum. Die notwendigen Informationen wurden aus den Schockraumprotokollen entnommen. Falls das einliegende Atemweghilfsmittel nicht schriftlich dokumentiert wurde, so wurde auf die angefertigten CT-Bilder zurückgegriffen, sofern vorhanden.

Patienten ohne einliegende Atemweghilfsmittel beschreibt gleichermaßen Patienten mit einer erhaltener Spontanatmung wie auch Patienten mit Masken-Beutel-Beatmung.

Die Auswertung ergab, dass 280 Patienten (77,6%) zum Zeitpunkt der Übernahme in den Schockraum endotracheal intubiert waren. Bei 21 Patienten (5,8%) lag ein Larynx-tubus (LT) und bei 17 Patienten (4,7%) eine Larynxmaske (LM) ein. In 27 Fällen (7,5%) lag weder ein endotracheales- noch supraglottisches Atemweghilfsmittel ein. Für 16 (4,4%)

Patienten ließ sich nicht ermitteln welche Art der Ventilation zum Zeitpunkt der Übergabe im Schockraum eingesetzt wurde.

Tabelle 5: Eingesetzte Atemwegshilfsmittel

| Atemwegshilfsmittel | Endotracheal-Tubus | Larynxtubus | Larynxmaske | Spontanatmung |
|---------------------|--------------------|-------------|-------------|---------------|
|                     | 280                | 21          | 17          | 27            |

### 3.2 Volumetrie Ergebnisse

Für 172 Patienten konnte eine volumetrische Auswertung vorgenommen werden. Durchschnittlich befanden sich 1044 ml Gas im MDT von Reanimationspatienten ( $M = 1044$  ml;  $SD = 1061$  ml). Das Volumen verteilte sich dabei durchschnittlich mit 626 ml ( $M = 626$  ml;  $SD = 762$  ml) vermehrt in das Intestinum, im Vergleich zu 418 ml ( $M = 418$  ml;  $SD = 498$  ml) im Magen.

Für das Intestinum bestand ein Unterschied für das Gasvolumen zwischen Patienten mit erfolgreichem und erfolglosem Ausgang einer Reanimation. Mit 726 ml ( $M = 726$  ml;  $SD = 838$  ml) lag das durchschnittliche Gasvolumen im Falle eines letalen Ausgangs einer Reanimation deutlich über dem Volumen von 408 ml ( $M = 408$  ml;  $SD = 503$  ml) für Patienten mit erfolgreichem Reanimationsergebnis.

Für den MDT ergibt sich ein vergleichbares Ergebnis mit einem durchschnittlichen Gasvolumen von 1178 ml ( $M = 1178$  ml;  $SD = 1133$  ml) im Falle eines letalen Ausgangs und 751 ml ( $M = 751$  ml;  $SD = 818$  ml) im Falle einer erfolgreichen Reanimation.

Für die Gasvolumina im Magen ergeben sich nur geringe Unterschiede für das Gasvolumen in Bezug auf das Outcome. Im Falle eines letalen Ausgangs waren es durchschnittlich 452 ml ( $M = 452$  ml;  $SD = 500$  ml) und 343 ml im Falle einer erfolgreichen Reanimation ( $M = 343$  ml;  $SD = 491$  ml).

Tabelle 6: Ergebnisse Volumetrie in Milliliter

|                    | Überlebt      | Verstorben      | Absolut         |
|--------------------|---------------|-----------------|-----------------|
| MDT M±SD           | 750,53±817,59 | 1178,05±1133,18 | 1043,83±1060,83 |
| MDT Median         | 380,65        | 757,40          | 636,46          |
| MDT Maximum        | 3119,03       | 5549,79         | 5549,79         |
| MDT Minimum        | 86,32         | 96,38           | 86,32           |
|                    |               |                 |                 |
| Magen M±SD         | 342,78±490,89 | 451,83±500,04   | 417,59±498,34   |
| Magen Median       | 100,85        | 172,35          | 148,42          |
| Magen Maximum      | 1995,78       | 2113,31         | 2113,31         |
| Magen Minimum      | 0,00          | 0,00            | 0,00            |
|                    |               |                 |                 |
| Intestinum M±SD    | 407,74±503,21 | 726,22±838,27   | 626,23±762,40   |
| Intestinum Median  | 209,76        | 394,68          | 341,25          |
| Intestinum Maximum | 2556,47       | 4724,13         | 4724,13         |
| Intestinum Minimum | 45,15         | 71,94           | 45,15           |

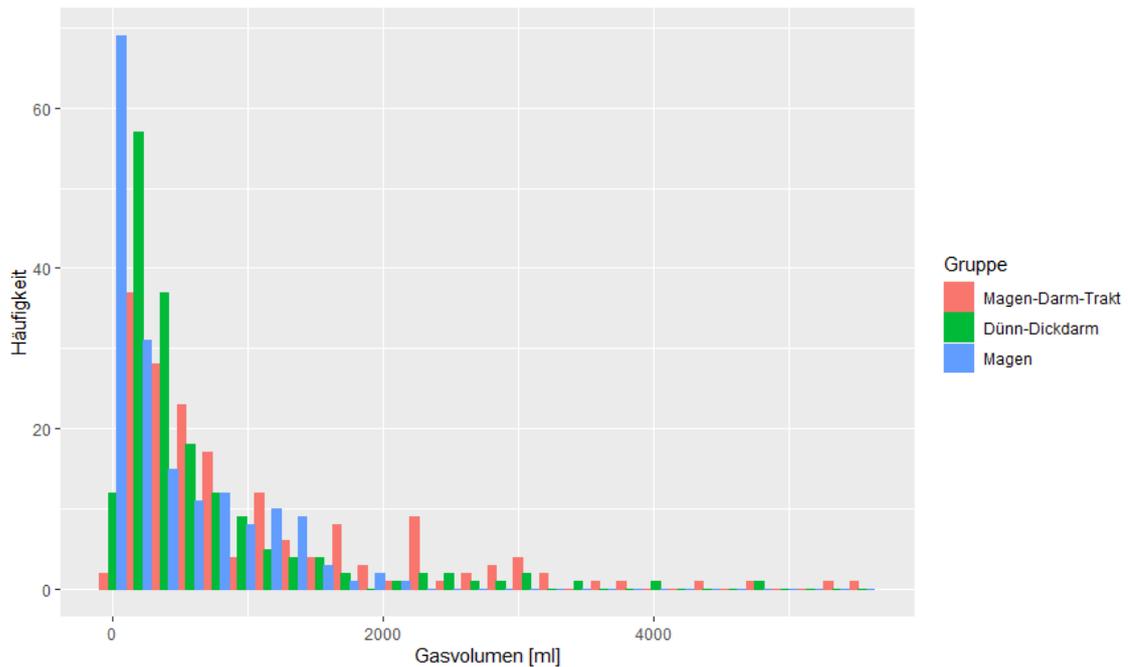


Abbildung 10: Gasverteilung Magen-Darm-Trakt, Magen und Dünn-/Dickdarm

Abbildung 10 zeigt die Verteilung der Gasvolumina entsprechend der Kompartments „Dünn-Dickdarm“, „Magen“ und gesamten „Magen-Darm-Traktes“ farblich getrennt in Bezug auf erhobenes Gasvolumen (Abszissenachse) und Häufigkeit (Ordinatenachse). Aus der Abbildung geht hervor, dass besonders kleine Volumina unter einem Liter gehäuft vorkommen.

### 3.3 Korrelation zwischen Gasvolumen und Outcome der Reanimation

Zur Untersuchung der Korrelation zwischen Insufflation und Reanimationsergebnis wurden die erhobenen Volumina mit dem jeweiligen Outcome der Reanimation in verglichen.

Die Abbildungen 11-13 zeigen die Abhängigkeit zwischen den Faktoren Outcome und Gasvolumen für die Untersuchungsgruppen „Überlebt“ und „Verstorben“. Die Ordinate stellt die Häufigkeitsverteilung der Einzelmessungen dar, die Abszisse das ermittelte Gasvolumen. Die beiden farblichen vertikalen Linien stellen den jeweiligen Mittelwert der Vergleichsgruppen dar. Kleine rote Inkremente am oberen Rand stehen für Patienten mit sekundärem Überleben, kleine blaue Inkremente am unteren Rand stehen für

Reanimationen mit tödlichem Ausgang. In Bereichen mit einer hohen Dichte an gemessenen Volumina liegen die kleinen Inkremente näher beieinander und die Kurve steigt an. Umgekehrt zeigen Abschnitte, in denen die Inkremente weiter auseinander liegen und die Kurve flach ist, dass eine Volumenmessung seltener zu einem entsprechenden Ergebnis geführt hat.

Abbildung 11 visualisiert das Ergebnis für das Gasvolumen des gesamten MDT

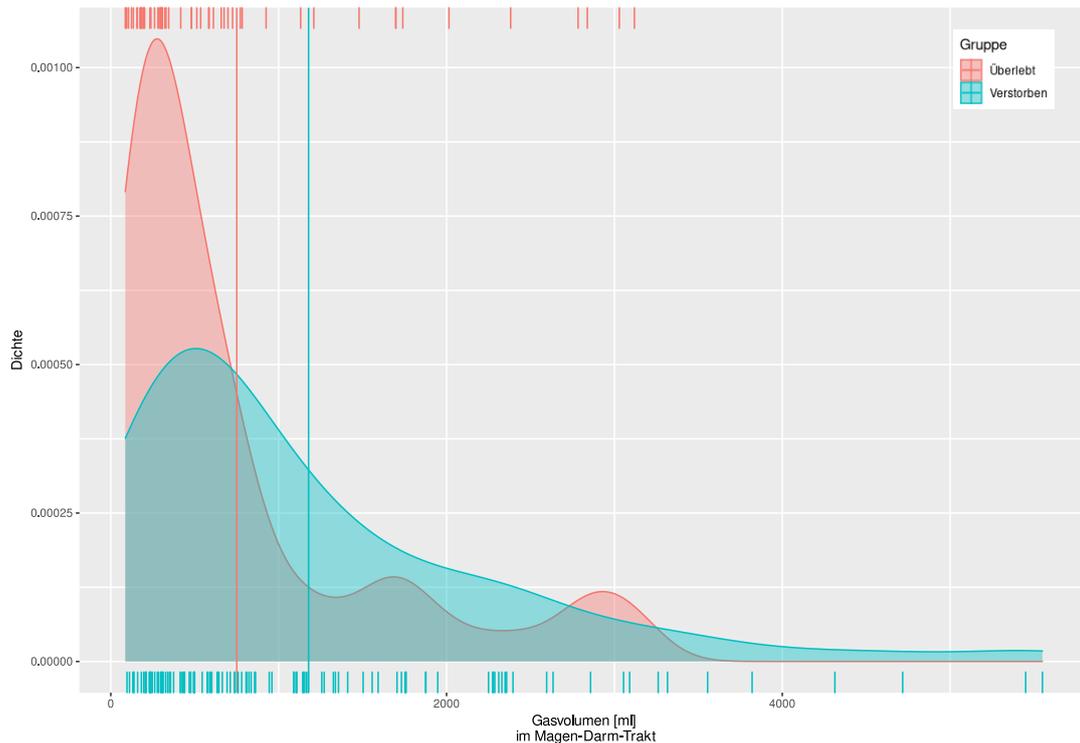


Abbildung 11: Volumen und Outcome des MDT

Mit konsekutiver Zunahme des Gasvolumens liegt, über große Abschnitte, die blaue Kurve (=letaler Ausgang) über der roten Kurve (=überlebt) und deutet auf einen Unterschied zwischen den beiden Gruppen hin. Viele der Patienten mit besonders kleinen Gasvolumina haben überlebt, wie der rote Graph im vorderen Teil der Grafiken visualisiert. Wie aus den Abbildungen hervorgeht, korreliert augenscheinlich ein erhöhtes Gasvolumen mit einem letalen Ausgang einer Reanimation. Dies gilt gleichermaßen für den MDT und das Intestinum.

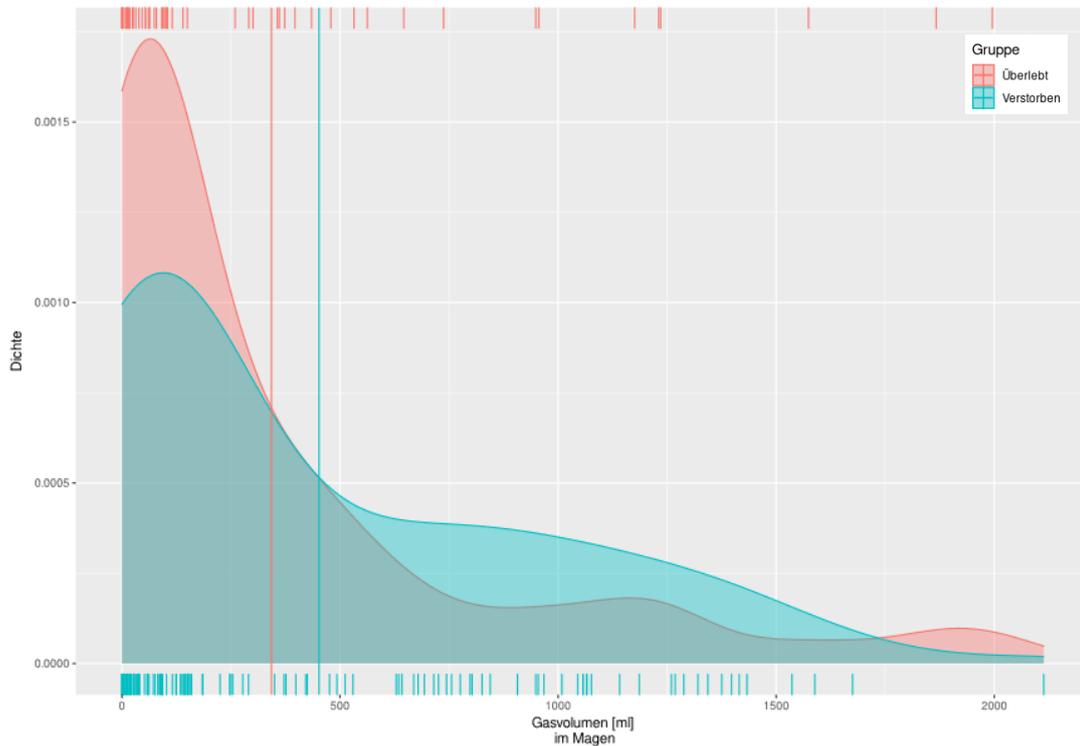


Abbildung 12: Volumen und Outcome des Magen

Während kleine Volumina gehäuft bei beiden Vergleichsgruppen vorkamen, nimmt die Häufigkeit für größere Gasvolumen im Verlauf deutlich ab.

Zur Beurteilung der Signifikanz der zentralen Tendenzen der Vergleichsgruppen „verstorben“ und „überlebt“ wurde der Wilcoxon-Mann-Whitney-U-Test (Wilcoxon Rangsummen Test) eingesetzt. Die Nullhypothese besagt in diesem Fall, dass zwischen den beiden Vergleichsgruppen keinen Unterschied in Bezug auf das Outcome besteht.

Verstorbene Patienten verfügten über ein signifikant höheres Gasvolumen ( $p < 0,01$ ;  $W = 4141$ ) innerhalb des gesamten MDT, verglichen mit Reanimationen und erfolgreichen Ausgang. Die Effektstärke liegt bei  $r = 0,24$  und entspricht nach Cohen (1992) damit einem schwachen Effekt.

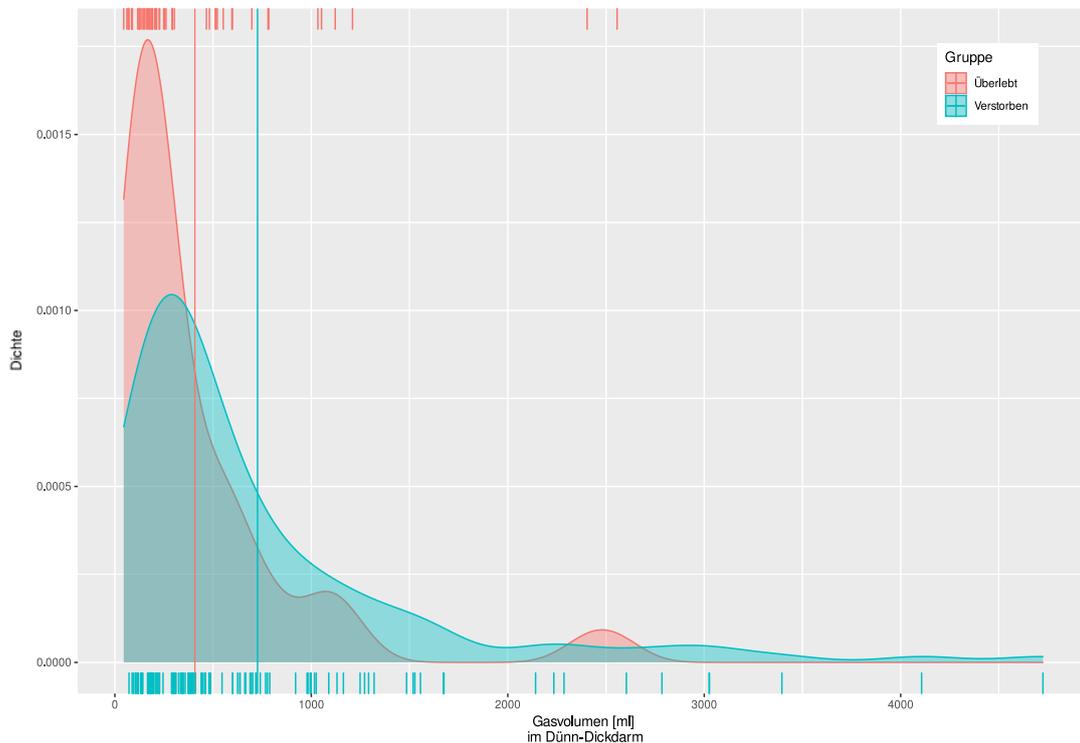


Abbildung 13: Volumen und Outcome des Intestinum

Gleichermaßen korreliert ein erhöhtes Gasvolumen im Intestinum signifikant ( $p < 0,01$ ;  $W = 4278$ ) mit dem letalen Ausgang einer Reanimation. Die Effektstärke liegt bei  $r = 0,28$  und entspricht nach Cohen (1992) einem schwachen Effekt.

Ein erhöhtes Gasvolumen im Magen geht nicht mit einem Anstieg für die Wahrscheinlichkeit eines letalen Ausgangs, im Vergleich zu einem erfolgreichen Outcome für die Reanimation einher ( $p = 0,12$ ;  $W = 3656,5$ ).

Bei einem angelegten Signifikanzniveau von 5% muss die Nullhypothese, dass kein Zusammenhang zwischen Gasvolumen und Outcome besteht, für das Intestinum und MDT verworfen werden. Es ist anzunehmen, dass zwischen erhöhten Gasvolumen und dem letalen Ausgang einer Reanimation eine signifikante Korrelation besteht.

Für den Magen kann die Nullhypothese nicht verworfen werden, entsprechend besteht hier scheinbar kein Zusammenhang zwischen einer vermehrten Insufflation und einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für den letalen Ausgang einer Reanimation.

Ergänzend zu den genannten Untersuchungen wurde anhand des Bootstrapping-Verfahrens überprüft, ob sich die Mittelwerte des Gasvolumens für die Gruppen „Überlebt“ und „Verstorben“ in Abhängigkeit vom Outcome unterscheiden. Analog zu den vorangegangenen Ergebnissen zeigte sich, dass bei Patienten mit letalen Ausgang einer Reanimation im Mittel 428 ml (95%-KI [126-725 ml]) signifikant mehr Gasvolumen im MDT nachweisbar ist, verglichen mit Patienten einer erfolgreichen Reanimation.

Gleichermaßen verfügen verstorbene Patienten im Bereich des Intestinums im Mittel 318 ml (95%-KI [115-518 ml]) mehr Gasvolumen, im Vergleich zu Patienten, die eine Reanimation überlebt haben.

Hingegen ergab sich für den Magen kein statistisch signifikanter Unterschied in Bezug auf das Gasvolumen zwischen Reanimationen mit letalen und erfolgreichen Ausgang (95%-KI [-56-261 ml]).

## 4. Diskussion

Im Rahmen dieser Arbeit erfolgte eine Auswertung des Gasvolumens im Magen-Darm-Trakt von präklinischen Reanimationspatienten. Ziel der Volumetrie war die Untersuchung einer möglichen Korrelation zwischen dem Ausmaß einer Insufflation und dem Ausgang einer Reanimation.

Für die retrospektive Arbeit wurden insgesamt 361 Reanimationspatienten aus den Jahren 2014 bis 2018 aus dem Großraum München untersucht. Datengrundlage für die statistische Auswertung waren CT-Bilder, die im Rahmen der Aufnahme und Versorgung durch die aufnehmenden Schockräume angefertigt wurden ( $n = 172$ ).

Wie die Auswertung ergeben hat, befanden sich im Mittel 1044 ml Gas innerhalb des MDT der untersuchten Reanimationspatienten ( $M = 1044$  ml;  $SD = 1061$  ml). Ferner hat sich gezeigt, dass das Gas innerhalb des MDT im Falle eines letalen Ausgangs einer Reanimation mit 1178,05 ml ( $M = 1178$  ml;  $SD = 1133$  ml) höher liegt, im Vergleich zu erfolgreichen Reanimationen mit 751 ml ( $M = 751$  ml;  $SD = 818$  ml).

Unterteilt man den MDT in Magen und nachfolgendes Intestinum, so ließen sich im Intestinum durchschnittlich 726 ml Gas ( $M = 726$  ml;  $SD = 838$  ml) im Falle eines letalen Ausgangs und 408 ml ( $M = 408$  ml;  $SD = 503$  ml) im Falle einer erfolgreichen Reanimation nachweisen. Für den Magen ergab sich ein durchschnittliches Volumen von 342,78 ml ( $M = 343$ ;  $SD = 491$  ml) für den erfolgreichen Ausgang und 452 ml ( $M = 452$ ;  $SD = 500$  ml) im Falle eines letalen Ausgangs einer Reanimation.

Ein gesteigertes Gasvolumen im MDT und Intestinum korreliert signifikant ( $p < 0,01$ ) mit dem letalen Ausgang einer Reanimation. Die Effektstärke einer Insufflation des MDT und des Intestinums sind jeweils gering ausgeprägt.

Die Ergebnisse des Wilcoxon-Mann-Whitney-U-Test stimmen mit denen des analog durchgeführten Bootstrapping-Verfahrens überein. Dieses hat ergeben, dass sich bei verstorbenen Reanimationspatienten innerhalb des MDT durchschnittlich 428 ml (95%-KI [126-725 ml]) mehr Gas nachweisen ließ. Im Falle des Intestinums ließen sich bei letalen Ausgängen im Mittel 318 ml (95%-KI [115-518 ml]) mehr Gas nachweisen.

## 4.1 Stellenwert des Gasvolumens für die Reanimation

### 4.1.1 Physiologisches Gasvolumen und Reanimationspatienten

Gas kommt physiologisch im MDT vor (21). Es sind Prozesse bekannt, die zur Bildung und Akkumulation von Gas führen. Dabei handelt es sich vornehmlich um die Bildung von Methan, CO<sub>2</sub>, Stick- und Wasserstoff im Rahmen des anaeroben Stoffwechsels der residenten Darmflora (22, 23). Neben der Fermentation kann es auch durch den Schluckakt zur Akkumulation von Gas im Magen kommen, insbesondere durch den Verzehr von kohlesäurehaltigen Getränken. Verschiedene Studien haben sich mit der Beschreibung des Gasvolumens beschäftigt. Dabei wurde für eine Studie ein Volumen von 94 ml ( $M = 94$  ml;  $SD = 7$  ml) bei nüchternen Menschen und 149 ml ( $M = 149$  ml;  $SD = 21$  ml) nach der Nahrungsaufnahme ermittelt ( $n = 15$ ) (24). Im Rahmen einer weiteren Studie wurde das Gasvolumen bei Menschen mit funktionellen- und/oder organischen gastrointestinalen Beschwerden ermittelt. Dabei wurden im Mittel Volumina von 197,6 ml für Patienten mit funktionellen Beschwerden, 220,6 ml bei Patienten mit organisch-gastrointestinalen Beschwerden und 155,0 ml für Patienten mit organisch-funktionalen Beschwerden errechnet ( $n = 312$ ) (25).

Wie die Auswertung der Ergebnisse ergeben hat, liegt das Gasvolumen bei Reanimationspatienten mit 1044 ml ( $M = 1044$  ml;  $SD = 1061$  ml) deutlich über dem o.g. physiologischen Volumen. Diese Beobachtung gilt gleichermaßen für Reanimationen mit sekundär erfolgreichem sowie letalem Ausgang einer Reanimation. Entsprechend kann vor dem Hintergrund der Ergebnisse vermutet werden, dass im Rahmen der Reanimation Maßnahmen ergriffen werden, die zu einer Akkumulation von Gas im MDT führen können.

Unter der Annahme, dass 149 ml Gas (24) für den MDT beim erwachsenen Menschen dem physiologischen Mittelwert entspricht, so ließ sich bei 92,44% ( $n = 172$ ) aller Reanimationspatienten ein gesteigertes Gasvolumen im MDT nachweisen.

### 4.1.2 Ursache der Insufflation

Die Beatmung ist, neben den Thoraxkompressionen und der Elektrotherapie, ein elementarer Bestandteil der Reanimation (26, 27) und dient der Oxygenierung von Blut, bzw. dem Austausch von CO<sub>2</sub>. Für die Durchführung der Ventilation existieren verschiedene Hilfsmittel, die in Abhängigkeit von patientenspezifischen Eigenschaften, den Reanimationsbedingungen und der individuellen Expertise der Einsatzkräfte im

präklinischen Bereich zur Verfügung stehen (28). In der Regel wird im Rahmen einer präklinischen Reanimation durch den Rettungsdienst und/oder einen Notarzt anfänglich eine Beutel-Masken-Beatmung durchgeführt. Im weiteren Verlauf der präklinischen Therapie kommen erweiterte Atemwegshilfsmittel zur Atemwegssicherung und Ventilation zum Einsatz (27). Als Goldstandard gilt die endotracheale Intubation, die vor allem durch ärztliches Personal eingesetzt wird und gegenüber den supraglottischen Atemwegshilfen einen sicheren Aspirationsschutz darstellt. Sie erlaubt außerdem eine Ventilation unter Fortführung der Thoraxkompressionen (29). Als alternative Methoden stehen supraglottische Atemwegshilfsmittel zur Verfügung, die vornehmlich von nicht-ärztlichen Personal eingesetzt werden (30).

Als möglicher Ursache einer gesteigerten Akkumulation von Gas im MDT kommt der künstlichen Beatmung ein besonderer Stellenwert zu. Bekanntermaßen kann eine Masken-Beutel- oder Mund-zu-Mund/Nasen-Beatmung einen Auslöser für die Überblähung des Magens darstellen (31). Prädisponierende Faktoren sind dabei die Ventilation mit großen Tidalvolumen mit mehr als 500-600 ml, eine verkürzte Inspirationszeit und hohe Spitzendrücke während der Beatmung (32, 33). Für die Masken-Beutel-Beatmung gilt als oberer Grenzwert ein Beatmungsdruck von ca. 20 cm H<sub>2</sub>O, was annähernd dem Tonus des unteren Ösophagussphinkters entspricht (34). Wird dieser Grenzwert überschritten, kann es zu einer Belüftung des Magens kommen.

Neben der Masken-Beutel-Beatmung kann die endotracheale Intubation eine mögliche Ursache für die Insufflation des MDT darstellen. Im Falle einer Fehlintubation mit Einlage des Endotrachealtubus in den Ösophagus kann es zu einer unmittelbaren Ventilation des Magens kommen (35, 36).

Als supraglottische Atemwegshilfsmittel stehen LT und LM zur Verfügung. Entsprechend der Funktionsweise des LT wird im Idealfall der Ösophagus durch einen kleinen Cuff abdichtet. Eine Öffnung oberhalb dieses Ballons erlaubt die Ventilation der Lunge (siehe Abbildung 14 aus <https://de.wikipedia.org/wiki/Larynxtubus>, besucht am 27.06.2022).



Abbildung 14: Larynx-tubus

Wie Arbeiten gezeigt haben, kann es auch bei der Verwendung von supraglottischen Atemwegshilfsmitteln zu einer Insufflation des Magens kommen, insbesondere wenn diese falsch einliegen oder wenn erhöhte Beatmungsdrücke verwendet werden (37, 38).

Neben der Ventilation kann möglicherweise auch die Thoraxkompression zu einer Insufflation des Magens beitragen. Im Rahmen der Thoraxkompression kommt es zu Druckänderungen innerhalb des Thorax und dadurch zu einer passiven Ventilation der Lunge, mit Volumina zwischen 7,5-45,8 ml (39, 40). Ob es zu einer vergleichbaren Volumenverschiebung in Ösophagus und Magen kommt, ist unklar. Diese Hypothese erscheint unwahrscheinlich, da im Ruhezustand das Lumen des Ösophagus segmental kollabiert, bzw. dieser über einen Sphinkter am Übergang zum Magen verfügt (41) und den Strom von Luft limitiert.

#### **4.1.3 Krankheitsbild abdominelles Kompartmentsyndrom**

Physiologisch liegt im Abdomen, bezogen auf den vorherrschenden Druck, ein Gleichgewichtszustand bis max. 5 mmHg vor (42). Nach Definition der World Society of abdominal Compartment Syndrom (WSACS) handelt es sich bei einem abdominellen

Kompartmentsyndrom (ACS) um einen Anstieg des intraabdominellen Drucks von über 20 mmHg, einhergehend mit einem neu aufgetretenen multi-/Organversagen. Als Vorstufe gilt der intraabdominelle Hypertonus (IAH), der eine dauerhafte Druckerhöhung von mehr als 12 mmHg beschreibt (42). Als zugrundeliegende Auslöser für ein ACS/IAH sind verschiedene Pathomechanismen bekannt. Neben einer Reduktion der Compliance der Bauchwand, können die Zunahme von Flüssigkeit, Gewebe oder Gas zu einem Anstieg des intraabdominellen Drucks führen (43, 44). Die durch eine Druck- und Volumenzunahme bedingten Folgen bleiben nicht nur auf die Organe des abdominellen Kompartiments begrenzt, da die Druckzunahme durch das Diaphragma auch auf die thorakalen Organe übertragen wird. Je nach vorliegenden Schweregrad des ACS/IAH können verschiedene Auswirkungen auf Organe und systemische Funktionen beobachtet werden (42, 45, 46).

Zu den pulmonalen Auswirkungen zählen u.a.:

- Kompression der Pulmonalarterien
- Reduzierte pulmonale Compliance
- Reduziertes funktionales Residualvolumen
- Reduziertes Tidalvolumen
- Vermehrte Bildung von Atelektasen
- Reduzierte Perfusion der Kapillaren
- Gesteigertes Shuntvolumen
- Reduzierte O<sub>2</sub>-Aufnahme und CO<sub>2</sub> Abgabe

Als kardiale Komplikationen können u.a. auftreten:

- Reduzierte diastolische Füllmenge
- Reduzierte Kontraktilität
- Kompression der V. cava inferior
- Reduziertes Herz-Zeit-Volumen

Zu den weiteren systemischen Folgen zählen u.a.:

- Obstruktiver Schock
- Gesteigerter systemischer, vaskulärer Widerstand
- Lactatazidose
- Reduzierte renale Perfusion, ggf. einhergehend mit Nierenversagen
- Reduktion des zerebral-venösen Rückstroms
- Mesenteriale Ischämie

Je nach vorherrschenden Schweregrad des ACS/IAH kommt es zu einer ansteigenden Mortalitätsrate. Ein vollständig ausgeprägtes ACS geht dabei mit einer Mortalitätsrate von ca. 75-90% einher (42).

Als mögliche Risikofaktoren für die Entstehung eines ACS/IAH werden unter anderem eine Azidose und Hypotension diskutiert, beides Faktoren, die bekanntermaßen auch bei Patienten mit Herz-Kreislaufstillstand vorliegen können (42, 45).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Gas ein bekannter Auslöser für das ACS/IAH ist. Im Rahmen einer Reanimation sind Azidose und Hypotension/Kreislaufstillstand potenzielle Risikofaktoren, welche die Entstehung eines ACS/IAH begünstigen könnten.

#### **4.1.4 Insufflation bei Reanimationspatienten**

Eine allgemein bekannte Komplikation einer Insufflation des Magens besteht in der gesteigerten Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Regurgitation und Aspiration (31, 47). Damit verbunden sind verschiedene Komplikationen für den weiteren Verlauf der Reanimation und des klinischen Verlaufs, insbesondere durch die Beeinträchtigung der Ventilation und die Entstehung einer Aspirationspneumonie (48).

Die systemische Wirkung einer Insufflation, im Sinne eines ACS/IAH, unter Reanimationsbedingungen sind am Menschen nach unserem Wissensstand nur unzureichend untersucht.

In einer Untersuchungsreihe durch Paal et al. konnte die systemische Wirkung der Insufflation unter Reanimationsbedingungen tierexperimentell beobachtet werden. Dabei wurde bei Schweinen durch eine Sonde gezielt Luft insuffliert, um die systemische Wirkung zu untersuchen. Dabei konnte unter anderem festgestellt werden, dass im Rahmen der abdominalen Volumenzunahme folgende Effekte zu beobachten sind (49):

- Abnahme des kardialen Auswurfs
- Abnahme des arteriellen O<sub>2</sub>-Partialdrucks
- Abnahme pulmonaler Compliance
- Erhöhter Peak-Airway-Pressure
- Zunahme des pulmonalarteriellen Drucks
- Zunahme des zentralnervösen Drucks

Bei Schweinen mit gesteigerten Gasvolumen gelang es seltener einen ROSC im Rahmen des Experiments herbeizuführen (50, 51).

Wie durch die Arbeiten gezeigt werden konnte, korreliert Schweregrad der verschiedenen Effekte mit der Zunahme des Gasvolumens.

Eine vergleichbare Wirkung der in den Tierexperimenten beobachteten Effekte beim Menschen erscheint möglich. In Anlehnung an diese Hypothese ließen sich im Rahmen der hier vorgelegten Studienarbeit bei einzelnen CT-Aufnahmen, insbesondere in besonders ausgeprägten Fällen einer Insufflation, mögliche radiologisch-morphologische Korrelate eines erhöhten intraabdominellen Drucks beobachten. So zeigte sich bei einzelnen Patienten eine streckenweise, bzw. vollständige Kompression der V. cava inferior (siehe Abbildungen 15 und 16).



Abbildung 15: CT axial mit Kompression der V. cava inferior Höhe rechte Niere

Die Abbildung 15 zeigt das Schnittbild einer axialen CT-Aufnahme ohne Kontrastmittel im Knochenfenster auf Höhe der Lendenwirbelsäule. Deutlich erkennbar im distendierten Abdomen sind Teile des Intestinums, welche stark gebläht und vereinzelt mit Feststoffen gefüllt sind.

Prävertebral ist die Aorta als rundliche Struktur zu erkennen. Zwischen Aorta und rechter Niere ist die komprimierte V. cava inferior als abgeflachte Struktur feststellbar.

Die Abbildung 16 zeigt das korrelierende Schnittbild in sagittaler Schnittebene. Hier zeigt sich die prävertebral projizierte V. cava inferior im Oberbauch zunächst als breite Struktur. Im weiteren Verlauf kommt es kaudal zu der beschriebenen Kompression mit Anhebung der Dichte auf Höhe der Lendenwirbel 1 bis 4.

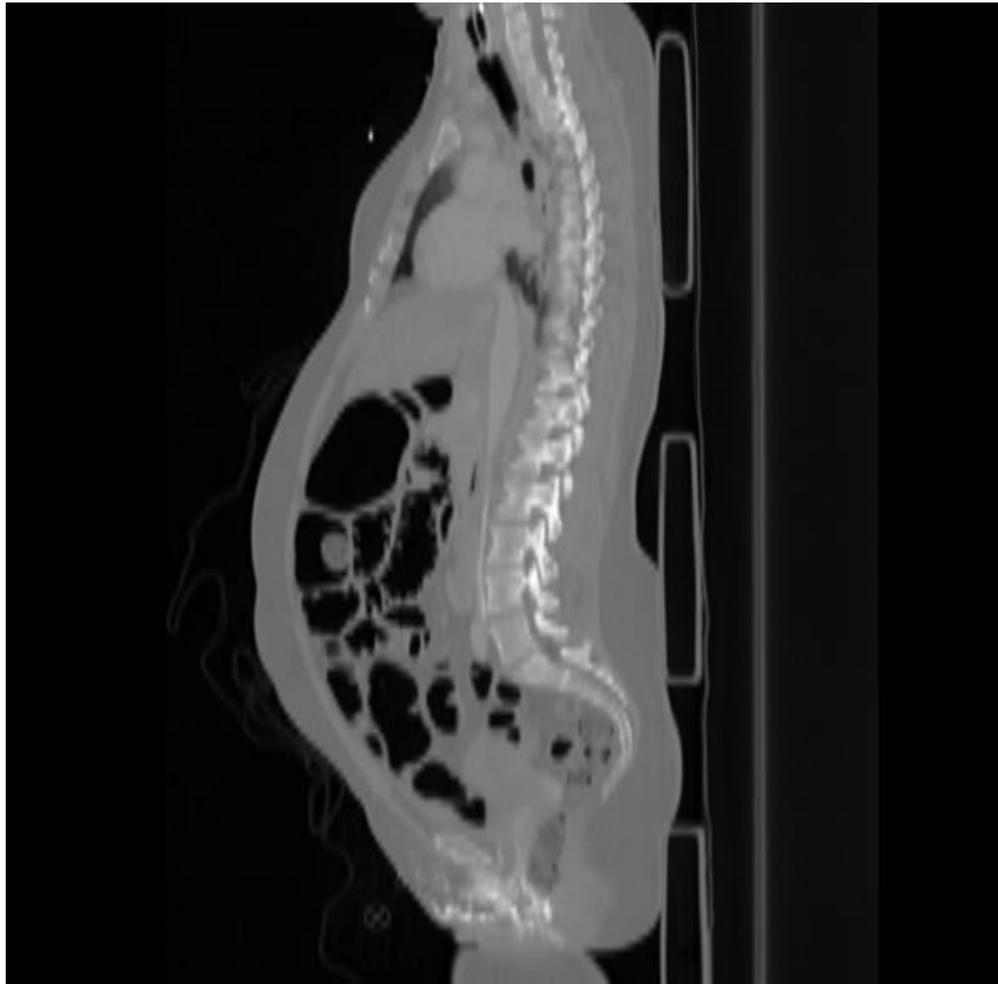


Abbildung 16: CT-Abdomen sagittal mit Kompression der V. cava inferior

Neben einer Kompression von venösen Gefäßen, ließ sich bei einem Patienten auch ein Kollaps arterieller Gefäße nachweisen. Hier kam es, neben einem Kollaps der V. cava inferior, auch zu einem segmentalen Verschluss der Aorta abdominalis (siehe Abbildung 17 und Anhang).

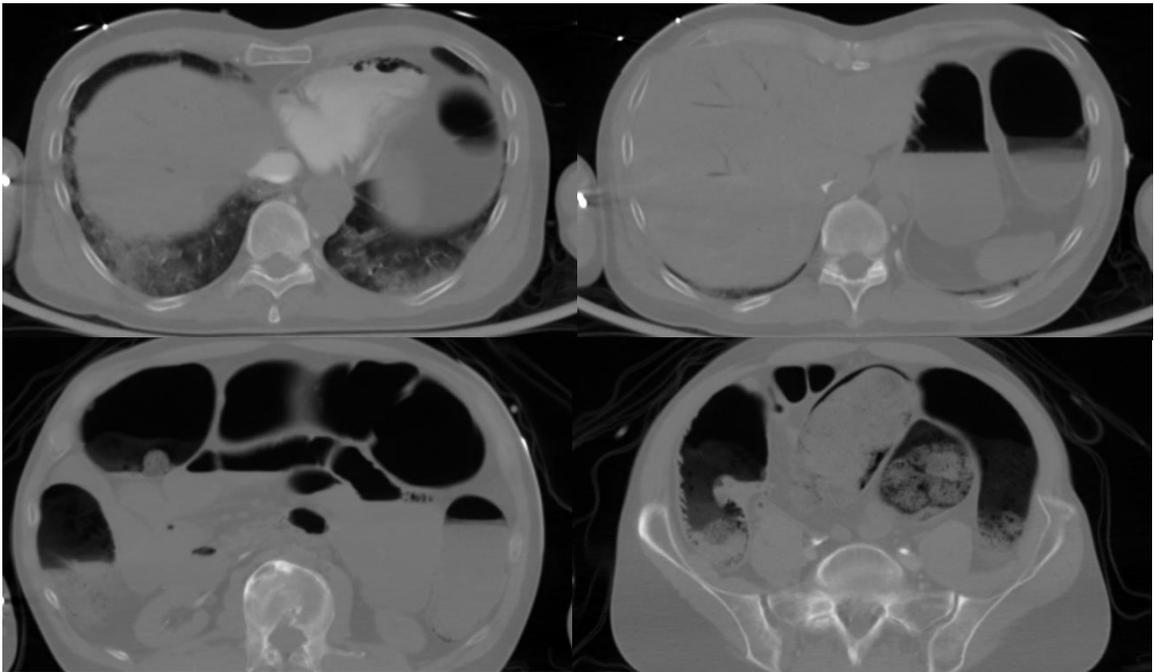


Abbildung 17: Bildserie CT-Abdomen axial

Die Abbildung zeigt vier axiale Schnittbilder einer Kontrastmittel-CT Aufnahme und den Durchmesser von V. cava. inferior und Aorta abdominalis auf unterschiedlichen Höhen.

Der Ausschnitt oben links zeigt beide Gefäße auf Höhe des Herzens. Beide Gefäße sind durchgängig und rund/oval, wobei in der V. cava inferior das hyperdense Kontrastmittel zu beobachten ist.

Das zweite Schnittbild der Serie oben rechts zeigt die weiter kaudal gelegene Situation mit perihepatischen Verlaufsabschnitt der V. cava und der paravertebral gelegenen Aorta abdominalis. Deutlich erkennbar ist die ausgeprägte Kompression der V. cava, während die Aorta noch eine annähernd runde Form beibehält.

Das nächste Schnittbild unten links liegt auf Höhe der Nieren. V. cava inferior und Aorta abdominalis sind deutlich komprimiert. Die V. cava inferior lässt sich anhand des Kontrastmittels als komprimierte Struktur paravertebral erkennen.

Das letzte Bild der Serie zeigt die beckennahen Abschnitte des Gefäßsystems. Hier zu erkennen sind die, mit Kontrastmittel angereicherte und hyperdense, Vv. iliacae und die parallel verlaufende Aa. iliacae.

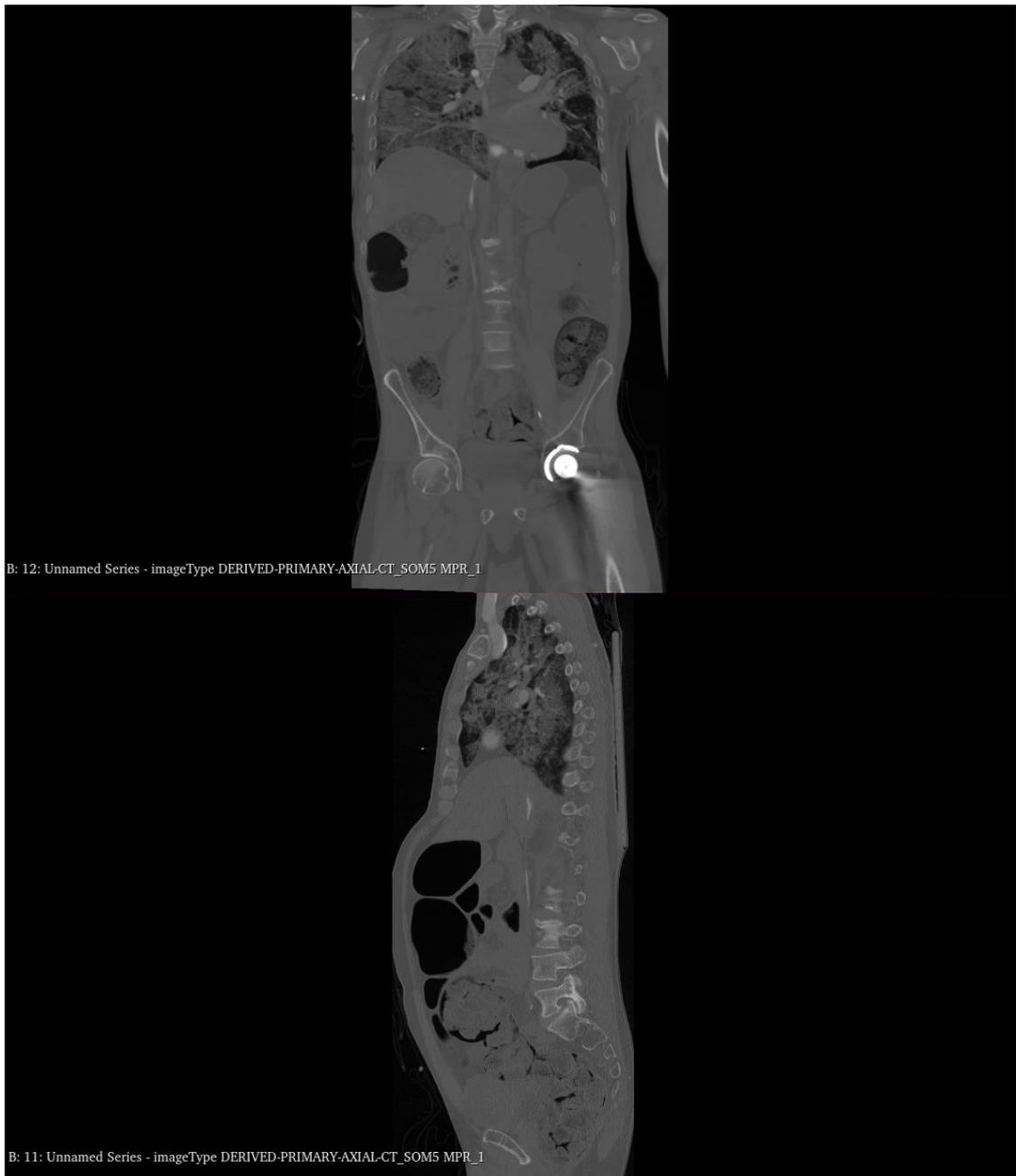


Abbildung 18: CT-Abdomen/Thorax koronar und sagittal

Die Abbildung 18 zeigt ein koronares- und sagittales Schnittbild des Patienten der Abb. 17. Hervorzuheben ist der langstreckige Kollaps, der Kontrastmittel-angereicherten V. cava inferior.

Es erscheint naheliegend, dass durch die Einengung des Gefäßlumens von Aorta abdominalis und V. cava eine Beeinträchtigung der Hämodynamik mit entsprechenden Folgen für das Outcome einer Reanimation entsteht.

Es ist streitbar, ob die beobachtete Kompression der Gefäße nicht als Kollaps des Gefäßsystems zu interpretieren ist, dessen Ursache im ursprünglichen Herzkreislaufstillstand und damit verbundenen Erliegen des intravasalen Drucks liegt, oder zumindest dadurch begünstigt wird.

## **4.2 Datenauswertung**

Nach unserem Kenntnisstand gab es bisher keine vergleichbaren Studienarbeiten, bei denen die CT-Aufnahmen von Reanimationspatienten in Bezug auf das Gasvolumen und Outcome systematisch ausgewertet wurde. Ein Vergleich der angewendeten Messmethode und Kausalität der Messergebnisse mit anderen Arbeiten war folglich nicht möglich.

### **4.2.1 Computertomographie**

Grundsätzlich beschreibt ein Wert auf der Hounsfield Skala den Grad der Abschwächung, Absorption und Streuung von Röntgenstrahlen durch das bestrahlte Gewebe. Dieser richtet sich nach der Dichte des Gewebes und wird für die einzelnen Voxel innerhalb eines Schnittbildes berechnet (52). Bei einem Voxel handelt es sich um einen Punkt innerhalb eines dreidimensionalen Gittersystems. Die Größe und das Volumen eines einzelnen Voxels ist abhängig vom verwendeten Gerätetyp (53) und der eingesetzten Schnittdicke. Bei den aktuell in den Kliniken gebräuchlichen Systemen liegt die maximale Auflösung im Millimeterbereich (54).

Per Definition besitzt Luft einen HU-Wert von -1000 und Wasser einen Wert von 0 HU (55). Zur Kompensation möglicher Messungenauigkeiten der CT wurde der Messbereich innerhalb der Software von -1000 HU auf -1024 HU angepasst und ein oberer Grenzwert von -500 HU festgelegt. Innerhalb eines Voxels können verschiedene Gewebearten, Flüssigkeiten, Feststoffe oder Gase zusammen inne liegen. Entsprechend der Auflösung des Gerätes wird dann für den einzelnen Voxel der Mittelwert der Abschwächung der Röntgenstrahlen für die verschiedenen Inhalte errechnet. Innerhalb des MDT kommt es intraluminal zu einer Anreicherung der Gase mit Wasser im Sinne von Luftfeuchtigkeit. Entsprechend kommt es als Folge zu einer vermehrten Abschwächung der Röntgenstrahlen bei der Durchleuchtung von anderweitig ausschließlich gashaltigen

Darmabschnitten (24). Für eine Bestimmung des tatsächlichen Gasvolumens im MDT musste diese Durchmischung mit beachtet werden. Verschiedene Arbeiten haben sich mit der Volumetrie von Gas im MDT mittels der CT beschäftigt (s. Tabelle 7). Bei diesen experimentell- und in vitro durchgeführten Versuchen wurden verschiedene Messbereiche auf der HU Skala verwendet, um eine möglichst genaue Bestimmung des intraluminalen Gasvolumens im MDT zu ermöglichen.

Tabelle 7: Studien zur Bestimmung des optimalen HU Threshold

| <b>Autoren</b>                   | <b>HU-Threshold</b>                   |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Mc Williams et. al 2012</b>   | -1024 bis -300                        |
| <b>SR McWilliams et. al 2011</b> | -1024 bis -550 (für kleine Volumina)  |
|                                  | -1024 bis -350 (für größere Volumina) |
| <b>F Perez et. al 2007</b>       | -1000 bis -600                        |
|                                  | -1000 bis -550                        |
|                                  | -1000 bis -500                        |
|                                  | -1000 bis -450                        |
|                                  | -1000 bis -400                        |

Für die hier vorliegende Arbeit wurden die verschiedenen Methoden untereinander verglichen und nach Abwägung der Güte der Studien aus Tab. 7 der Messbereich von -1021 bis -500 HU für diese Arbeit festgelegt.

Bei den ausgewerteten Bildserien wurde nicht zwischen der Verwendung mit- und ohne Kontrastmittel differenziert. Darüber hinaus wurde bei der Auswahl der ausgewerteten Bildserien innerhalb eines Patienten keine Fensterung für die Auswertung bevorzugt, da dies ohne Stellenwert für die Berechnung des Gasvolumens ist (56). Es muss davon ausgegangen werden, dass Serien mit höherer Auflösung das vorhandene Gasvolumen besser abbilden konnten, verglichen mit Serien einer geringeren Auflösung. Wie die wiederholten volumetrischen Auswertungen zufälliger Patienten ergeben hat, ist die interne Validität der Bildbearbeitung und Messmethode als ausreichend einzustufen. Um eine noch bessere Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Patienten zu ermöglichen, wären idealerweise alle CT-Aufnahmen durch einen einzelnen Gerätetypen und einheitlicher Schnittdicke erfolgt.

## 4.3 Limitationen

Durch die Natur der verwendeten Daten und das Studiendesign ergeben sich verschiedene Limitationen, welche bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden müssen.

### 4.3.1 Patientendaten

Bei dieser Studie handelt es sich um eine retrospektive Arbeit, die sich auf Daten stützt, die im Rahmen der präklinischen und klinischen Patientenversorgung und -aufnahme erhoben wurden. Präklinische Einsätze werden durch den beteiligten Notarzt und den Rettungsdienst auf Notfallprotokollen dokumentiert. Entsprechend der häufig zeitkritischen Natur einer Reanimationssituation, kann es zu einer unvollständigen oder lückenhaften Dokumentation kommen. Dies gilt insbesondere für den präklinischen Bereich, da hier in der Regel die Personalressourcen fehlen, um Maßnahmen und zeitlichen Abfolgen der Reanimationsmaßnahmen vollumfänglich zu dokumentieren. Die verfügbaren Rettungsdienstprotokolle wurden im Rahmen der Studienarbeit gesichtet, allerdings war es aufgrund der unvollständigen Dokumentation nicht möglich, ergänzende relevante Daten regelhaft zu erheben. Dieser Umstand betrifft verschiedene Aspekte der Reanimation:

#### 4.3.1.1 Atemweghilfsmittel

Im Rahmen der Arbeit wurde als verwendetes Atemweghilfsmittel, bzw. als Art der Ventilation, jenes dokumentiert, welches zum Zeitpunkt der Übergabe im Schockraum bzw. der CT-Aufnahme beim Patienten einlag. Im Nachgang lässt sich nicht rekonstruieren, wie lange eine kontrollierte Beatmung erfolgte oder ob im Verlauf der präklinischen Behandlung ein Wechsel der eingesetzten Atemweghilfsmittel vorgenommen wurde. Verschiedene Studien haben bereits die verwendeten Atemweghilfsmittel als Auslöser einer fehlerhaften Ventilation beschrieben (31, 57). Eine vergleichbare Beurteilung im Kontext dieser Arbeit als Faktor einer Insufflation ist nicht möglich gewesen.

#### 4.3.1.2 Thoraxkompression

Analog zu den Atemweghilfsmitteln, lässt sich die genaue Durchführung und Dauer der Thoraxkompressionen nicht sicher bestimmen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde zwischen „laufender Reanimation“ mit- und ohne mechanischer Hilfsmittel sowie einem „ROSC“ zum Zeitpunkt der Übernahme im Schockraum unterschieden. Entscheidend für die Einteilung war die Dokumentation durch den Rettungsdienst, sowie die schriftliche und elektronische Dokumentation durch das aufnehmende Krankenhaus. Für eine

differenzierte Beurteilung der Ergebnisse wäre auch hier die genaue Dauer und Qualität der Thoraxkompressionen, sowie ein möglicher Verfahrenswechsel, von Bedeutung gewesen.

#### 4.3.1.3 Outcome der Reanimation

Als mögliche Ausgänge der Reanimation wurden die Optionen „Exitus letalis“ und „Überlebt“ festgelegt. Während diese Einteilung für die Behandlung im Schockraum gut anwendbar ist, ergaben sich bei vereinzelt Patienten Schwierigkeiten für diese Einteilung im weiteren klinischen Verlauf im Falle eines Ablebens. Hintergrund ist, dass sich vereinzelt nicht sicher differenzieren ließ, ob ein Patient als kausale Folge der Reanimation (bspw. palliatives Vorgehen bei hypoxischen Hirnschaden) oder der Tod als Komplikation eines Krankenhausaufenthaltes (bspw. nosokomial erworbene Pneumonie) eingetreten ist. In entsprechend unklaren Fällen erfolgte die Zuordnung zu „Exitus letalis“ als Outcome. Die geschilderte Problematik war nur in Einzelfälle vorhanden, daher wird die Auswirkung auf die Ergebnisse dieser Arbeit als gering eingestuft.

#### 4.3.1.4 Fehlende Patientencharakteristika

In Rahmen der Arbeit erfolgte die Beschreibung der Korrelation von gastrointestinalen Gasvolumen auf das Outcome einer Reanimation. Für eine tiefergehende Beschreibung hätten noch weitere Patientencharakteristika ausgewertet werden müssen. Es wird davon ausgegangen, dass insbesondere die Größe, das Gewicht und Komorbiditäten Einflussfaktoren auf die Wirkstärke der Insufflation und das Outcome darstellen. Aufgrund fehlender Dokumentation der genannten Informationen, war es nicht möglich, diese in die Auswertung mit aufzunehmen. Es ist denkbar, dass bei kleineren/leichteren Patienten deutlich geringere Volumina ausreichend sind, um hämodynamische Effekte zu erzielen, verglichen mit größeren/schwereren Patienten.

### 4.3.2 Computertomographie

Die Ergebnisse der statistischen Auswirkung basieren auf den vorangegangenen volumetrischen Auswertungen der CT-Bilder. Dabei gilt es zu beachten, dass innerhalb des Untersuchungszeitraumes zwischen den beiden Kliniken, sowie innerhalb der beiden Kliniken, verschiedene Gerätetypen für die Durchführung der CT-Untersuchungen eingesetzt wurden. Um eine bessere Vergleichbarkeit der Messergebnisse zu erzielen, wäre die Bildaufnahme durch einen einzelnen Gerätetypen zu bevorzugen.

Die Berechnung des Gasvolumens erfolgte anhand der Threshold Funktion der 3D-Slicer Software. Diese Funktion erlaubt die Visualisierung und Berechnung von Voxel innerhalb eines vorgegebenen Bereichs auf der HU Skala. Für diese Arbeit wurde dabei

ein Messbereich von -1021 bis -500 HU angewendet. Diese Messgrenzen basieren auf verschiedenen experimentellen und in vitro Versuchen zur Ermittlung des optimalen HU Bereichs zur Darstellung von Gas im MDT. Während alle Studien für die Untergrenze gleichermaßen -1000, bzw. -1021 HU empfahlen, gab es bei der Empfehlung für die zu verwendende Obergrenze verschiedene Empfehlungen. Je nach Verwendung der unterschiedlichen Grenzwerte ergeben sich entsprechend unterschiedliche Messergebnisse. Dabei waren größere Messbereiche mit einem entsprechend höher ermittelten Volumen verbunden. Für diese Arbeit wurden die empfohlenen Werte der Arbeit von Perez et. al (24) angewendet, da dieser Versuchsaufbau durch die in vitro Versuche mit dieser Studie am vergleichbarsten erschien. Vor dem Hintergrund der divergenten Aussagen für den optimalen Messbereich zu Ermittlung von Gas im MDT, sollten die hier erhobenen Werte und verwendeten Messgrenzen als approximatives Ergebnis für das reelle Gasvolumen interpretiert werden.

### **4.3.3 Kausalität der Ergebnisse**

Wie die statistische Auswertung ergeben hat, besteht ein Zusammenhang zwischen einem erhöhten abdominellen Gasvolumen und dem letalen Ausgang einer Reanimation. Ferner konnte in vorangehenden Arbeiten bereits die systemischen und hämodynamischen Effekte einer intraabdominellen Volumenzunahme untersucht werden. Dieser Pathomechanismus ist unter dem Begriff des abdominellen Kompartmentsyndroms oder abdominellen Hypertonus bekannt (42). In diesem Kontext ist ein erhöhtes Gasvolumen als möglicher Auslöser für ein ACS/IAH beschrieben.

Die Entstehung eines ACS/IAH im Rahmen der kardiopulmonalen Reanimation beim Menschen ist nur sehr unzureichend untersucht. Es existieren tierexperimentelle Versuche, bei denen die Wirkung einer Insufflation unter Reanimationsbedingungen untersucht wurde (50). Ein vergleichbarer Effekt bei Patienten im Rahmen einer Reanimation erscheint plausibel. Es existieren einzelne Fallberichte, welche diese Hypothese stützen (16, 58).

Es ist zu diskutieren, ob die erhöhte Letalität bei ausgeprägter Insufflation nicht das Produkt einer unzureichenden Ventilation und Oxygenierung ist und die Insufflation des MDT nur ein Confounder darstellt. Es ist bekannt, dass der Therapieerfolg einer Reanimation primär durch die Qualität und den frühen Einsatz von Thoraxkompressionen, Beatmung und Defibrillation bestimmt wird. Bei Ausbleiben oder der unzureichenden Durchführung einer oder mehrerer dieser Komponenten kommt es zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für einen letalen Ausgang der Reanimation.

Eine potenzielle Lösung für eine weiterführende Untersuchung des Sachverhaltes stellt ein erweitertes Monitoring während einer Reanimation zur Beurteilung der

intraabdominellen Druckverhältnisse und der Hämodynamik dar. Als mögliche Mittel könnten dabei die intraabdomineller Druckmessung und/oder Thermodilution. eingesetzt werden. Während eine intraabdominelle Druckmessung vergleichbar schnell und unkompliziert mittels transvesikaler Ableitung durch einen Blasenkatheter möglich ist, handelt es sich bei der Thermodilutionsmethode um ein vergleichsweises komplexes und invasives Verfahren, dessen Durchführbarkeit während einer laufenden Reanimation deutlich erschwert ist. In diesem Kontext sollte betont werden, dass auf keinen Fall der Erfolg und die obligatorischen Therapiemaßnahmen einer Reanimation durch etwaige Forschungsmaßnahmen verzögert oder erschwert werden dürfen.

Nachdem in dieser Arbeit ein potenzieller Zusammenhang zwischen einem gesteigerten intraabdominellen Gasvolumen und einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für den letalen Ausgang einer Reanimation aufgezeigt werden konnte, bedarf es weiterer Untersuchungen, um eine mögliche Kausalität weiter zu untersuchen und beurteilen zu können.

#### **4.4 Empfehlung**

Im Rahmen dieser Studienarbeit wurde eine Insufflation des MDTs als möglicher Faktor für den Ausgang einer Reanimation untersucht. Vor dem Hintergrund der Studienergebnisse und der diskutierten Literatur erscheint eine Kausalität zwischen Grad der Insufflation und dem Outcome einer Reanimation als plausibel. Es wird vermutet, dass ein gesteigertes Gasvolumen mit einem gesteigerten Risiko für einen letalen Ausgang korreliert. Als mögliche Konsequenz sollten präventive und therapeutische Maßnahmen eingeleitet werden, um einer Insufflation vorzubeugen, bzw. diese zu beheben.

Eine mögliche Lösung stellt das Einbringen einer Magensonde dar. Dabei handelt es sich um einen Katheter, der nasal oder oral eingeführt und über den Ösophagus in den Magen vorgeschoben wird. Infolge kann gezielt passiv oder aktiv der Mageninhalt entleert werden. Das Einbringen einer Magensonde war für Einzelfälle bereits früherer Bestandteil von Reanimationsleitlinien (59). Vergleichbare Empfehlungen sind in den Folgejahren nicht mehr ausgesprochen worden. Entsprechend ist zu diskutieren, ob das Einbringen einer Magensonde erneut empfohlen werden sollte, insbesondere da neuere Generationen von LM und LT durch ihr Design mit zweiten ösophagealen Lumen die Anlage deutlich erleichtern.

Dabei muss beachtet werden, dass augenscheinlich das Einbringen einer Magensonde keine sichere Prävention einer Insufflation des Magens darstellt. Im Rahmen der

Bildauswertung konnten vereinzelt Patienten beschrieben werden, die trotz einer korrekt einliegenden Magensonde eine deutliche Überblähung des Magens aufwiesen (vgl. Abb. 18-19 und Anhang).

Die Abbildung 19 zeigt zwei Schnittbilder einer CT-Serie in axialer Ansicht. Das linke Bild zeigt den Situs auf Höhe des Aortenbogens. Prävertebral erkennbar ist die Trachea mit einliegenden Endotrachealtubus, welcher durch die hyperdense Markierung sich gut von den umliegenden Strukturen absetzt. Dorsal links davon ist als hyperdense, kleinere Struktur die, im Ösophagus einliegende, Magensonde erkennbar. Das zweite Bild der Serie wurde beim gleichen Patienten kaudal auf Höhe des Magens aufgenommen. Der Magen ist durch Gas (ventral) und Feststoffe (dorsal mit Spiegelbildung) deutlich distendiert. Sich von der hypodensen, schwarzen Umgebung absetzend, ist die einliegende Magensonde erkennbar.

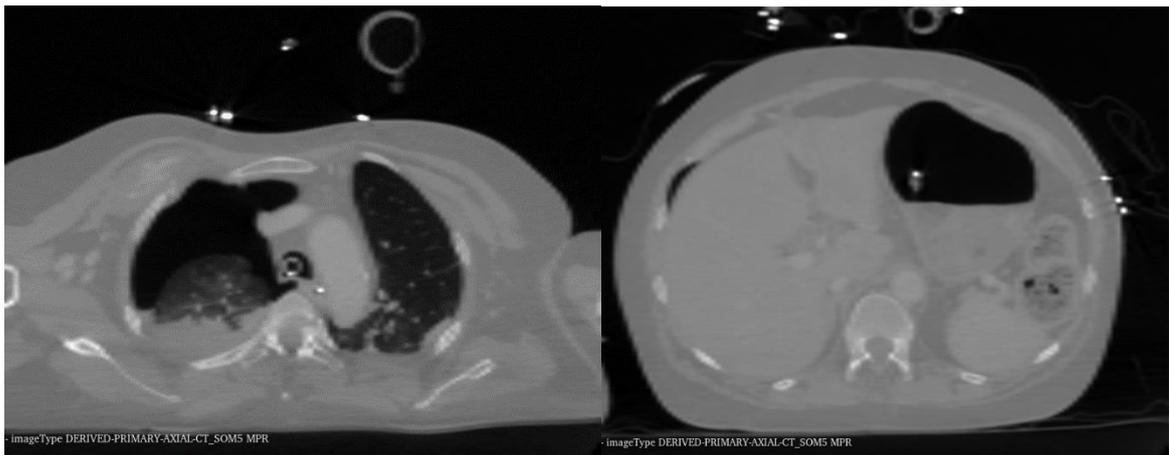


Abbildung 19: nicht funktionale Magensonde,  
CT axial

Die Abb. 20 zeigen ein koronares und sagittales Schnittbild des gleichen Patienten der Abb. 19. Die Bilder zeigen das freie Ende (linkes Bild) sowie die Magensonde im Verlauf (rechtes Bild). Wie die Bilder belegen, liegt das Ende der Magensonde nicht an der Magenwand an, um so den Abfluss von Flüssigkeit oder Gas aus dem Magen zu behindern. Gleichermäßen ist die Magensonde, im Sinne einer Abflussbehinderung, im Verlauf weder umgeschlagen noch abgenickt.

Im Rahmen der radiologisch-volumetrischen Auswertung konnten nebenbefundlich wiederholt vergleichbare Situationen beobachtet werden, bei denen es, trotz korrekt einliegender Magensonde, zu einer Insufflation des Magens gekommen ist. Bei diesen

Fällen war es im Nachhinein nicht möglich weiter zu erörtern, durch welche Umstände der Funktionsdefekt bedingt ist. Eine mögliche Erklärung stellt die Verlegung des Tubuslumens durch feste Bestandteile des Mageninhaltes dar oder einen Anwenderfehler bei der Verwendung der Magensonde.

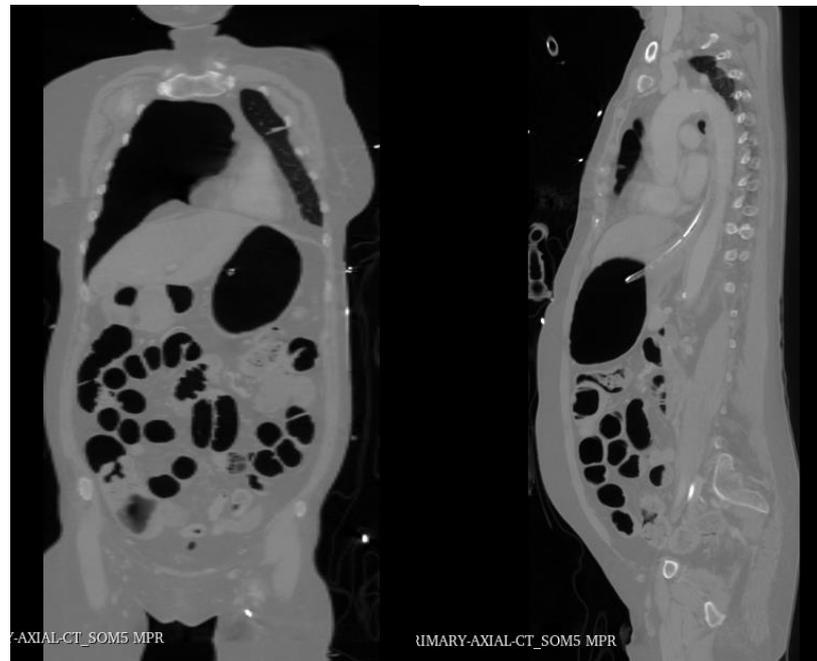


Abbildung 20: defekte Magensonde, CT koronar und sagittal

Durch das Design dieser Studienarbeit war es nicht möglich, einen gesicherten kausalen Zusammenhang zwischen einer Insufflation, einer konsekutiven abdominellen Druckzunahme, und der daraus resultierenden Wirkung auf das Outcome einer Reanimation zu beweisen. Zwar ließen sich vereinzelt radiologisch-morphologische Korrelate einer möglichen Druckzunahme beschreiben, allerdings ist nicht auszuschließen, dass diese durch weitere Faktoren begünstigt, oder vollumfänglich verursacht werden.

Um die Insufflation als möglichen Auslöser für eine abdominelle Druckerhöhung zu untersuchen, ist eine Messung des intraabdominellen Drucks notwendig. Ein etabliertes Verfahren stellt die transvesikale Druckmessung dar (18). Da sich der abdominelle Druck auf die anliegende Blasenwand überträgt, lässt sich der Druck über einen eingebrachten Blasenkatheter und verbundenen Drucknehmer ableiten (vgl. Abb.21).

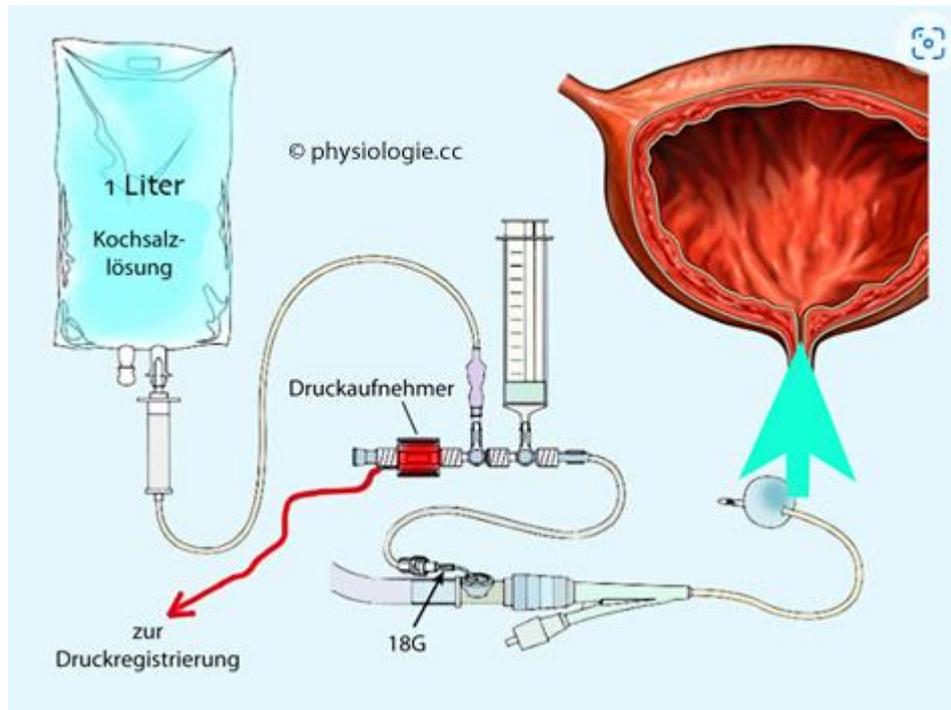


Abbildung 21: Cystographie, aus <http://physiologie.cc/IX.6.htm>

Um den Sachverhalt weiter zu klären, sollte in weiteren Studien zunächst die Korrelation zwischen dem Gasvolumen des MDTs und dem so abgeleiteten abdominellen Druck untersucht werden. Dabei sollte beachtet werden, dass die, zu Forschungszwecken durchgeführten, Maßnahmen zu keinem Zeitpunkt die Maßnahmen der kardiopulmonalen Reanimation beeinträchtigen oder verzögern dürfen.

## 5. Literaturverzeichnis

1. Fischer M, Wnent, J., Gräsner, J.-T., Seewald, S., Brenner, S., Bein, B., Ristau, P., Bohn, A. & die teilnehmenden Rettungsdienste im Deutschen Reanimationsregister. (2022). Öffentlicher Jahresbericht 2021 des Deutschen Reanimationsregisters: Außerklinische Reanimation 2021. 2021 [Available from: <https://www.reanimationsregister.de/downloads/oeffentliche-jahresberichte/rettungsdienst/198-ausserklinischer-jahresbericht-2021/file.html>].
2. Wetsch WA, Hinkelbein J, Spöhr F. Kardiopulmonale Reanimation (CPR). In: Wetsch WA, Hinkelbein J, Spöhr F, editors. Kurzlehrbuch Anästhesie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie. 2., aktualisierte Auflage ed: Georg Thieme Verlag; 2018.
3. Olasveengen TM, Mancini ME, Perkins GD, Avis S, Brooks S, Castrén M, et al. Adult Basic Life Support: 2020 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations. *Circulation*. 2020;142(16\_suppl\_1):S41-s91.
4. Soar J, Berg KM, Andersen LW, Böttiger BW, Cacciola S, Callaway CW, et al. Adult Advanced Life Support: 2020 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science with Treatment Recommendations. *Resuscitation*. 2020;156:A80-a119.
5. Deschilder K, De Vos R, Stockman W. The effect on quality of chest compressions and exhaustion of a compression--ventilation ratio of 30:2 versus 15:2 during cardiopulmonary resuscitation--a randomised trial. *Resuscitation*. 2007;74(1):113-8.
6. ECC Committee SaTFotAHA. 2005 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation*. 2005;112(24 Suppl):Iv1-203.
7. Handley AJ, Koster R, Monsieurs K, Perkins GD, Davies S, Bossaert L. European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2005. Section 2. Adult basic life support and use of automated external defibrillators. *Resuscitation*. 2005;67 Suppl 1:S7-23.
8. Salmen M, Ewy GA, Sasson C. Use of cardiocerebral resuscitation or AHA/ERC 2005 Guidelines is associated with improved survival from out-of-hospital cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*. 2012;2(5).
9. Chen L, Hsiao AL. Randomized trial of endotracheal tube versus laryngeal mask airway in simulated prehospital pediatric arrest. *Pediatrics*. 2008;122(2):e294-7.
10. Reinhart DJ, Simmons G. Comparison of placement of the laryngeal mask airway with endotracheal tube by paramedics and respiratory therapists. *Ann Emerg Med*. 1994;24(2):260-3.
11. Bekgöz B, Şan İ, Ergin M. Quality Comparison of the Manual Chest Compression and the Mechanical Chest Compression During Difficult Transport Conditions. *J Emerg Med*. 2020;58(3):432-8.
12. Drinhaus H, Nüsgen S, Adams N, Wetsch WA, Annecke T. Rescue under ongoing CPR from an upper floor: evaluation of three different evacuation routes and mechanical and manual chest compressions: a manikin trial. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2020;28(1):16.

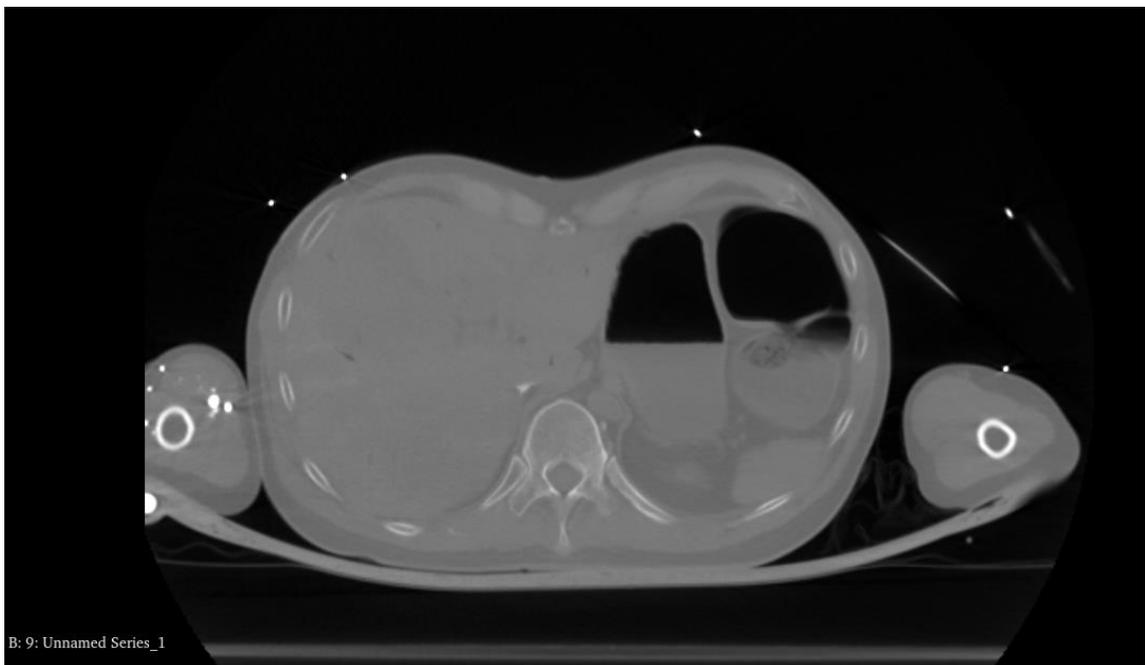
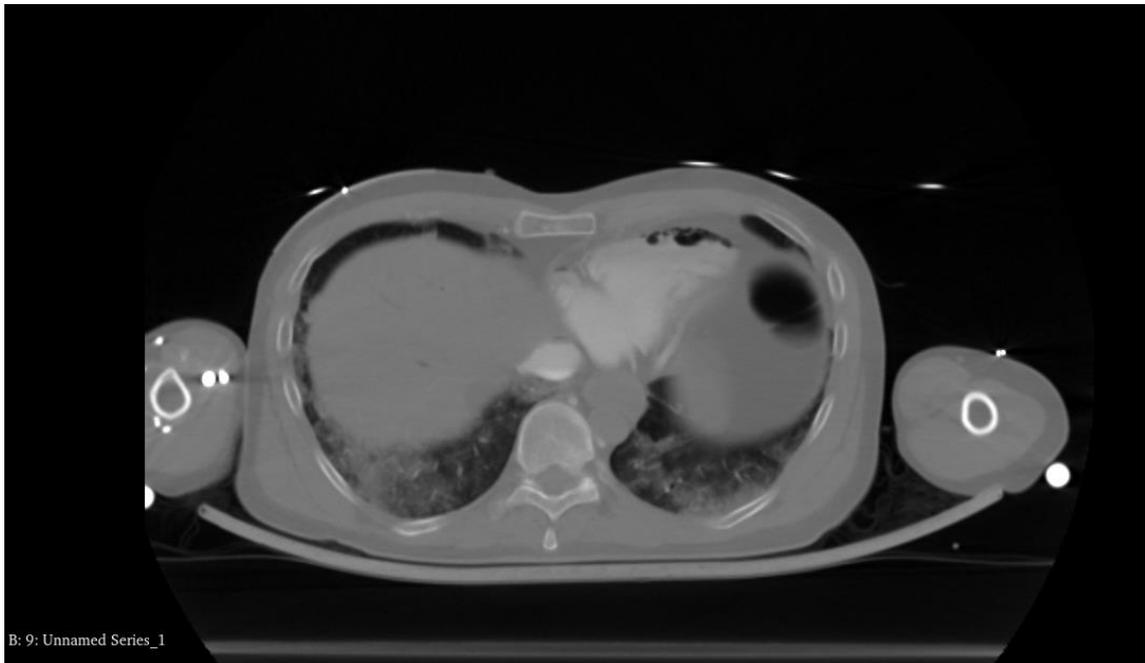
13. Huber-Wagner S, Biberthaler P, Häberle S, Wierer M, Dobritz M, Rummeny E, et al. Whole-body CT in haemodynamically unstable severely injured patients--a retrospective, multicentre study. *PLoS One*. 2013;8(7):e68880.
14. Huber-Wagner S, Lefering R, Qvick LM, Körner M, Kay MV, Pfeifer KJ, et al. Effect of whole-body CT during trauma resuscitation on survival: a retrospective, multicentre study. *Lancet*. 2009;373(9673):1455-61.
15. Uppiretla AK, G MG, Rao S, Don Bosco D, S MS, Sampath V. Effects of Chest Compression Fraction on Return of Spontaneous Circulation in Patients with Cardiac Arrest; a Brief Report. *Adv J Emerg Med*. 2020;4(1):e8.
16. Schubert EC, Kanz KG, Linsenmaier U, Bogner V, Wirth S, Angstwurm M. Use of computed tomography and mechanical CPR in cardiac arrest to confirm pulmonary embolism: a case study. *Cjem*. 2016;18(1):66-9.
17. Leidel BA, Kunzelmann M, Bitterling H, Reichle F, Wirth S, Kanz KG. Computer tomography showing left coronary artery occlusion in a patient having manual chest compressions. *Resuscitation*. 2009;80(3):295-6.
18. Wirth S, Körner M, Treitl M, Linsenmaier U, Leidel BA, Jaschkowitz T, et al. Computed tomography during cardiopulmonary resuscitation using automated chest compression devices--an initial study. *Eur Radiol*. 2009;19(8):1857-66.
19. Cohen J. Preface to the Revised Edition. In: Cohen J, editor. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*: Academic Press; 1977. p. xi-xii.
20. Efron B. Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife. *The Annals of Statistics*. 1979;7(1):1-26.
21. Caspary WF, Lembcke B. Intestinale Gasbildung — Meteorismus und Flatulenz. In: Caspary WF, Stein J, editors. *Darmkrankheiten: Klinik, Diagnostik und Therapie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 1999. p. 131-9.
22. Kirsch J. Funktion von Zäkum und Kolon. In: Aumüller G, Aust G, Conrad A, Engele J, Kirsch J, Maio G, et al., editors. *Duale Reihe Anatomie. 5., korrigierte Auflage ed*: Georg Thieme Verlag KG; 2020.
23. Fuchs G. Abbau organischer Verbindungen. In: Fuchs G, editor. *Allgemeine Mikrobiologie. 11., vollständig überarbeitete Auflage ed*: Georg Thieme Verlag KG; 2021.
24. Perez F, Accarino A, Azpiroz F, Quiroga S, Malagelada JR. Gas distribution within the human gut: effect of meals. *Am J Gastroenterol*. 2007;102(4):842-9.
25. Mc Williams SR, Mc Laughlin PD, O'Connor OJ, Desmond AN, A NL, Shanahan F, et al. Computed tomography assessment of intestinal gas volumes in functional gastrointestinal disorders. *J Neurogastroenterol Motil*. 2012;18(4):419-25.
26. Council ER. ERC Guidelines 2021 2021 Juli [Available from: <https://www.cprguidelines.eu/assets/guidelines/European-Resuscitation-Council-Guidelines-2021-Ex.pdf>].
27. Panchal AR, Bartos JA, Cabañas JG, Donnino MW, Drennan IR, Hirsch KG, et al. Part 3: Adult Basic and Advanced Life Support: 2020 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation*. 2020;142(16\_suppl\_2):S366-s468.
28. Dirks B, Kreimeier U, Waydhas C. Atemwegsmanagement in der Notfallmedizin. *Notfall + Rettungsmedizin*. 2007;10(7):467-8.

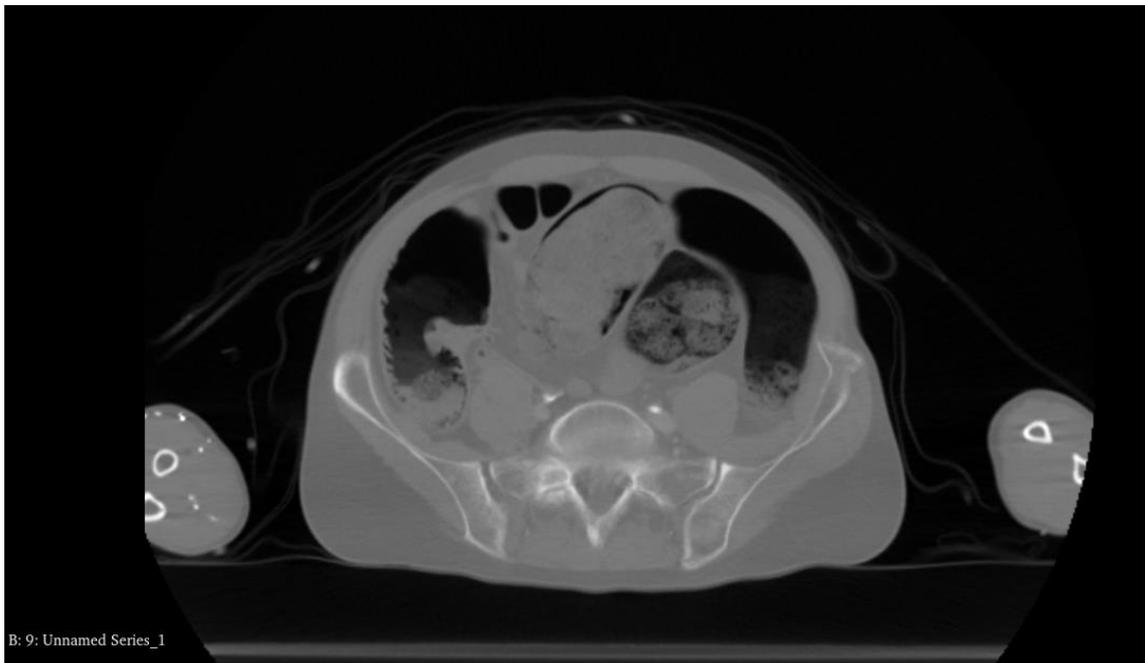
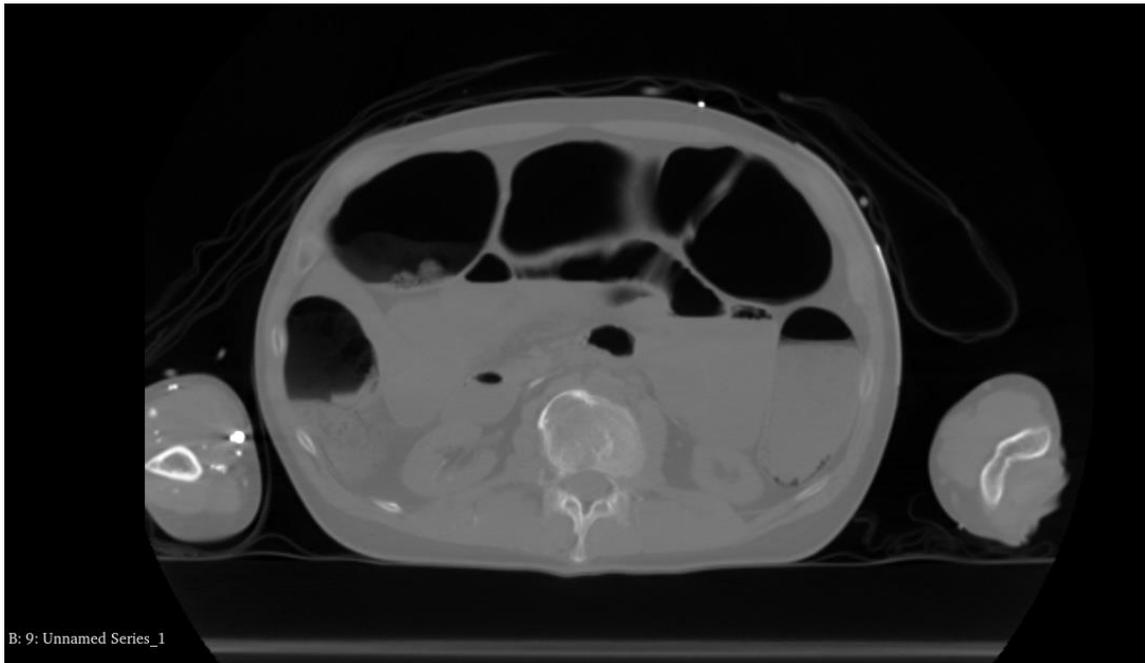
29. Benoit JL, Gerecht RB, Steuerwald MT, McMullan JT. Endotracheal intubation versus supraglottic airway placement in out-of-hospital cardiac arrest: A meta-analysis. *Resuscitation*. 2015;93:20-6.
30. Bayern. ÄLR. Supraglottische Atemwegshilfen für Erwachsene im Rettungsdienst 2019 März 13 [Available from: <https://lasa.cirs.bayern/ords183/tcprentw/f?p=300:1>].
31. Weiler N, Heinrichs W, Dick W. Assessment of pulmonary mechanics and gastric inflation pressure during mask ventilation. *Prehosp Disaster Med*. 1995;10(2):101-5.
32. Wenzel V, Idris AH, Banner MJ, Kubilis PS, Williams JL, Jr. Influence of tidal volume on the distribution of gas between the lungs and stomach in the nonintubated patient receiving positive-pressure ventilation. *Crit Care Med*. 1998;26(2):364-8.
33. Stallinger A, Wenzel V, Wagner-Berger H, Schafer A, Voelckel WG, Augenstein S, et al. Effects of decreasing inspiratory flow rate during simulated basic life support ventilation of a cardiac arrest patient on lung and stomach tidal volumes. *Resuscitation*. 2002;54(2):167-73.
34. Wetsch WA, Hinkelbein J, Spöhr F. Maskenbeatmung. In: Wetsch WA, Hinkelbein J, Spöhr F, editors. *Kurzlehrbuch Anästhesie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie*. 2., aktualisierte Auflage ed: Georg Thieme Verlag; 2018.
35. Hengesbach S, Hinkelbein J, Genzwürker H, Neuhaus C, Kollrack Y, Knauß A. Notfall und Intensivmedizin. In: Hengesbach S, Hinkelbein J, Genzwürker H, Neuhaus C, Kollrack Y, Knauß A, editors. *Checkliste Medical Skills*. 2., unveränderte Auflage ed: Thieme; 2019.
36. Sopka S, Biermann H, Beckers SK. Vermeidbare Fehler bei der Intubation. *Medizinische Klinik - Intensivmedizin und Notfallmedizin*. 2012;107(7):515-20.
37. Weiler N, Latorre F, Eberle B, Goedecke R, Heinrichs W. Respiratory mechanics, gastric insufflation pressure, and air leakage of the laryngeal mask airway. *Anesth Analg*. 1997;84(5):1025-8.
38. Dengler V, Wilde P, Byhahn C, Mack MG, Schalk R. [Prehospital airway management of laryngeal tubes. Should the laryngeal tube S with gastric drain tube be preferred in emergency medicine?]. *Anaesthesist*. 2011;60(2):135-8.
39. McDannold R, Bobrow BJ, Chikani V, Silver A, Spaite DW, Vadeboncoeur T. Quantification of ventilation volumes produced by compressions during emergency department cardiopulmonary resuscitation. *Am J Emerg Med*. 2018;36(9):1640-4.
40. Vanwulpen M, Wolfskeil M, Duchatelet C, Hachimi-Idrissi S. Do manual chest compressions provide substantial ventilation during prehospital cardiopulmonary resuscitation? *Am J Emerg Med*. 2021;39:129-31.
41. Schmitz F. Speiseröhre (Ösophagus). In: Aumüller G, Aust G, Conrad A, Engele J, Kirsch J, Maio G, et al., editors. *Duale Reihe Anatomie*. 5., korrigierte Auflage ed: Georg Thieme Verlag KG; 2020.
42. Kirkpatrick AW, Roberts DJ, De Waele J, Jaeschke R, Malbrain ML, De Keulenaer B, et al. Intra-abdominal hypertension and the abdominal compartment syndrome: updated consensus definitions and clinical practice guidelines from the

- World Society of the Abdominal Compartment Syndrome. *Intensive Care Med.* 2013;39(7):1190-206.
43. Töns C, Schachtrupp A, Rau M, Mumme T, Schumpelick V. Abdominelles Kompartmentsyndrom: Vermeidung und Behandlung. *Der Chirurg.* 2000;71(8):918-26.
  44. Reibetanz J, Germer CT. Das abdominelle Kompartmentsyndrom. *Medizinische Klinik - Intensivmedizin und Notfallmedizin.* 2013;108(8):634-8.
  45. Malbrain ML, De Laet IE, De Waele JJ, Kirkpatrick AW. Intra-abdominal hypertension: definitions, monitoring, interpretation and management. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol.* 2013;27(2):249-70.
  46. Maddison L, Starkopf J, Reintam Blaser A. Mild to moderate intra-abdominal hypertension: Does it matter? *World journal of critical care medicine.* 2016;5(1):96-102.
  47. Fitz-Clarke JR. Fast or Slow Rescue Ventilations: A Predictive Model of Gastric Inflation. *Respir Care.* 2018;63(5):502-9.
  48. Heck M, Fresenius M, Busch C. Aspiration. In: Heck M, Fresenius M, Busch C, editors. *Repetitorium Anästhesiologie: Für die Facharztprüfung und das Europäische Diplom.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2017. p. 735-40.
  49. Paal P, Neurauder A, Loedl M, Brandner J, Herff H, Knotzer H, et al. Effects of stomach inflation on haemodynamic and pulmonary function during spontaneous circulation in pigs. *Resuscitation.* 2009;80(4):470-7.
  50. Paal P, Neurauder A, Loedl M, Pehbock D, Herff H, von Goedecke A, et al. Effects of stomach inflation on haemodynamic and pulmonary function during cardiopulmonary resuscitation in pigs. *Resuscitation.* 2009;80(3):365-71.
  51. Braun P, Putzer G, Strapazzon G, Wimmer A, Schnell H, Arnold H, et al. Effects of Stomach Inflation on Cardiopulmonary Function and Survival During Hemorrhagic Shock: A Randomized, Controlled, Porcine Study. *Shock.* 2016;46(1):99-105.
  52. DenOtter TD, Schubert J. Hounsfield Unit. *StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls PublishingCopyright © 2022, StatPearls Publishing LLC.; 2022.*
  53. Blendl C, Fiebich M, Voigt JM, Selbach M, Uphoff C. Untersuchung zur geometrischen 3-D-Genauigkeit und zur Bildqualität (MTF, SRV und W) von Volumentomografie-Einrichtungen (CT, CBCT und DVT). *Rofo.* 2012;184(01):24-31.
  54. Shi H, Gang GJ, Li J, Liapi E, Abbey C, Stayman JW. Performance Assessment of Texture Reproduction in High-Resolution CT. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng.* 2020;11316.
  55. Hünnerbein R. Computertomografie (CT). In: Reiser M, Kuhn F-P, Debus J, editors. *Duale Reihe Radiologie. 4., vollständig überarbeitete Auflage* ed: Georg Thieme Verlag; 2017.
  56. Williams JC. Viewing windows do not alter Hounsfield units in CT scans. *Urol Res.* 2005;33(6):481-2.

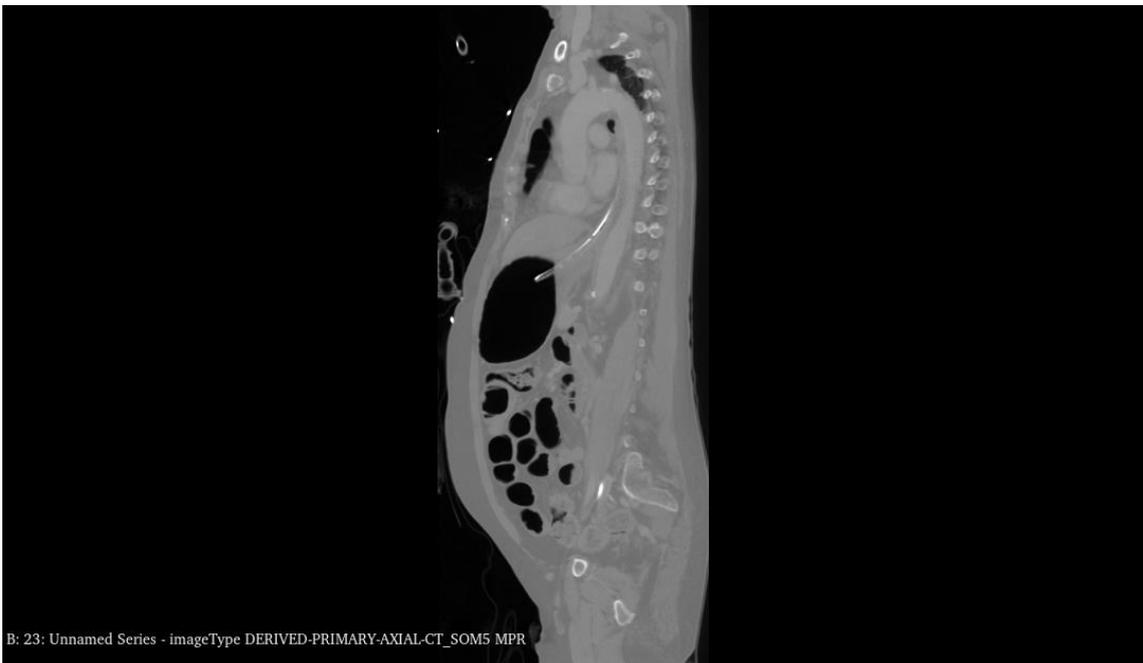
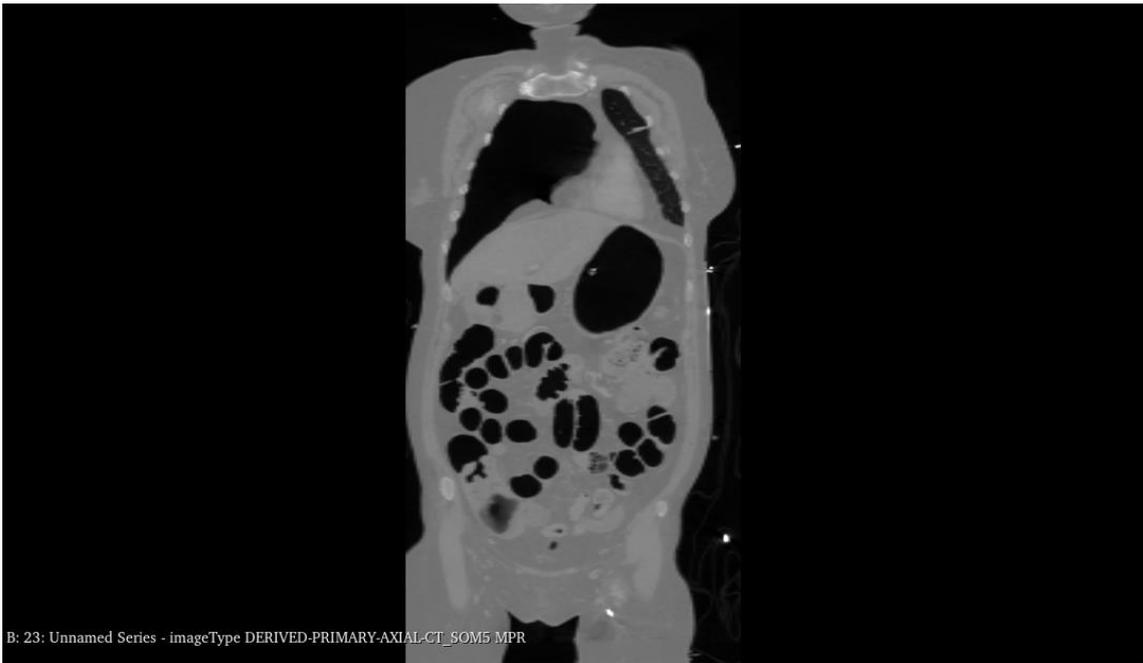
- 
57. Asai T, Kawashima A, Hidaka I, Kawachi S. The laryngeal tube compared with the laryngeal mask: insertion, gas leak pressure and gastric insufflation. *Br J Anaesth.* 2002;89(5):729-32.
  58. Paal P, Schmid S, Herff H, von Goedecke A, Mitterlechner T, Wenzel V. Excessive stomach inflation causing gut ischaemia. *Resuscitation.* 2009;80(1):142.
  59. Beckers SK, Rörtgen D, Skorning MH, Bergrath S, Brokmann JC. Erweiterte kardiopulmonale Reanimation in besonderen Situationen. *Der Anaesthesist.* 2008;57(3):297-312.

## Anhang









## Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. med. Karl-Georg Kanz für die gemeinsame Erarbeitung der Forschungsfrage, sowie die sehr gute Betreuung bis zur Fertigstellung dieser Arbeit.

Gleichermaßen gilt mein Dank Frau Prof. Dr. med. Viktoria Bogner-Flatz für die Mitbetreuung und Begleitung während der gesamten Zeit.

Hervorgehoben sei Frau Sophia Henne, ohne die diese Forschungsgruppe nicht zustande gekommen und sicherlich niemals so unterhaltsam geworden wäre.

Ich bedanke mich ausdrücklich bei meiner Partnerin Sophie für gemeinsame Zeit und Ihre liebevolle Unterstützung. Eine nicht-medizinische Perspektive in einer sehr medizinischen Umwelt hat nicht nur diese Arbeit, sondern insbesondere auch mein Leben bereichert.

Von ganzen Herzen will ich meiner Familie und insbesondere bei meiner Mutter Catrin Graf, meinen Bruder Benedikt Fichtl und meinen Großeltern Ursula und Peter Graf meine aufrichtige Dankbarkeit ausdrücken. Sie haben mich immer unterstützt und an mich geglaubt – ihnen ist diese Arbeit gewidmet.

## Affidavit

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
|  | LUDWIG-<br>MAXIMILIANS-<br>UNIVERSITÄT<br>MÜNCHEN | Promotionsbüro<br>Medizinische Fakultät |  |  |
| <b>Eidesstattliche Versicherung</b>   |   |   |   |   |

Fichtl, Maximilian Andreas

\_\_\_\_\_  
Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel:

### **Prävalenz und potenzielle Folgen einer Insufflation bei Reanimationspatienten**

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, 10.01.2025

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

Maximilian Fichtl

\_\_\_\_\_  
Unterschrift Doktorandin bzw. Doktorand

---

## Lebenslauf

---

### Persönliche Daten

---

Name Maximilian Andreas Fichtl

Geburtstag/-ort

[REDACTED]

Nationalität

[REDACTED]

Wohnort

[REDACTED]  
[REDACTED]

E-Mail

[REDACTED]

---

### Schulbildung

04/2016 - 09/2022 Studium der Humanmedizin, Medizinische Hochschule Brandenburg

2012 - 2013 Rettungsassistent Medical Rescue College  
Wolfratshausen

2011 - 2012 Rettungssanitäter Medical Rescue College  
Wolfratshausen

2003 - 2011 Allgemeine Hochschulreife, Otto-von-Taube Gymnasium  
Gauting

---

### Praktische Erfahrungen

---

08/2022 - aktuell Klinik für Anästhesiologie, Operative Intensivmedizin  
und Schmerztherapie, Klinikum Harlaching München

---

|                   |  |
|-------------------|--|
| 12/2021           | 3. Tertial, Anästhesie, Klinikum Harlaching München  |
| 09/2021           | 2. Tertial, Innere Medizin, Klinikum Dritter Orden, München  |
| 07/2021           | 1. Tertial, Chirurgie, Kilimanjaro Christian Medical Clinic, Moshi Tansania                          |
| 04/2021           | 1. Tertial, Klinik für Viszeral-, Allgemein- und Thoraxchirurgie, Helios-Klinik Bad Saarow           |
| 08/2020           | Famulatur Anästhesie, München Klinik Neuperlach  |
| 03/2020           | Famulatur Allgemeinmedizin, Gabriel Fink München   |
| 08/2019           | Famulatur chirurgische Notaufnahme, Universitätsklinik Rechts der Isar München                       |
| 05/2019 - 12/2022 | Geschäftsführer Einfach Dichtungen GmbH  |
| 02/2019           | Hausarztfamulatur, Dr. Richard Aulehner Krailling  |
| 01/2017 - aktuell | Dozent im Rettungsdienst, Erste-Hilfe-Ausbilder, Bleeding control instructor, B&K Emergency Training |
| 01/2014 - 08/2016 | Internationale Flug- und Intensivtransporte als Rettungsassistent, Aicher Ambulanz Union München     |
| 06/2012 - 11/2014 | Rettungs- und Sanitätsdienst, Intermedic Schweiz   |
| 05/2011 - 03/2022 | Krankentransport und Rettungsdienst, Aicher Ambulanz Union München                                   |

---

#### Fortbildungen

---

Taucharzt gem. GTÜM, AHA ACLS instructor Kurs, Erste-Hilfe Ausbilder gem. GUV, Bleeding Control instructor gem. American College of Surgeons, Zusatzqualifikation DIVI Intensivtransport, Sonografie, Master Diver

---

## Engagement und Interessen

---

|                   |   |
|-------------------|---|
| 08/2021           | Stipendium Ruhwedelstiftung   |
| 05/2021           | PROMOS Stipendium, Deutscher Akademischer Austauschdienst   |
| 04/2020           | Deutschlandstipendium, Bundesministerium für Bildung und Forschung  |
| 09/2018 - 12/2021 | Studentisches Mitglied des konstituierenden Fakultätsrats, Fakultät für Gesundheitswissenschaften Brandenburg |
| 04/2018 - 09/2018 | Stellvertretender Vorstand der Studentenvertretung "Medsi", MHB   |
| 10/2014 - aktuell | First-Responder und -ausbilder, Freiwillige Feuerwehr Neubiberg   |
| 10/2007 - aktuell | Rettungsschwimmer, Wasserretter, Rettungstaucher, Wasserwacht Starnberg                                       |

---

## Sprachen

---

|             |                               |
|-------------|-------------------------------|
| Deutsch     | Muttersprache                 |
| Englisch    | Sicher in Sprache und Schrift |
| Französisch | Grundkenntnisse               |

München, 07.04.2023

---

## Publikationsliste

- 1 1 Fichtl, M.A., Beirer, M. & Leidel, B.A. Versorgung von Kreuzschmerzen. *Notfall Rettungsmed* 25, 352–354 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10049-022-01023-x>
- 2 Fichtl, M.A., Beirer, M. & Leidel, B.A. Versorgung häufiger Schulterverletzungen und -beschwerden. *Notfall Rettungsmed* (2022). <https://doi.org/10.1007/s10049-022-01024-w>
- 3 Fichtl, M.A., Beirer, M. & Leidel, B.A. Versorgung akuter Hand- und Handgelenksverletzungen. *Notfall Rettungsmed* (2022). <https://doi.org/10.1007/s10049-022-01025-9>
- 4 Fichtl, M.A., Beirer, M. & Leidel, B.A. Versorgung häufiger Kniegelenksverletzungen. *Notfall Rettungsmed* (2022). <https://doi.org/10.1007/s10049-022-01022-y>
- 5 Fichtl, M.A., Beirer, M. & Leidel, B.A. Versorgung von Fuß- und Sprunggelenksverletzungen. *Notfall Rettungsmed* (2022). <https://doi.org/10.1007/s10049-022-01026-8>
- 6 Fichtl, M.A., Kanz, KG. & Leidel, B.A. Versorgung von Nackenschmerzen. *Notfall Rettungsmed* (2022). <https://doi.org/10.1007/s10049-022-01028-6>