

Aus dem Bereich Anästhesiologie
Klinische Medizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität des Saarlandes, Homburg/Saar

**Sonographische Evaluation des gastralen Volumens im Rahmen der enteralen
Ernährung kritisch kranker Patienten auf der Intensivstation mittels eines
miniaturisierten Ultraschallgerätes**

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät

der Universität des Saarlandes

2021

vorgelegt von
Tizian Jahreis
geb. am 28.10.1997 in Bayreuth

Tag der Promotion: 15. März 2022

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Michael D. Menger

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Heinrich V. Groesdonk
Prof. Dr. med. Marcin Krawczyk
Univ.-Prof. Dr. med. Arno Bücken M.Sc.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	5
1.1	Deutsche Zusammenfassung	5
1.2	Englische Zusammenfassung / Abstract	6
2	Einleitung	7
2.1	Anatomie und Physiologie des Magens	9
2.1.1	Lage und Abschnitte	9
2.1.2	Wandbau	9
2.1.3	Motorik und Sekretion	9
2.2	Ernährung kritisch kranker Patienten	10
2.2.1	Allgemeines	10
2.2.2	Ernährung des kritisch kranken Patienten auf der interdisziplinären operativen Intensivstation des Universitätsklinikums des Saarlandes	11
2.3	Gängige Verfahren zur Überwachung des Magenvolumens	11
2.3.1	Szintigraphie	11
2.3.2	Computertomographie	12
2.3.3	Überwachung der Impedanz	12
2.3.4	Messung des Magensekrets	12
2.3.5	Passiver Refluxtest	12
2.3.6	Sonographie	13
2.4	Fragestellung	14
3	Material und Methodik	15
3.1	Patientenkollektiv	15
3.2	Material	15
3.3	Methodik	17
3.3.1	Methodik der Ultraschalluntersuchung	17
3.3.2	Methodik der klinischen Datenerhebung	19
3.4	Statistische Auswertung	20
4	Ergebnisse	21
4.1	Patientenkollektiv	21
4.1.1	Klinischer Verlauf	21
4.1.2	Operative Eingriffe	22
4.1.3	Medikation	23
4.2	Labor- und Vitalparameter	23
4.3	Ernährung	24
4.4	Ultraschalluntersuchungen	26
4.4.1	Durchführbarkeit der Messungen	26
4.4.2	Ergebnisse der Ultraschalluntersuchungen	26
4.4.3	Befunde der Auskultation und der Verdauung	29
4.4.4	Vergleich der Messergebnisse mit der Ernährungsweise	29
4.4.5	Vergleich der Messergebnisse mit dem Auskultationsbefund	31
4.4.6	Vergleich der Messergebnisse mit den Beatmungsparametern	31
5	Diskussion	34
5.1	Bewertung der Bestimmung der Magenvolumina	34
5.2	Verwendung miniaturisierter Ultraschallgeräte	35
5.3	Methodik	36
5.4	Durchführbarkeit der Messungen	37
5.5	Beurteilung der Messergebnisse	37

5.5.1	Magenvolumen bei Morgen- und Abendmessungen und bei erster und letzter Ultraschalluntersuchung.....	39
5.5.2	Magenvolumen bei Verwendung unterschiedlicher Ernährungsprodukte.....	40
5.5.3	Magenvolumen im Vergleich zum Auskultationsbefund.....	41
5.5.4	Magenvolumen im Vergleich zu Beatmungsparametern.....	42
5.6	Limitationen	43
5.7	Schlussfolgerung	43
6	Literatur	45
7	Anhang.....	54
7.1	Patienteninformation.....	54
7.2	Patienteneinwilligung	56
7.3	Glossar	57
7.4	Abkürzungsverzeichnis	58
7.5	Abbildungsverzeichnis	60
8	Publikationen.....	61
9	Danksagung.....	62
10	Lebenslauf.....	63

1 Zusammenfassung

1.1 Deutsche Zusammenfassung

Hintergrund: Zur Einschätzung des Aspirationsrisikos, der Nährstofftoleranz und der Magenentleerung [59] von Patienten auf Intensivstationen kann die Magensonographie quantitative und qualitative Informationen über den Mageninhalt liefern [45]. Durch etablierte Formeln von Perlas et al. [62] und Bouvet et al. [12] kann durch Vermessung des Magenantrums das gastrale Volumen standardisiert berechnet werden. In dieser Studie sollte mittels eines miniaturisierten Ultraschallgerätes an einer Kohorte enteral ernährter Patienten das Magenvolumen bestimmt werden, um Erkenntnisse über die Durchführbarkeit und das gastrale Volumen im zeitlichen Verlauf des Aufenthaltes auf der Intensivstation zu erlangen. Die Ergebnisse könnten zur Optimierung der enteralen Ernährungstherapie beitragen.

Methodik: Es wurden insgesamt 217 Ultraschalluntersuchungen mit je 3 Messungen (insgesamt 651 Messungen) in einer longitudinalen Beobachtungsstudie an 18 enteral ernährten Patienten der interdisziplinären operativen Intensivstation des Universitätsklinikums des Saarlandes zweimal täglich (morgens und abends) mit einem miniaturisierten Ultraschallgerät durchgeführt. Die Messwerte der Magenvolumina wurden in Abhängigkeit des klinischen Verlaufs, der Ernährungstherapie sowie weiterer demographischer sowie klinischer Parameter betrachtet.

Ergebnisse: Die Durchführung der Messungen war ohne Unterbrechung der Abläufe der klinischen Versorgung sowie ohne Pausierung der enteralen Ernährung möglich. Das Magenvolumen zeigte sich bei spärlich auskultierten Darmgeräuschen signifikant größer als bei normalen und regen Darmgeräuschen ($p < 0,01$). Weiterhin lag bei Verwendung des Ernährungsproduktes Fresubin® energy fibre ein signifikant größeres Magenvolumen im Vergleich zu Fresubin® original fibre vor ($p = 0,02$). Das Magenvolumen bei Morgen- und Abendmessungen zeigte keine zirkadiane Rhythmik. Beim Vergleich der ersten und letzten Ultraschalluntersuchung der einzelnen Patienten bestand eine Tendenz zum vergrößerten Magenvolumen ($p = 0,07$). Bei BiPAP-Beatmung lag ein signifikant größeres Magenvolumen als bei CPAP/ASB-Beatmung und Spontanatmung vor ($p < 0,01$). Weiterhin konnte eine positive Korrelation zwischen dem Magenvolumen und dem Tidalvolumen festgestellt werden (Pearson $r = 0,582$, $p < 0,01$).

Schlussfolgerung: Das gastrale Residualvolumen gemessen mittels eines miniaturisierten Ultraschallgerätes kann wichtige Informationen über Intensivpatienten liefern, ohne dass Behandlungsabläufe auf der Intensivstation eingeschränkt werden. Die Messungen sind bei laufender enteraler Ernährungstherapie möglich. Es sind weitere Studien nötig, um den gastralen Ultraschall als Steuerungsmöglichkeit in der Ernährungstherapie zu etablieren.

1.2 Englische Zusammenfassung / Abstract

Background: To assess the risk of aspiration, nutrient tolerance, and gastric emptying [59] of patients in intensive care units, gastric ultrasound can provide quantitative and qualitative information about the gastric contents [45]. Using established formulas by Perlas et al. [62] and Bouvet et al. [12], gastric volume can be calculated in a standardized way by measuring the gastric antrum. The purpose of this study was to determine gastric volume in a cohort of enteral-fed patients using a miniaturized ultrasound device to achieve knowledge about feasibility and gastric volume over time during the ICU stay. The findings could contribute to the optimization of enteral nutrition therapy.

Methods: A total of 217 ultrasound examinations with 3 measurements each (651 measurements in total) were performed twice daily (morning and evening) in a longitudinal observational study on 18 patients with enteral nutrition in the interdisciplinary surgical intensive care unit of Saarland University Hospital. The measured values of the gastric volumes were analyzed in relation to the clinical course, the nutrition therapy, and other demographic and clinical parameters.

Results: Measurements could be performed without interrupting the flow of clinical care and without pausing enteral nutrition. The gastric volume was significantly larger with sparsely auscultated bowel sounds than with normal and excited bowel sounds ($p < 0.01$). Furthermore, a significantly larger gastric volume was present when using the nutritional product Fresubin® energy fibre compared to Fresubin® original fibre ($p = 0.02$). Gastric volume at morning and evening measurements showed no circadian rhythm. When comparing the first and last ultrasound examination of each patient, there was a tendency towards increased gastric volume ($p = 0.07$). There was significantly greater gastric volume with BiPAP ventilation than with CPAP/ASB ventilation and spontaneous breathing ($p < 0.01$). In addition, a positive correlation between gastric volume and tidal volume was observed (Pearson $r = 0.582$, $p < 0.01$).

Conclusion: Gastric residual volume measured by miniaturized ultrasound devices can provide important information about ICU patients without restricting treatment procedures in the ICU. Measurements are possible while enteral nutrition therapy is ongoing. Further studies are needed to establish gastric ultrasound as a monitoring tool in nutrition therapy.

2 Einleitung

Die Ernährung ist wesentlich für Genesung und Vitalität. Jeder Körper benötigt für eine physiologische Funktionsweise eine individuelle Menge an Kohlenhydraten, Eiweiß, Fett, Vitaminen und Mineralien [4]. Viele Patienten sind jedoch aus unterschiedlichen Gründen in ihrer Nahrungsaufnahme eingeschränkt. Dies gilt insbesondere für kritisch erkrankte Patienten. Im Rahmen der intensivmedizinischen Behandlung, vor allem bei verminderter Nahrungszufuhr und Darmfunktionsstörungen, spielt die enterale Sondenernährung (Enteral Nutrition, EN) eine wichtige Rolle [11]. So kann bei bestehender oder drohender Mangelernährung schwerkraft- oder pumpengesteuert Sondennahrung appliziert werden. Die Kunststoffsonde wird dabei nasal eingeführt und kommt im Magen, Duodenum oder Jejunum zum Liegen. Flüssige Nahrung kann auf diese Weise kontinuierlich oder intermittierend in einer festgelegten Menge verabreicht werden. So wird die physiologische Nahrungsaufnahme imitiert und der Verlust der funktionellen Integrität des Magen-Darm-Traktes hinsichtlich Motilität und Nährstoffresorption im Vergleich zur intravenösen Ernährung abgemildert [4].

Eine kritische Erkrankung kann mit einem katabolen Stresszustand einhergehen. Dabei zeigen Patienten eine systemische Entzündungsreaktion, die mit verlängerten Krankenhausaufenthalten und überproportionaler Mortalität einhergeht. Ziel einer bedarfsgerechten Ernährung ist es demnach nicht nur, ausreichend Nährstoffe zur Verfügung zu stellen, sondern durch diese auch Stoffwechselreaktionen auf Stress abzuschwächen, oxidative Zellschädigungen zu verhindern und so Immunreaktionen positiv zu modulieren. Im Vergleich zur parenteralen Ernährung verbessert die EN bei geringeren Kosten [66] die Prognose der Patienten durch eine geringere Infektionsrate [38]. Die zeitgerechte Initiierung einer EN mit adäquater Nährstoffzufuhr verbessert also den klinischen Verlauf und gilt als proaktive, therapeutische Strategie zur Verringerung von Komplikationen. [11, 16, 56]

Wie jede medizinische Maßnahme ist auch die EN mit Risiken verbunden. Eine häufig gefürchtete Komplikation ist die Regurgitation des Mageninhaltes über den Pharynx in das Bronchialsystem. Dabei kann als Folge eine Aspirationspneumonie entstehen, die bei bis zu 30 % der Patienten auf Intensivstationen zu einem akutem Lungenversagen und in 16 % der Fälle zum Tode führt [6]. Gastrointestinale Störungen wie Diarrhoen und metabolische Entgleisungen (beispielsweise Hyperglykämien) können ebenfalls auftreten [11].

Zur Einschätzung des Aspirationsrisikos, der Nährstofftoleranz und der Magenentleerung [59] von Patienten auf Intensivstationen wird das gastrale Volumen bestimmt. Dafür stehen mehrere Methoden (siehe 2.3) zur Verfügung, die sich jedoch z. B. aufgrund ihrer Praktikabilität, Kosten- oder Zeitintensität nicht im klinischen Alltag durchsetzen konnten [59]. Der passive und aktive Refluxtest finden in der täglichen Routine Anwendung [27, 35]. Diese sind allerdings u. a. aufgrund fehlender Standardisierung umstritten [24, 27]. Die Bestimmung des gastralen

Residualvolumens im Rahmen der Routineversorgung enteral ernährter Intensivpatienten wird daher in den aktuellen, gemeinsamen Leitlinien der Society of Critical Care Medicine (SCCM) und der American Society for Parenteral and Enteral Nutrition (ASPEN) nicht mehr grundsätzlich empfohlen [56].

Ein Monitoring des Magenvolumens erscheint dennoch sinnvoll, da so mögliche Komplikationen wie Aspirationen im Rahmen der Ernährungstherapie kritisch kranker Patienten verhindert werden könnten [75]. Auch die bei intensivpflichtigen Patienten häufig vorkommende Magenentleerungsstörung könnte so erkannt werden [24]. Deshalb ist ein Verfahren vonnöten, mit dem zuverlässig und praktikabel das Magenvolumen abgebildet werden kann.

US-Geräte sind auf Intensivstationen breit verfügbar und bieten eine nicht-invasive Möglichkeit, das Magenvolumen zeitnah zu bestimmen. Die Handhabung ist den meisten Ärzten durch andere Untersuchungen bekannt und die gastrale Sonographie kann mit überschaubarem Zeitaufwand erlernt werden [2].

Dabei kann die Magensonographie quantitative und qualitative Informationen über den Mageninhalt liefern [45] und bietet somit mehr Vorteile als der bisher angewendete Refluxtest, der nur eine quantitative Bestimmung des Mageninhaltes zulässt. Um die Bestimmung des Magenvolumens mittels US standardisiert durchführen zu können, etablierten Perlas et al. im Jahr 2009 eine Formel, mit welcher bei in Rechtsseitenlage liegenden Patienten durch Vermessung des Magenantrums das gastrale Volumen berechnet werden kann [62]. Da bei Intensivpatienten beispielsweise durch Wirbelsäulen- oder Extremitätenverletzungen eine Messung in Rechtsseitenlage nicht immer möglich ist, wurde von Bouvet et al. im Jahr 2011 eine Formel entwickelt, die eine Bestimmung des Magenvolumens in Rückenlage ermöglicht [12].

Die Messungen sind auch mit miniaturisierten US-Geräten, sogenannten „Pocket devices“, möglich. Diese gewannen in den vergangenen Jahren zunehmend an Bedeutung [57, 80] und werden heute hauptsächlich in der Echokardiographie, als Abdomensonographie bei Hausbesuchen oder in der Notfallmedizin angewendet [22]. Der gastrale US mit miniaturisierten Geräten ist bisher in zwei Studien dargestellt worden. In diesen wurde der Einsatz bei Narkoseeinleitungen zur Abschätzung des Aspirationsrisikos [39] und auf Intensivstationen [76] untersucht. Dabei wurden ähnliche Residualvolumina wie mit Standardgeräten und dem Reflux-test gemessen [76].

Es wurden bislang keine Studien zum ultraschallgestützten Monitoring des gastralen Residualvolumens im Rahmen der EN im engmaschigen longitudinalen Verlauf durchgeführt. Ziel dieser Studie war es daher, mithilfe eines miniaturisierten US-Gerätes das Magenvolumen im longitudinalen Verlauf bei kritisch kranken Patienten zu bestimmen, um Erkenntnisse darüber

zu erlangen, wie sich das gastrale Volumen im zeitlichen Verlauf des Aufenthaltes auf der Intensivstation verhält. Weiterhin sollten die Magenvolumina im Vergleich mit klinischen Parametern und Vorerkrankungen betrachtet werden. Diese Resultate könnten dann einen Beitrag zur Optimierung der Ernährungstherapie kritisch kranker Patienten auf Intensivstationen leisten.

2.1 Anatomie und Physiologie des Magens

2.1.1 Lage und Abschnitte

Der Magen liegt intraperitoneal im linken oberen Quadranten des Abdomens und ist oral mit dem Ösophagus und aboral mit dem Duodenum verbunden. Der Magen wird (von oral nach aboral) in die Pars cardiaca, den Fundus gastricus, das Corpus gastricum und die Pars pylorica eingeteilt. Die Pars cardiaca ist der Bereich der Einmündung des Ösophagus in den Magen. Die untere Ösophagusmuskulatur fungiert als Sphinkter, der das Zurückfließen sauren Mageninhaltes verhindert. Der Magenfundus ist eine kuppelförmige Vorwölbung links der Kardie und im Stehen die höchste Stelle des Magens. Dort sammelt sich u. a. Luft, die im Röntgenbild als sogenannte Magenblase zu sehen ist. Das Corpus gastricum liegt zwischen dem Fundus gastricus und dem Antrum pyloricum und bildet den Hauptabschnitt des Magens. Die Pars pylorica, bestehend aus Antrum pyloricum, Canalis pyloricus und Pylorus, schließt den Magen zum Duodenum hin ab. [41]

2.1.2 Wandbau

Der Wandbau des Magens entspricht im Wesentlichen dem für den gesamten Gastrointestinaltrakt (GI-Trakt) geltenden Aufbau. Von innen nach außen reihen sich die Schichten Tunica mucosa, Tela submucosa, Tunica muscularis, Tela subserosa und Tunica serosa aneinander und ergeben eine Dicke von 2-6 mm. Dennoch weisen einzelne Schichten Besonderheiten auf. Durch die von der Magenschleimhaut entlang der kleinen Kurvatur durch longitudinale Falten gebildete Magenstraße können flüssige Bestandteile schneller abfließen. Auch die Magenmuskulatur (Tunica muscularis) ist im Bereich von Fundus und Corpus im Gegensatz zu anderen Abschnitten des GI-Trakts um eine dritte, innerste Muskelschicht verstärkt. Überall vorhandene Längs- und Ringfasern werden durch schräge Fasern ergänzt. Durch diese Anordnung der Schichten ist eine optimale Magenmotorik möglich. [41]

2.1.3 Motorik und Sekretion

Die Magenmotorik ist für die Bildung des Nahrungsbreis (Chymus) wichtig. Im proximalen Magenabschnitt wird die aufgenommene Nahrung gespeichert. Durch seine rezeptive Relaxation wird der Übertritt des Speisebreis aus dem Ösophagus in den Magen erleichtert. Dehnungsrezeptoren ermöglichen weiterhin eine Anpassung an das aufgenommene Nahrungsvolumen. Dank dieser adaptiven Relaxation kann ohne Anstieg des intraluminalen Drucks eine größere Nahrungsmenge aufgenommen werden. Der distale Abschnitt (die unteren zwei Drittel des

Corpus und das Antrum) ist für die Durchmischung und Zerkleinerung sowie den anschließenden Weitertransport der aufgenommenen Nahrung zuständig. Der mittlere Teil des Corpus wird als Schrittmacherzone bezeichnet, von der peristaltische Wellen ausgehen, die den Speisebrei in Richtung Pylorus drängen. Trifft dieser auf den verschlossenen Pylorus, wird der Speisebrei zurück in den proximalen Magen befördert und dadurch durchmischt und zerkleinert. Die Magenentleerung wird neben den Einflüssen von Sympathikus und Parasympathikus von verschiedenen weiteren Faktoren beeinflusst. So verweilen feste und grobe Nahrungsbestandteile länger im Magen als feine Partikel und Flüssigkeiten. Neben der Größe und Konsistenz spielen auch die Osmolarität und der pH-Wert des Chymus eine Rolle: Über einen Feedback-Mechanismus kann der mit Chemosensoren ausgestattete Dünndarm die Magenentleerung steuern. Deshalb haben z. B. Fette eine längere Verweildauer im Magen als Kohlenhydrate. Die Sekretion des Magensafts ist ein komplexer Prozess, der in verschiedenen Phasen unterschiedlich abläuft. So werden zu Beginn in der kephalen Phase durch olfaktorische Einflüsse und die Erwartung einer Mahlzeit vermehrt Wasserstoff-Ionen, Intrinsic Factor und Pepsinogen sowie Magenlipase und Gastrin sezerniert. In der gastralen Phase wird durch Wanddehnung stimuliert die Säureproduktion fortgeführt und um die Histaminsekretion erweitert. Saurer Mageninhalt löst im Duodenum neuronale Reflexbögen aus, sodass in der abschließenden intestinalen Phase vorwiegend Sekretin zur Reduktion der Magenperistaltik und Cholezystokinin zur Hemmung der Säureproduktion ausgeschüttet werden. [41, 49]

2.2 Ernährung kritisch kranker Patienten

2.2.1 Allgemeines

Die in 2.1.3 beschriebenen Regelkreise und Funktionen sind auf eine physiologische Ernährungsweise und einen gesunden Körper ausgelegt und können daher durch operative Eingriffe und kritische Erkrankungen aus dem Gleichgewicht gebracht werden. Deshalb sind spezielle Ernährungskonzepte nötig, die nicht nur den veränderten Nährstoffbedarf und Stoffwechsel der Patienten, sondern auch die Einschränkungen der Nahrungsaufnahme berücksichtigen.

Ziel einer optimalen künstlichen Ernährung ist das Erreichen einer anabolen Stoffwechsellage. Dafür werden Kohlenhydrate, Aminosäuren, Fette, Vitamine und Mineralstoffe enteral oder parenteral zugeführt. Damit die Indikation zur künstlichen Ernährung festgestellt und die Ernährungstherapie individuell geplant werden kann, müssen nicht nur der aktuelle Ernährungszustand, sondern auch die bestehende Stoffwechselsituation sowie die krankheits- und operationsbedingten Belastungen analysiert werden. Die Grunderkrankung und der damit verbundene erhöhte Nährstoffbedarf, aber auch die erforderliche Dauer einer oralen Nahrungskarenz nach chirurgischen Eingriffen müssen berücksichtigt werden. Nach Evaluation dieser Faktoren kann die Infusions- und Elektrolytmenge pro 24 h sowie die Art und Zusammensetzung der Nährsubstrate festgelegt werden. [8]

2.2.2 Ernährung des kritisch kranken Patienten auf der interdisziplinären operativen Intensivstation des Universitätsklinikums des Saarlandes

Um standardisierte Arbeitsweisen nach dem aktuellen klinischen Wissensstand zu ermöglichen, werden in Kliniken Standard Operating Procedures (SOP) zu unterschiedlichen Thematiken erarbeitet, so auch auf der interdisziplinären operativen Intensivstation des Universitätsklinikums des Saarlandes. Die SOP „Ernährung des kritisch kranken Patienten“ soll Ärzte und Pflegekräfte bei der Bedarfsanalyse und der Planung der künstlichen Ernährung unterstützen, sodass das errechnete Ernährungsziel möglichst schnell erreicht werden kann. Zuerst wird anhand des Nutritional Risk Screenings 2002 der Ernährungsstatus erfasst und dokumentiert. Dieses Screening wird nach internationalen Standards der European Society for Clinical Nutrition and Metabolism (ESPEN) durchgeführt und erfasst die Krankheitsschwere, den Ernährungszustand und das Alter des Patienten. [43] Liegt keine Ernährungseinschränkung vor, wird das Screening wöchentlich wiederholt. Ansonsten soll ein Ernährungsplan erstellt und das Ernährungsziel, welches täglich aktualisiert wird, bestimmt werden. Neben dem Kalorienziel (Richtwert: 24 kcal / kg KG / d) werden Ernährungsform und Ernährungsbeginn festgelegt. Ist keine orale Nahrungsaufnahme möglich, ist die Anlage einer nasogastralen Sonde („Magensonde“) Standard. Die enterale Ernährung ist der parenteralen vorzuziehen, da diese mit einer verringerten Magen-Darm-Motilität und schlechteren Nährstoffresorption einhergeht und durch die Notwendigkeit eines intravenösen Zugangs eine zusätzliche potentielle Infektionsquelle besteht [4]. Der Ernährungsaufbau wird standardmäßig mit isokalorischer Nahrung (Fresubin® original fibre) begonnen und bei Toleranz auf bedarfsdeckende hochkalorische Nahrung (Fresubin® energy fibre) umgestellt. Bei Intoleranzen wie Magenentleerungsstörungen kann entweder auf alternative (nasoduodenale, -jejunale oder perkutane) Sonden ausgewichen oder spezielle Ernährungslösungen verwendet werden. [35]

2.3 Gängige Verfahren zur Überwachung des Magenvolumens

Zur Überwachung der Nährstofftoleranz und der Magenentleerung gibt es verschiedene Möglichkeiten mit variabler Praxistauglichkeit. Mehrere Autoren stellten in Übersichtsarbeiten ausgewählte Methoden mit Vor- und Nachteilen vor. [27, 59]

2.3.1 Szintigraphie

Bei der Szintigraphie wird Patienten eine mit Isotopenmarkern (z. B. Technetium-99) markierte Testmahlzeit fester Konsistenz verabreicht. Es wird angenommen, dass sich das Nuklid mit dem gleichen Verlauf wie die Testmahlzeit entleert. Die Magenentleerung wird anschließend mit einer γ -Kamera aufgenommen. Die Nährstoffzusammensetzung, Osmolarität, Größe und Temperatur der Testmahlzeit können die Entleerung und damit das Ergebnis beeinflussen. Da das Verfahren nicht standardisiert ist, können Messungen verschiedener Zentren nur unzureichend miteinander verglichen werden. Außerdem werden keine Magen- und

Speichelsekrete gemessen, da das Nuklid nur in der Nahrung angereichert ist. Dennoch ist das Verfahren eine gute Möglichkeit quantitative Ergebnisse zu erhalten. Die Methode ist zeitaufwendig und aufgrund der nötigen festen Testmahlzeit nicht für die routinemäßige Beurteilung von Intensivpatienten geeignet. [59, 77]

2.3.2 Computertomographie

Mittels der Computertomographie (CT) kann der Mageninhalt berechnet werden. In jeder Schnittebene wird der Magen mit einem Cursor nachgezeichnet, sodass der Computer das entsprechende Volumen berechnen kann. Jede Messung wird drei Mal durchgeführt und das Gesamtvolumen als Mittelwert der Messungen berechnet. Das Verfahren ist aufgrund der hohen Strahlenbelastung nur geeignet, wenn aus anderen Gründen eine CT-Untersuchung durchgeführt werden muss und eignet sich somit nicht für die tägliche Routine. [37, 61]

2.3.3 Überwachung der Impedanz

Die Magenimpedanz kann durch Anlage kutaner Elektroden im epigastralen Bereich und auf dem Rücken des Patienten gemessen werden. Dazu wird über ein Elektrodenpaar ein Wechselstrom angelegt und die Basisimpedanz bestimmt. Anschließend wird eine flüssige Mahlzeit mit geringer elektrischer Leitfähigkeit verabreicht. Dabei steigt die Impedanz, die mit Entleerung des Magens wieder abnimmt. So kann die Magenentleerung gemessen werden. Da die Magensäuresekretion die Impedanz beeinflusst, muss sie zuvor medikamentös unterdrückt werden. Weiterhin kann die Impedanz durch Patientenbewegung, Dünndarmreflux oder Entleerung der Gallenblase beeinflusst werden. Die Untersuchung ist nicht-invasiv und günstig, jedoch mit größerem Zeitaufwand verbunden und erfordert Nüchternheit. [59, 77]

2.3.4 Messung des Magensekrets

Nach Pausierung der enteralen Ernährung kann der Mageninhalt mit einer Spritze durch die Magensonde abgesaugt und quantitativ sowie qualitativ bestimmt werden. Die Position des Patienten, die Größe der Spritze sowie der Durchmesser, die Lage und die Anzahl der Öffnungen der Magensonde können die Technik beeinflussen. Da während der Messung die EN gestoppt werden muss, kann sich das Verfahren negativ auf den Ernährungszustand des Patienten auswirken. [5, 15, 59, 73]

2.3.5 Passiver Reflux test

Der passive Reflux test (Rückstautest) wird regelhaft nach 5 h Ernährungszufuhr durchgeführt. Nachdem die Ernährungssonde mit 20 ml Wasser gespült wurde, wird sie für 30 min abgeklemmt. Anschließend wird ein Sekretauffangbeutel an die Sonde angeschlossen und für 15 min unter Magenniveau befestigt. Die SOP der interdisziplinären operativen Intensivstation sieht bei Rückstaumengen < 150 ml eine Erhöhung, bei Mengen > 150 ml eine Reduzierung der Laufrate der EN vor. Das Ergebnis jedes Rückstautests wird dokumentiert, wodurch auch die gesamte Rückflussmenge über 24 h erfasst werden kann. Ein Wert < 300 ml / 24 h steht

für eine normale Magenentleerung, > 300 ml / 24 h für eine beeinträchtigte, aber prinzipiell funktionierende Magenentleerung. Fließen insgesamt > 1.000 ml / 24 h zurück, ist die Magenentleerung vollständig gehemmt. Bei Komplikationen wie Erbrechen erfolgt eine Ernährungspause für 4 h. [35] Die Messung des GRV mit dem passiven Refluxetest ist wenig standardisiert und nicht gut validiert. Als Probleme werden u. a. unterschiedliche Größen und Materialien sowie die korrekte Lage der Ernährungssonde in der Literatur beschrieben. [27]

2.3.6 Sonographie

Bei der US-Untersuchung kann das Antrum der Pars pylorica in einer parasagittalen Ebene im epigastrischen Bereich dargestellt werden. Der linke Leberlappen, die V. cava inferior und die A. mesenterica superior sollen mit dargestellt werden. Nachdem die Gefäße identifiziert wurden, wird der Schallkopf leicht um die eigene Achse gedreht, um die kleinstmögliche Querschnittsansicht des Antrums einzustellen. In dieser Einstellung wird anschließend der größtmögliche anteroposteriore (AP) und der kraniokaudale (CC) Durchmesser von Serosa zu Serosa gemessen, die senkrecht zueinander stehen. Da das Antrum am ehesten eine ellipsoide Form aufweist, kann zur Berechnung der Querschnittsfläche (Cross sectional area, CSA) folgende Formel verwendet werden: [62]

$$CSA = \frac{AP \times CC \times \pi}{4}$$

Formel 1: Berechnung der Querschnittsfläche des Antrums [62]

CSA: Cross sectional area [cm²]; AP: anteroposteriorer Durchmesser des Antrums [cm]; CC: kraniokaudaler Durchmesser des Antrums [cm]; π : Kreiszahl Pi [$\approx 3,14$]

Die CSA-Messung des Antrums kann in Rückenlage (nach Bouvet et al.) oder in Rechtsseitenlage (nach Perlas et al.) durchgeführt werden. Der Vorteil der Rechtsseitenlage ist, dass der Mageninhalt in Richtung des Antrums fließt, was die Darstellbarkeit erleichtert. [62]

Für die Rechtsseitenlage konnte durch klinische Studien eine Formel etabliert werden, die laut Autoren für nicht-schwangere Patienten mit einem Body-Mass-Index (BMI) < 40 kg / m² und für Berechnungen des Magenvolumens bis 500 ml angewendet werden kann: [63]

$$Volumen = 27 + 14,6 \times CSA - 1,28 \times Alter$$

Formel 2: Berechnung des Magenvolumens in Rechtsseitenlage [63]

Volumen: Magenvolumen [ml]; CSA: Cross sectional area [cm²]; Alter: Alter des Patienten bei Untersuchung [a]

Da Intensivpatienten aus verschiedensten Gründen nicht immer in Rechtsseitenlage gelagert werden können, modellierten Bouvet et al. eine Formel, um den Mageninhalt bei CSA-Messung in Rückenlage abschätzen zu können: [12]

$$\text{Volumen} = -215 + 57 \times \log \text{CSA} - 0,78 \times \text{Alter} - 0,16 \times \text{Größe} - 0,25 \times \text{Gewicht} - 0,8 \times \text{ASA} \\ + 16 \text{ ml}^* + 10 \text{ ml}^{**}$$

Formel 3: Berechnung des Magenvolumens in Rückenlage [12]

*Volumen: Magenvolumen [ml]; CSA: Cross sectional area [mm²]; Alter: Alter des Patienten bei Untersuchung [a]; Größe: Größe des Patienten [cm]; Gewicht: Gewicht des Patienten [kg]; ASA: American Society of Anesthesiologists Physical Status Classification, Klassifikation zur Abschätzung des perioperativen Risikos [Klassen 1-4, Klassen 5 und 6 werden bei der Berechnung zu Klasse 4 gezählt]; *bei Untersuchungen vor notfallmäßigen Eingriffen werden 16 ml addiert; **bei Untersuchungen, vor denen mindestens 100 ml Antazida zur medikamentösen Prophylaxe bei hohem Aspirationsrisiko verabreicht wurden, werden 10 ml addiert*

Ein weiterer Vorteil dieses nicht-invasiven Verfahrens ist, dass neben der quantitativen Bestimmung mittels der oben genannten Formeln auch eine qualitative Beurteilung des Mageninhalts möglich ist. So kann bei einem aufgeblähten Antrum mit hyperechogenem, heterogenem Inhalt von fester Nahrung ausgegangen werden. Diese stellt bei erloschenen Schutzreflexen ein erhöhtes Aspirationsrisiko dar und deutet auf eine verzögerte Magenentleerung und/oder ein Nicht-Einhalten der Nahrungskarenz vor Narkoseeinleitungen hin. Das Zielscheibenmuster (*englisch Bull's-Eye-Pattern*) beschreibt die direkt nebeneinander liegende Vorder- und Hinterwand des Magens in einer rundlich-ovalen Form, die auf einen leeren Magen hindeutet. Magensekret und flüssige Inhalte präsentieren sich hypoechogen, Luftblasen können als fluktuierende kleine Echoerscheinungen (*englisch Starry night*, sternenklare Nacht) vorkommen. [64, 88]

Deshalb kann der gastrale US nicht nur zur regelmäßigen Überwachung der Nährstofftoleranz und der Magenentleerung auf Intensivstationen dienen [59], sondern auch zur Einschätzung des Aspirationsrisikos vor operativen Eingriffen herangezogen werden [64].

2.4 Fragestellung

In vorliegender Studie soll an einer Kohorte enteral ernährter Patienten der interdisziplinären operativen Intensivstation des Universitätsklinikums des Saarlandes das Magenvolumen mittels eines miniaturisierten US-Gerätes bestimmt werden, um Erkenntnisse darüber zu erlangen, wie sich das gastrale Volumen im zeitlichen Verlauf des Aufenthaltes auf der Intensivstation verhält. Es existieren bislang keine Studien zum ultraschallgestützten Monitoring des gastralen Residualvolumens im Rahmen der EN im engmaschigen longitudinalen Verlauf. Die Messwerte der Magenvolumina sollen im Vergleich mit klinischen Parametern und Vorerkrankungen betrachtet werden. Diese Erkenntnisse könnten zur Optimierung der Ernährungstherapie beitragen, indem sie Aufschlüsse über das Aspirationsrisiko, die Nährstofftoleranz und Magenentleerung liefern. Sollte die Durchführung der Messungen im klinischen Alltag mithilfe eines miniaturisierten US-Gerätes möglich sein, so stünde ein nicht-invasives, praktikables Verfahren zur routinemäßigen Überwachung des gastralen Volumens kritisch kranker Patienten zur Verfügung.

3 Material und Methodik

Nach der Genehmigung des Ethikantrags durch die Ethik-Kommission der Ärztekammer des Saarlandes (57/19) wurden im Zeitraum von Juni bis Dezember 2019 insgesamt 217 US-Untersuchungen mit je 3 Messungen (insgesamt 651 Messungen) in einer longitudinalen Beobachtungsstudie an 18 Patienten der interdisziplinären operativen Intensivstation des Universitätsklinikums des Saarlandes durchgeführt.

3.1 Patientenkollektiv

Alle Patienten der interdisziplinären operativen Intensivstation des Universitätsklinikums des Saarlandes, die während des Studienzeitraums nach SOP (siehe 2.2.2) enteral über eine Magensonde ernährt wurden, wurden im Verlauf ihres Aufenthalts auf die Möglichkeit der Studienteilnahme evaluiert. Ausgeschlossen wurden minderjährige Patienten, Patienten nach Gastrektomie, Patienten in Bauchlage, schwangere Patientinnen sowie Patienten mit abdomineller Vakuumtherapie, sofern der Wundschwamm die für die US-Untersuchung notwendige Zugänglichkeit des Epigastriums einschränkte. Die mit der Studienteilnahme einverständenen Patienten wurden vor der Untersuchung von einem Studienarzt mündlich und schriftlich über den Studienablauf aufgeklärt. Bei nicht einwilligungsfähigen Patienten wurden stattdessen die Angehörigen oder gesetzlichen Betreuer aufgeklärt.

3.2 Material

Alle Patienten wurden mit dem miniaturisierten US-Gerät iViz (Artikelnummer P20018-03) der Fa. Sonosite (FUJIFILM Sonosite, Inc.) mit Touchscreen (Bildschirmdiagonale: 17,8 cm) untersucht (siehe Abbildung 1). Das Modul „Scan“ (siehe Abbildung 2) bildet auf der linken Seite die Bedienelemente und auf der rechten Seite das US-Fenster ab. So können Rechtshänder die Schutzhülle mit integriertem Griff (siehe Abbildung 1) mit der linken Hand so greifen, dass mit dem linken Daumen der Bildschirm gesteuert und gleichzeitig mit der rechten Hand der Schallkopf gehalten wird. Bei Linkshändern kann das Display gedreht werden, sodass dieselbe Steuerung mit dem rechten Daumen und der linken Hand möglich ist. Für alle Untersuchungen wurde der Konvexschallkopf Modell C60v (2-5 MHz, Scantiefe: 30 cm) verwendet und die Standardeinstellung „Abdomen“ (Taste 4) ohne Bildoptimierung wie Bildvergrößerung, Eindringtiefe, Auflösung und Verstärkung (Gain) gewählt, um normierte Bilder zu erhalten.

Als US-Gel das Produkt CV-Sonic Ultraschallgel Dispenser der Fa. C+V (C+V Pharma-Depot GmbH) auf Wasserbasis mit haut- und schleimhautneutralem pH von 5,8-6,4 verwendet.

Die Patienten wurden während des Untersuchungszeitraums in der Regel mit den in der SOP festgeschriebenen Standardpräparaten Fresubin® original fibre (isokalorisch) und Fresubin®

energy fibre (hochkalorisch) der Fa. Fresenius Kabi (Fresenius Kabi Deutschland GmbH) ernährt.

Die Zuführung erfolgte durch die nasogastrale Silikonsonde Flocare® NUTRISOFT der Fa. Nutricia GmbH (Außendurchmesser: 14 Charrière), die mit einem Überleitsystem (APPLIX® EasyBag mobile ENFit™ der Fa. Fresenius Kabi) an der Ernährungspumpe (APPLIX® Smart der Fa. Fresenius Kabi) angeschlossen war.

Die US-Bilder wurden im DICOM- und PNG-Format mit einem USB-Kabel vom US-Gerät auf ein Microsoft® Surface® Book 2 mit installiertem Windows 10 Pro (64-Bit, Version 2004, Build 19592.1001) übertragen.

Patientenbezogene Daten wurden aus dem Krankenhausinformationssystem des Universitätsklinikums des Saarlandes (i.s.h.med der Fa. SAP SE) und dem Patientendatenmanagementsystem der interdisziplinären operativen Intensivstation (COPRA PDMS der Fa. COPRA System GmbH) erfasst. Die Patientendaten wurden in anonymisierter Form gespeichert.

Die Literaturrecherche und -verwaltung wurde mit Citavi 6.4.0.35 von der Fa. Swiss Academic Software GmbH und PubMed von der amerikanischen Nationalbibliothek für Medizin durchgeführt.



Abbildung 1: Das miniaturisierte US-Gerät Sonosite iViz in der Schutzhülle mit integriertem Griff sowie der Tragetasche.

https://www.sonosite.com/sites/default/files/IVIZ_BAG_SYSTEM_FRONT_CENTER_FINAL_CMYK_with_Screen_White_BG.jpg, abgerufen am 01.04.2020

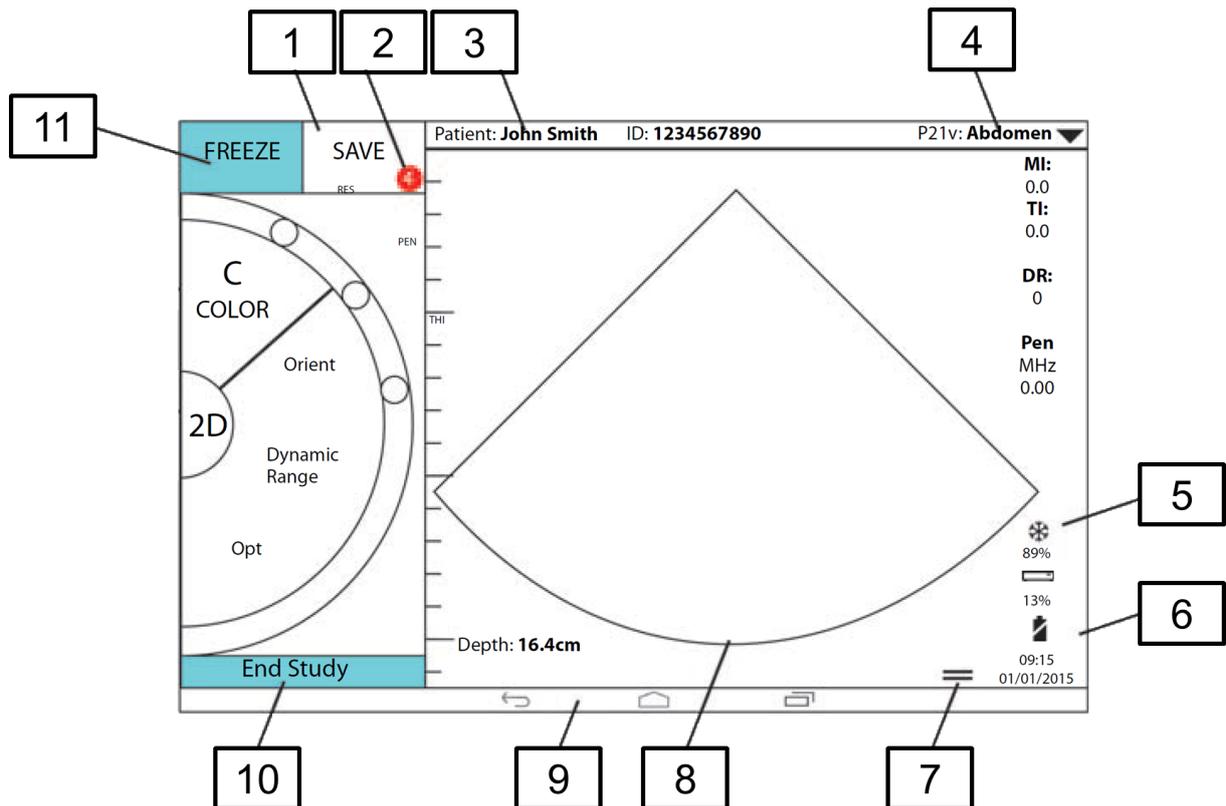


Abbildung 2: Touchscreen im Scan-Modus [33]

1: Speichern eines Bildes oder Videos; 2: Anzahl gespeicherter Bilder in dieser Untersuchung; 3: Patientennamen und -ID; 4: Untersuchungstyp; 5: Energieverwaltungsanzeige; 6: Uhrzeit, Datum und Ladestand in Prozent; 7: weitere Werkzeuge; 8: Ultraschall-Fenster; 9: Android-Bedienelemente; 10: Beenden der Untersuchung; 11: Fixieren eines Bildes

3.3 Methodik

3.3.1 Methodik der Ultraschalluntersuchung

Alle Untersuchungen wurden vom Autor der Dissertation selbst durchgeführt, welcher vor Studienbeginn nach einem standardisierten Curriculum geschult wurde. Zur Vorbereitung und Optimierung der Technik wurden 20 Testuntersuchungen an Patienten und Probanden durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden nicht in die Studie einbezogen.

Nach Vorliegen der Einverständniserklärung der Patienten wurden die Messungen zum nächstmöglichen Zeitpunkt begonnen. Nach Aufnahme in das Patientenkollektiv wurden die Patienten bis zur Beendigung der EN, ihrer Verlegung oder Tod zweimal täglich untersucht. Im Regelfall fand die 1. Messung am Morgen zwischen 06:00 Uhr und 10:00 Uhr und die 2. Messung am Nachmittag/Abend zwischen 16:00 Uhr und 20:00 Uhr statt, ohne dass im Zeitraum von 2 h vor der US-Messung ein passiver Reflux test (siehe 2.3.5) durchgeführt worden war. Gelegentlich musste von dieser Zeitspanne abgewichen werden oder Messungen mussten entfallen, um klinische Abläufe nicht zu beeinflussen, z. B. aufgrund operativer Eingriffe oder Untersuchungen. Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, fanden alle Messungen in Rückenlage statt, da viele Patienten aufgrund ihrer Erkrankung nicht in Rechtsseitenlage gelagert werden konnten.

Vor jeder US-Untersuchung wurden die Darmgeräusche auskultiert und in drei Kategorien eingruppiert (spärlich/normal/rege). Während des Einschaltvorgangs des US-Gerätes (Dauer: ca. 30 s) wurde der epigastrische Bereich des Patienten freigelegt und das US-Gel auf die Schallsonde aufgetragen. Anschließend wurde im Hauptmenü über das Modul „Patient“ die Patienten-ID eingegeben und die Untersuchung im Modul „Scan“ gestartet. Konnte das Antrum (wie in 2.3.6 beschrieben) eingestellt werden, wurde das Bild über Taste 11 fixiert und über Taste 1 abgespeichert. Anschließend sind über den Punkt Messungen/Abstand dem US-Fenster Messpunkte hinzugefügt worden, die mit dem Finger verschoben werden konnten. Dadurch wurden der AP- und CC-Abstand bestimmt, indem die Distanzen senkrecht aufeinander stehend von Serosa zu Serosa bestimmt wurden. Im Anschluss wurde das Bild mit den Messwerten über Taste 1 abgespeichert. Anschließend wurden die Bilder für beide Wiederholungsmessungen aufgenommen. Hierfür wurde jedes Mal der Schallkopf vom Epigastrium abgehoben, erneut aufgesetzt und das Antrum nach Standard aufgesucht. Insgesamt wurden dementsprechend sechs Bilder je Untersuchung gespeichert; drei Leerbilder sowie drei mit Beschriftung. Danach wurde die Untersuchung über Taste 10 beendet.

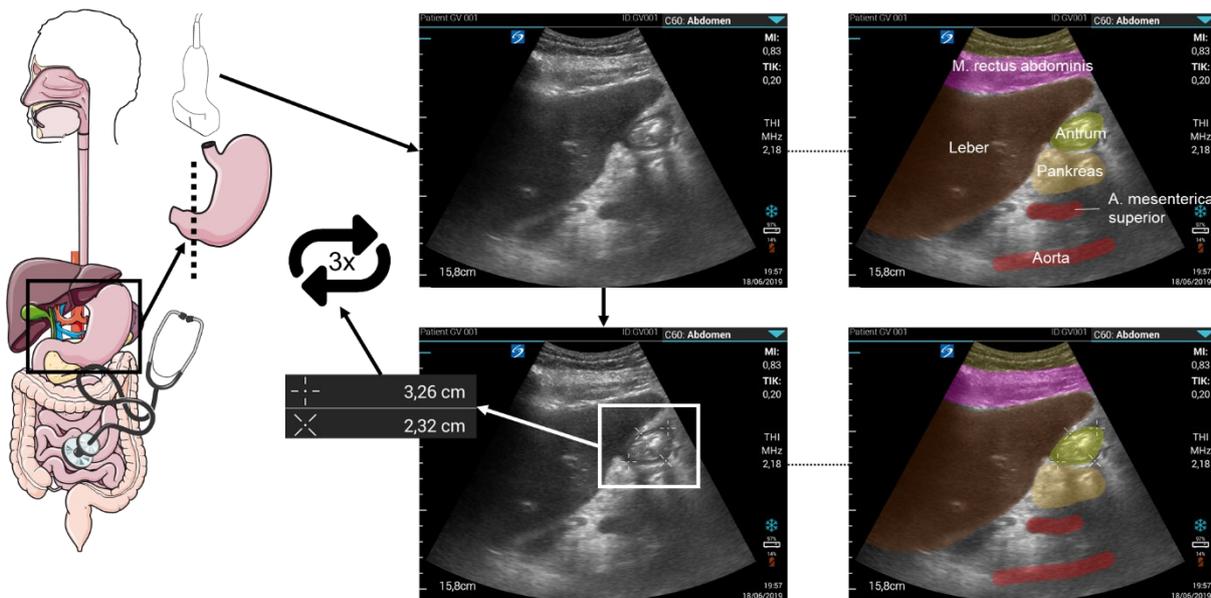


Abbildung 3: Ablauf der US-Untersuchung

Nach der Auskultation der Darmgeräusche wird sonographisch das Antrum aufgesucht und durch zwei senkrecht zueinanderstehende Distanzen vermessen. Insgesamt wurden 3 Messungen je Untersuchung durchgeführt, um Messungenauigkeiten zu minimieren.

Teile der Grafik von <https://smart.servier.com/>, abgerufen am 01.07.2020, Lizenz: CC BY 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>)

Aus den drei Messungen je Untersuchung wurden die Durchschnittswerte ermittelt und wie in 2.3.6 beschrieben nach Perlas et al. die CSA [62] sowie nach Bouvet et al. das Magenvolumen [12] berechnet. Obwohl die Messungen in Rückenlage durchgeführt worden sind, wurde das Volumen zusätzlich mit der Formel für die Rechtsseitenlage nach Perlas et al. berechnet [63],

um die resultierenden unterschiedlichen Ergebnisse beider Formeln zu untersuchen. Um einen Vergleich heranziehen zu können, wurden die Volumina jeweils auch in ml / kg KG errechnet.

3.3.2 Methodik der klinischen Datenerhebung

Die allgemeinen Patientendaten Alter, Geschlecht, Aufnahme sowie Entlassung von der Intensivstation und Tod wurden festgehalten. Daraus berechnet wurden die Aufenthaltsdauer bei Untersuchung sowie aus Größe und Gewicht der BMI. Da die interdisziplinäre operative Intensivstation als anästhesiologische Intensivstation organisiert ist, wurde die chirurgisch-operative Fachrichtung anhand der Hauptdiagnose und Zuständigkeit ermittelt. Die postoperativen Tage wurden aus dem initialen und bei mehrfachen Eingriffen zusätzlich aus dem letzten OP-Datum errechnet. Die Operationen wurden in den Kategorien Oberbauch, thorakal-abdomineller Eingriff, Leber, Pankreas, (Pylorus-erhaltende) Whipple-OP, Colon, Dünndarm, Magen, Extremitäten, Kopf-Hals, Sonstige sowie als Gesamtzahl erfasst. Die Vorerkrankungen koronare Herzkrankheit (KHK), Diabetes mellitus und Schlaganfälle wurden aus der Patientenakte recherchiert. Die intensivmedizinischen Scores (siehe 7.3 Glossar) SAPS II, APACHE, ASA und SOFA wurden bei Aufnahme auf die Intensivstation und an jedem Untersuchungstag übernommen. Folgende Laborparameter wurden vor jeder Untersuchung erfasst:

Entzündungsparameter	Leukozyten, C-reaktives Protein (CRP), Procalcitonin (PCT)
Arterielle Blutgasanalyse	pH-Wert, Kohlendioxidpartialdruck (paCO ₂), Sauerstoffpartialdruck (paO ₂) Sauerstoffsättigung (saO ₂), Hämoglobin-Wert (Hb), Glukose (Glu), Basenabweichung (Base excess, BE)
Weitere Laborparameter	Kreatinin, Harnstoff, Kalium

Tabelle 1: Erfasste Laborparameter

Als Beatmungsparameter wurden der Beatmungsmodus, die inspiratorische Sauerstofffraktion (FiO₂), der inspiratorische Druck (P_{insp}), der positive endexpiratorische Druck (PEEP), die Atemfrequenz (AF) und das Tidalvolumen (VT) vor der Messung vermerkt.

Als Vitalparameter wurden die Herzfrequenz (HF), die periphere Sauerstoffsättigung (S_pO₂), der Blutdruck (RR) in Systole, Diastole, Mitteldruck und die Art der Messung (invasiv/nicht-invasiv) sowie die Körpertemperatur erfasst.

Die Therapie mit den Katecholaminen Noradrenalin (Arterenol®) und Dobutamin, dem antidiuretischen Hormon (Vasopressin), den Anästhetika Propofol und Isofluran, den Analgetika Remifentanil (Ultiva®) und Sufentanil sowie dem Benzodiazepin Midazolam wurden in binärer Form dokumentiert.

Der Start der EN wurde mit Art der Sondennahrung, Datum und Uhrzeit dokumentiert und damit die Gesamtdauer der EN zum Untersuchungszeitpunkt berechnet. Eine mindestens zweistündige Unterbrechung oder ein Wechsel des Ernährungsprodukts wurde als neuer

Startpunkt für darauffolgende Messungen gewertet. Die Laufgeschwindigkeit der EN wurde zum Zeitpunkt der Untersuchung dokumentiert, ebenso die Gesamtifusionsmenge seit der letzten erfolgten Messung.

Weiterhin wurde vermerkt, ob und in welcher Menge der Patient seit der letzten US-Untersuchung feste oder flüssige Nahrung aufnehmen konnte oder erbrechen musste. Der Stuhlgang seit letzter Messung wurde in verschiedenen Kategorien (fest, breiig, flüssig-breiig, flüssig oder ausstehend) protokolliert.

3.4 Statistische Auswertung

Zur Verwaltung der Patienten- und Messdaten und zur Berechnung einzelner Werte wurde Microsoft® Excel® für Office 365 MSO (16.0.12624.20348) in der 64-Bit Version verwendet.

Die statistischen Datenanalysen wurden mit IBM® SPSS® Statistics Version 26 der Fa. IBM (International Business Machines Corporation) durchgeführt.

4 Ergebnisse

4.1 Patientenkollektiv

In der Studie wurden 18 kritisch kranke Patienten, die eine intensivmedizinische Therapie auf der interdisziplinären operativen Intensivstation benötigten, eingeschlossen. Diese sind, solange die medizinische Indikation zur EN über eine nasogastrale Sonde bestand, zweimal täglich untersucht worden. Insgesamt wurden 217 Untersuchungen und somit 651 Einzelmessungen durchgeführt und ausgewertet.

Von den 18 Patienten waren 3 weiblichen (16,7 %) und 15 männlichen (83,3 %) Geschlechts. Das mittlere Alter der Patienten bei Untersuchung betrug $66,9 \pm 10,4$ Jahre. Die durchschnittliche Größe der Patienten lag bei 176 ± 8 cm und das durchschnittliche Gewicht bei 88 ± 15 kg. Daraus ergibt sich ein durchschnittlicher BMI von 29 ± 4 kg / m².

Als internistische Vorerkrankungen wurde bei 22,2 % der Patienten KHK (n = 4), bei 11,1 % Diabetes mellitus Typ II (n = 2) und als neurologische Vorerkrankung bei 27,8 % Schlaganfälle (n = 5) dokumentiert.

4.1.1 Klinischer Verlauf

Die durchschnittliche Verweildauer der Patienten auf der interdisziplinären operativen Intensivstation betrug $29,0 \pm 19,3$ Tage, 3 Patienten (16,7 %) sind während des Aufenthaltes verstorben.

Bei 48,4 % der Untersuchungen (n = 105) sind die Patienten maschinell beatmet worden; davon zu 10,5 % (n = 11) im Modus „Zweiphasischer positiver Atemwegsdruck“ (Biphasic positive airway pressure, BiPAP) und zu 89,5 % (n = 94) im Modus „Spontanatmung mit kontinuierlichem positivem Atemwegsdruck“ (Continuous positive airway pressure + assisted spontaneous breathing, CPAP/ASB). Die FiO₂ betrug im Mittel $50,9 \pm 17,0$ %, der P_{insp} $18,3 \pm 5,0$ mbar, der PEEP $8,4 \pm 3,0$ mbar, die AF $21,6 \pm 6,5$ / min und das VT $587,6 \pm 200,0$ ml bzw. $6,2 \pm 2,2$ ml / kg KG. In 29 Fällen (13,4 %) wurden die Patienten bei Untersuchung mit Katecholaminen behandelt.

Männliches Geschlecht [n (Patienten)]	15
Prozentualer Anteil	83,3 %
Alter [Jahre]	66,9
Standardabweichung	$\pm 10,4$
BMI [kg / m²]	29,0
Standardabweichung	$\pm 4,0$
Dauer der Hospitalisierung [Tage]	29
Standardabweichung	$\pm 19,3$
Todesfälle [n (Patienten)]	3
Prozentualer Anteil	16,7 %
Beatmungsabhängigkeit [n (Untersuchungen)]	105
Prozentualer Anteil	48,4 %

Katecholaminpflichtigkeit [n (Untersuchungen)]	29
Prozentualer Anteil	13,4 %

Tabelle 2: Demographische Daten und klinischer Verlauf der Patienten

Die in Tabelle 3 dargestellten Maßzahlen geben einen Überblick über die Überlebenswahrscheinlichkeit der Patienten (APACHE), zur Abschätzung des perioperativen Risikos (ASA), zum physiologischen Zustand der Patienten (SAPS II) und zur Beurteilung der Sepsis (SOFA):

	bei Aufnahme (Intensivstation)	vor Messung
APACHE	19,7	16,4
Standardabweichung	±3,3	±4,5
ASA	3,3	3,3
Standardabweichung	±0,8	±0,8
SAPS II	38,1	32,2
Standardabweichung	±7,5	±10,9
SOFA	4,8	3,6
Standardabweichung	±1,7	±2,9

Tabelle 3: Maßzahlen zum Patientenzustand und klinischem Verlauf

APACHE: Acute Physiology And Chronic Health Evaluation, Verfahren zur Vorhersage der Überlebenswahrscheinlichkeit von Patienten einer Intensivstation; ASA: American Society of Anesthesiologists Physical Status Classification, Klassifikation zur Abschätzung des perioperativen Risikos [Klassen 1-4, Klassen 5 und 6 werden bei der Berechnung zu Klasse 4 gezählt, siehe Formel 3]; SAPS II: Simplified Acute Physiology Score, Maßzahl für den physiologischen Zustand eines Patienten; SOFA: Sepsis-related organ failure assessment score, Maßzahl zur Beurteilung des Organversagens bei Sepsis; Berechnung siehe 7.3

Bei der statistischen Analyse wird deutlich, dass der APACHE-Score der Patienten im Vergleich zur Aufnahme auf der interdisziplinären operativen Intensivstation verbessert wurde ($p < 0,01$). Der SAPS II zeigte einen niedrigeren Punktwert und folglich ebenfalls eine Verbesserung des physiologischen Zustandes der Patienten ($p < 0,01$). Der SOFA-Score war im Verlauf (im Vergleich zur Aufnahme) signifikant verringert ($p < 0,01$). Die ASA-Klassifikation bei Aufnahme und im Verlauf war nicht signifikant verändert.

4.1.2 Operative Eingriffe

Auf der interdisziplinären operativen Intensivstation werden hauptsächlich chirurgische Intensivpatienten behandelt. Lediglich 1 Patient (5,6 %) wurde ohne chirurgischen Eingriff in die Studie eingeschlossen. Im Rahmen dieser Studie wurden an ihm 5 Untersuchungen (2,3 %) durchgeführt. An den weiteren 17 Patienten (94,4 %) wurde während ihrer Hospitalisierung am Universitätsklinikum des Saarlandes zumindest ein operativer Eingriff vorgenommen. An ihnen wurden 212 US-Untersuchungen (97,7 %) durchgeführt. Die zuständigen Fachabteilungen sind in Tabelle 4 dargestellt:

Fachrichtung	Anzahl der Untersuchungen		Anzahl der Patienten	
Allgemeinchirurgie	120	(55,3 %)	7	(38,9 %)
Unfallchirurgie	32	(14,7 %)	3	(16,7 %)
Mund-, Kiefer- & Gesichtschirurgie	32	(14,7 %)	3	(16,7 %)
Neurochirurgie	11	(5,0 %)	1	(5,6 %)

Orthopädie	9	(4,1 %)	1	(5,6 %)
Dermatologie	5	(2,3 %)	1	(5,6 %)
Urologie	5	(2,3 %)	1	(5,6 %)
Gynäkologie	3	(1,4 %)	1	(5,6 %)
Gesamt	217	(100,0 %)	18	(100,0 %)

Tabelle 4: Anzahl der Untersuchungen und Patienten nach Fachabteilungen

Durchschnittlich wurde jeder Patient $2,2 \pm 2,0$ Mal operiert. Die meisten operativen Eingriffe waren bei einem Patienten mit 9 OPs zu verzeichnen. Bei 10 Patienten (55,6 %) wurde nur ein operativer Eingriff durchgeführt. Insgesamt wurden 3 Oberbauch- und 5 thorakal-abdominelle Eingriffe, 1 Pankreas- und 1 Dünndarm-OP, 7 Eingriffe an Extremitäten und 9 im Kopf-Hals-Bereich erfasst. Eingriffe an Leber, Kolon, Magen und Whipple-OPs wurden nicht am Patientenkollektiv durchgeführt. Zusätzlich wurden 12 „sonstige Eingriffe“ dokumentiert.

Bei den operativ versorgten Patienten ist die EN im Mittel am postoperativen Tag 11 ± 10 gestartet worden. Die erste Messung fand durchschnittlich am 2. Tag (± 3) nach Beginn der EN statt. Sie wurde im Durchschnitt am postoperativen Tag 19 ± 12 der initialen OP und am postoperativen Tag 14 ± 11 der zuletzt erfolgten OP durchgeführt.

4.1.3 Medikation

Die eingenommenen Medikamente der Patienten am Untersuchungstag sind bei jeder US-Untersuchung erfasst worden. In 29 Fällen (13,4 %) wurde die Einnahme von Noradrenalin, in 4 Fällen (1,8 %) von Vasopressin dokumentiert. Bei 5,0 % ($n = 11$) ist die Applikation von Remifentanyl und bei 3,2 % ($n = 7$) von Propofol erfolgt. Isofluran wurde in 5 Fällen (2,3 %) und Midazolam in 10 Fällen (4,6 %) verabreicht. Keiner der Patienten erhielt an einem der Untersuchungstage Dobutamin oder Sufentanyl.

4.2 Labor- und Vitalparameter

Die Laborparameter wurden vor jeder Messung dokumentiert. Die durchschnittlichen Werte und Verfügbarkeiten der Laborparameter sind in Tabelle 5 dargestellt.

	Laborparameter	Verfügbarkeit (insgesamt 217 Untersuchungen)
Entzündungsparameter		
Leukozyten	$12,9 \times 10^9 / l$	215 (99,1 %)
Standardabweichung	$\pm 8,3$	
C-reaktives Protein (CRP)	119,0 mg / l	214 (98,6 %)
Standardabweichung	$\pm 96,6$	
Procalcitonin (PCT)	6,0 $\mu g / l$	213 (98,2 %)
Standardabweichung	$\pm 23,0$	
Arterielle Blutgasanalyse		
pH-Wert	7,44	167 (77,0 %)
Standardabweichung	$\pm 0,05$	
Kohlendioxidpartialdruck (paCO₂)	39,4 mmHg	166 (76,5 %)
Standardabweichung	$\pm 6,5$	

Sauerstoffpartialdruck (paO₂)	97,4 mmHg	167	(77,0 %)
Standardabweichung	±25,1		
Sauerstoffsättigung (saO₂)	96,9 %	167	(77,0 %)
Standardabweichung	±2,4		
Hämoglobin-Wert (Hb)	8,5 g / dl	167	(77,0 %)
Standardabweichung	±1,1		
Glukose (Glu)	160,3 mg / dl	171	(78,8 %)
Standardabweichung	±38,0		
Basenabweichung (BE)	2,3 mmol / l	166	(76,5 %)
Standardabweichung	±4,2		
Weitere Laborparameter			
Kreatinin	1,4 mg / dl	213	(98,2 %)
Standardabweichung	±1,0		
Harnstoff	71,0 mg / dl	215	(99,1 %)
Standardabweichung	±42,9		
Kalium	4,3 mmol / l	171	(78,8 %)
Standardabweichung	±0,4		

Tabelle 5: Ergebnisse der erfassten Laborparameter

Weiterhin wurden die Vitalparameter der Patienten vor den US-Untersuchungen erfasst. Die Durchschnittswerte sind in folgender Tabelle 6 abgebildet:

	Vitalparameter	Verfügbarkeit (insgesamt 217 Untersuchungen)	
Blutdruck (RR)			
Systolischer Blutdruck	119,9 mmHg	212	(97,7 %)
Standardabweichung	±22,3		
Diastolischer Blutdruck	55,8 mmHg	212	(97,7 %)
Standardabweichung	±13,2		
Arterieller Mitteldruck	76,3 mmHg	212	(97,7 %)
Standardabweichung	±13,8		
Herzfrequenz (HF)	81,8 / min	217	(100,0 %)
Standardabweichung	±18,5		
Sauerstoffsättigung (S_pO₂)	96,0 %	217	(100,0 %)
Standardabweichung	±3,6		
Körpertemperatur	37,4 ° C	203	(93,5 %)
Standardabweichung	±0,8		

Tabelle 6: Ergebnisse der erfassten Vitalparameter

Die 212 Blutdruck-Messungen wurden zu 78,3 % invasiv (n = 166) und zu 21,7 % nicht-invasiv (n = 46) durchgeführt.

4.3 Ernährung

163 Untersuchungen (75,1 %) fanden unter laufender Ernährungstherapie statt. Bei den restlichen 54 Untersuchungen (24,9 %) war die Ernährungszufuhr während der Messung unterbrochen, beispielsweise im Rahmen der einstündigen Ernährungspause nach SOP oder bei kurz zuvor erfolgter Körperpflege. Das transfundierte Ernährungsprodukt wurde zum Zeitpunkt der Messung dokumentiert. Neben den in der SOP festgeschriebenen Standardpräparaten

Fresubin® original fibre und Fresubin® energy fibre wurden die Patienten mit den Produkten Fresubin® 2 kcal HP und Fresubin® HP energy (ebenfalls Fa. Fresenius Kabi) ernährt. Die Eigenschaften und die Häufigkeit der Verwendung der Ernährungsprodukte zum Untersuchungszeitpunkt sind in nachfolgender Tabelle dargestellt:

Produkt: Fresubin®	Kalorien	Ballast- stoffe	Eiweiß	Verwendung zum Un- tersuchungszeitpunkt	
original fibre isokalorisch mit Ballaststoffen eiweißarm	1,0 kcal / ml	1,5 g / 100 ml	3,8 g / 100 ml	32	(19,6 %)
energy fibre hochkalorisch mit Ballaststoffen eiweißarm	1,5 kcal / ml	1,1 g / 100 ml	3,8 g / 100 ml	48	(29,4 %)
2 kcal HP hochkalorisch ohne Ballaststoffe eiweißreich	2,0 kcal / ml	0,0 g / 100 ml	10,0 g / 100 ml	72	(44,2 %)
HP energy hochkalorisch ohne Ballaststoffe eiweißreich	1,5 kcal / ml	0,0 g / 100 ml	7,5 g / 100 ml	11	(6,7 %)
Gesamt				163	(100,0 %)

Tabelle 7: Eigenschaften [32] und Verwendung der Ernährungsprodukte zum Untersuchungszeitpunkt

Neben dem Ernährungspräparat wurde die Laufgeschwindigkeit der EN zum Zeitpunkt der Untersuchung dokumentiert. Weiterhin sind die durchschnittliche Laufrate und die kumulative Gesamtmenge der zugeführten Ernährung zwischen der aktuellen und der zuletzt erfolgten US-Untersuchung berechnet worden. Die durchschnittliche Zeit zwischen den Messungen betrug $13,8 \pm 9,8$ h.

Produkt: Fresubin®	Lauf- rate zum Zeitpunkt der Untersuchung	Ø Lauf- rate seit der letzten Untersuchung	Gesamtmenge seit der letzten Untersuchung
original fibre	41,4 ml / h	38,5 ml / h	507,5 ml
Standardabweichung	$\pm 22,1$ ml / h	$\pm 19,1$ ml / h	$\pm 336,8$ ml
energy fibre	34,6 ml / h	34,9 ml / h	421,0 ml
Standardabweichung	$\pm 17,3$ ml / h	$\pm 13,6$ ml / h	$\pm 204,8$ ml
2 kcal HP	33,4 ml / h	32,9 ml / h	463,5 ml
Standardabweichung	$\pm 13,8$ ml / h	$\pm 9,8$ ml / h	$\pm 413,3$ ml
HP energy	42,0 ml / h	39,3 ml / h	461,1 ml
Standardabweichung	$\pm 0,0$ ml / h	$\pm 3,7$ ml / h	$\pm 64,6$ ml
Gesamt	36,0 ml / h	35,1 ml / h	460,0 ml
Standardabweichung	$\pm 16,9$ ml / h	$\pm 13,4$ ml / h	$\pm 334,0$ ml

Tabelle 8: Laufrate der EN zum Zeitpunkt der Untersuchung, Durchschnittslaufrate seit der letzten Untersuchung und kumulative Gesamtmenge seit der letzten Untersuchung

Lediglich in 1 Fall (0,5 %) wurde in der Zeit zwischen zwei Untersuchungen Erbrechen dokumentiert. In 27 Fällen (12,4 %) wurde von den Patienten zusätzlich zur EN selbständig oder

durch Hilfe der Pflegekräfte oral Nahrung aufgenommen. Hierbei handelte es sich in den meisten Fällen (n = 25) um flüssige Nahrungsmittel wie Suppe, Brei oder Joghurt und in 2 Fällen um feste Nahrungsmittel (Brot/Brötchen).

4.4 Ultraschalluntersuchungen

4.4.1 Durchführbarkeit der Messungen

Die Durchführung der US-Untersuchung war unabhängig von Vorerkrankungen, der Ernährungsweise oder dem Zustand der Patienten in allen 217 Fällen möglich. Im Rahmen dieser reinen Beobachtungsstudie wurden keine ärztlichen Untersuchungen oder pflegerische Tätigkeiten verzögert. Die Patienten mussten insbesondere nicht auf die Messungen vorbereitet werden, wie beispielsweise durch Änderung/Pausierung der EN, durch Anpassung der Beatmung oder der Medikation. Der Ablauf der Untersuchung konnte so problemlos in den klinischen Alltag auf der interdisziplinären operativen Intensivstation integriert werden.

Vor Beginn der Studie nahm der Autor der Dissertation an der Ersteinweisung des US-Gerätes iViz (Fa. Sonosite) durch den Hersteller teil. Die Bedienung des Gerätes war prinzipiell auch intuitiv möglich. In 5 Fällen (2,3 %) kam es zur kurzzeitigen Überhitzung des Gerätes, sodass die Untersuchung erst nach Herunterfahren und einer Wartezeit von 3-5 min fortgeführt werden konnte. In 9 Fällen (4,1 %) waren aufgrund unbekannter technischer Fehler keine zuverlässigen Messungen möglich. Nach einem Neustart des Gerätes konnten dennoch alle US-Untersuchungen vollständig abgeschlossen werden. Die Batterieleistung hing von zahlreichen Faktoren ab. Im standardmäßig verwendeten 2D-Scan-Modus mit normaler Bildschirmhelligkeit war eine Nutzungsdauer bis zu 1 h möglich. Der Ladevorgang fand entweder mit dem mitgelieferten externen Batterie-Ladegerät oder mit dem USB-Ladekabel (bei eingelegerter Batterie im System) statt. Das US-Gerät konnte keine Scan-Funktionen ausführen, während es am Ladegerät angeschlossen war. Die genannten Fehlerquellen wurden durch den Autor der Studie an den Hersteller übermittelt.

4.4.2 Ergebnisse der Ultraschalluntersuchungen

Wie bereits im Vorfeld beschrieben, wurden die US-Untersuchungen an jedem Patienten zweimal täglich bis zur Beendigung der EN, ihrer Verlegung oder Tod durchgeführt. Eine Untersuchung bestand aus drei Messungen. Aus diesen wurden die Durchschnittswerte und daraus die CSA [62] und das Magenvolumen [12, 63] berechnet. In Abbildung 4 sind als Kastengrafiken („Boxplots“) alle gemessenen Werte für die CSA (in cm^2) und die Magenvolumina (in ml und ml / kg KG) visualisiert:

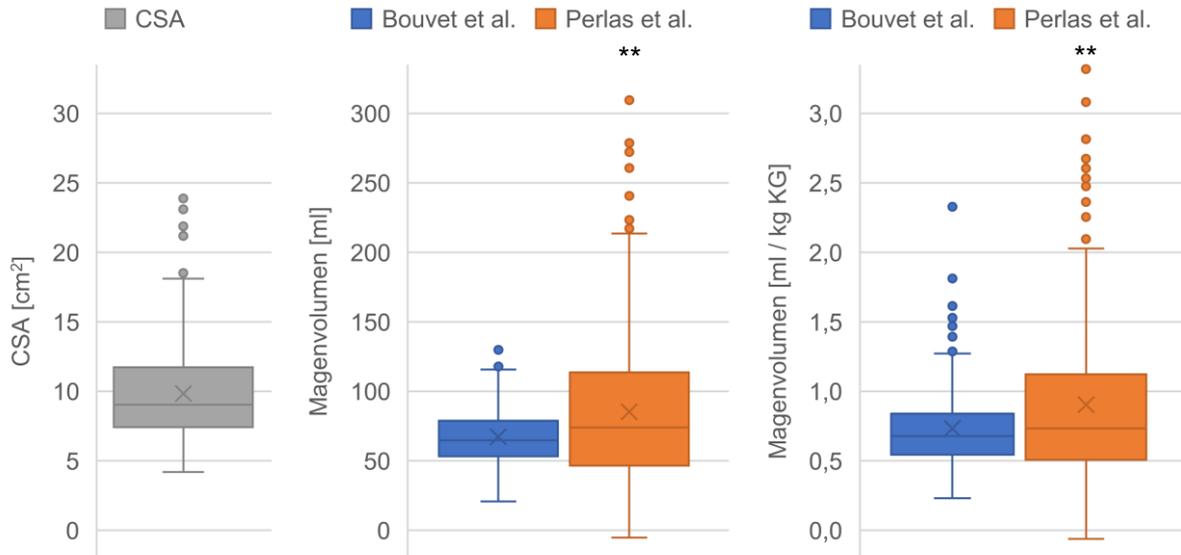


Abbildung 4: Messergebnisse der CSA in cm^2 sowie der Magenvolumina (berechnet nach Bouvet et al. (Formel für Messungen in Rückenlage) [12] und zur Gegenüberstellung nach Perlas et al. (Formel für Messungen in Rechtsseitenlage) [63]) in ml und ml / kg KG, ** $p < 0,01$

Die durchschnittliche CSA betrug $9,9 \pm 3,6 \text{ cm}^2$. Das Magenvolumen wurde nach Bouvet et al. [12] auf $67,4 \pm 21,3 \text{ ml}$ bzw. $0,73 \pm 0,30 \text{ ml / kg KG}$ berechnet. Das Magenvolumen nach Perlas et al. [63] ($85,2 \pm 55,5 \text{ ml}$ bzw. $0,90 \pm 0,61 \text{ ml / kg KG}$) wurde nur zur Gegenüberstellung errechnet und war signifikant größer ($p < 0,01$). Da die US-Untersuchungen ausschließlich in Rückenlage stattfanden, ist in vorliegender Arbeit das Magenvolumen nach Bouvet et al. für weitere Betrachtungen verwendet worden. Um den longitudinalen Verlauf darzustellen, wurde die jeweils erste US-Messung der enteral ernährten Patienten mit der zuletzt durchgeführten Messung hinsichtlich des Magenvolumens in ml / kg KG verglichen:

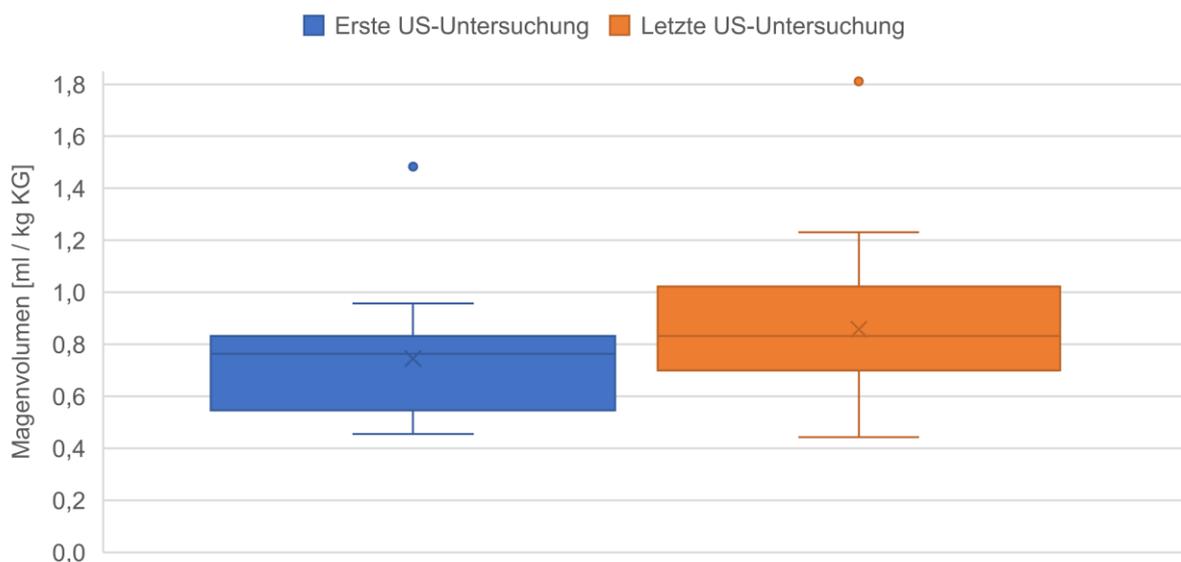


Abbildung 5: Boxplots der Magenvolumina in ml / kg KG bei erster und letzter US-Untersuchung

Obwohl der Vergleich keinen signifikanten Unterschied ergab ($p = 0,07$), ist als Tendenz erkennbar, dass das errechnete gastrale Volumen bei der letzten Messung ($0,86 \pm 0,33$ ml / kg KG), unabhängig von der Gesamtzahl der Untersuchungen, größer war als bei der ersten Untersuchung ($0,74 \pm 0,25$ ml / kg KG).

In folgender Abbildung 6 sind die Magenvolumina in ml / kg KG im Untersuchungsverlauf dargestellt. Auf der Abszisse sind die Untersuchungsnummern aufgetragen:

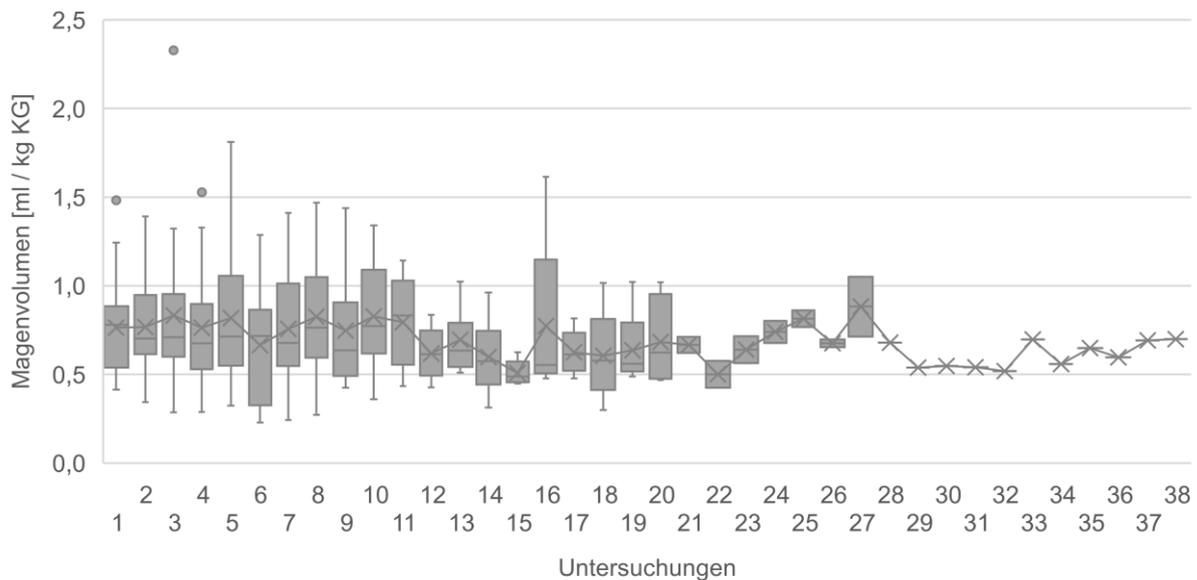


Abbildung 6: Boxplots der Magenvolumina in ml / kg KG im Verlauf der Untersuchungen

Bei der Mehrheit der Untersuchungen (66,4 %, $n = 144$) lag das berechnete Magenvolumen zwischen 0,5 und 1,0 ml / kg KG. Die Mittelwerte der Magenvolumina je Untersuchungstag sind durch eine Linie verbunden. Hierbei zeigte sich bei gemeinsamer Betrachtung aller Messungen im Verlauf keine insgesamt Zunahme des Magenvolumens, wie sie als Tendenz in vorangegangener Abbildung 5 bei einzelner Betrachtung der Erst- und Letztmessung je Patienten gezeigt werden konnte.

Weiterhin wurden die Messergebnisse der Morgen- (06:00 Uhr bis 10:00 Uhr) und Abendmessungen (16:00 Uhr bis 20:00 Uhr) auf einen Unterschied hinsichtlich des gemessenen Residualvolumens untersucht:

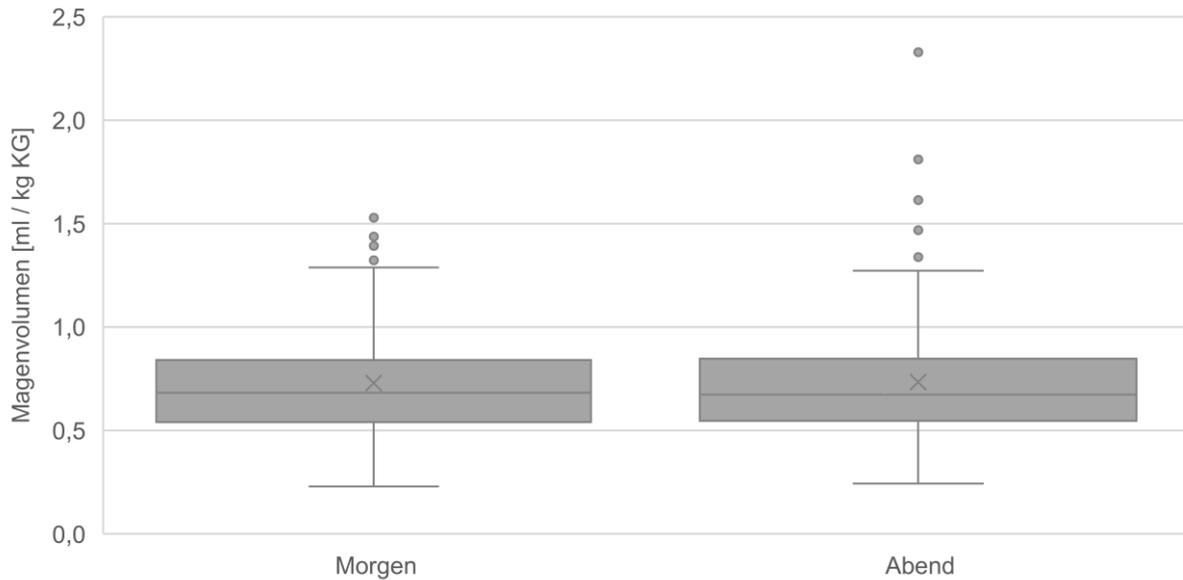


Abbildung 7: Boxplots der Magenvolumina in ml / kg KG bei Morgen- und Abendmessungen

Die Mittelwerte sind hier beinahe identisch (Morgenmessung: $0,73 \pm 0,27$ ml / kg KG, Abendmessung: $0,73 \pm 0,33$ ml / kg KG), sodass bei hier bestehender kontinuierlicher Ernährungsweise von konstanten Magenvolumina am Morgen und am Abend ausgegangen werden kann.

4.4.3 Befunde der Auskultation und der Verdauung

Vor jeder Untersuchung wurden die Darmgeräusche auskultiert und in die Kategorien spärlich/normal/rege einsortiert. Bei 51,2 % der Untersuchungen ($n = 111$) wurden normale Darmgeräusche auskultiert. Spärliche Darmgeräusche sind bei 13,8 % der Untersuchungen ($n = 30$) und rege Darmgeräusche bei 35,0 % der Untersuchungen ($n = 76$) festgestellt worden.

Der Stuhlgang der Patienten wurde im Zeitraum zwischen der aktuellen Messung und der zuletzt erfolgten Untersuchung dokumentiert. Bei 44,7 % der Untersuchungen ($n = 97$) ist beim Patienten kein Stuhlgang seit der letzten Messung erfolgt. Bei 0,9 % ($n = 2$) wurde fester, bei 12,0 % ($n = 26$) breiiger Stuhlgang dokumentiert. Flüssig-breiiger (6,5 %, $n = 14$) und flüssiger (35,0 %, $n = 76$) Stuhlgang waren insgesamt am häufigsten. In 2 Fällen (0,9 %) wurden Schwenkeinläufe durchgeführt.

4.4.4 Vergleich der Messergebnisse mit der Ernährungsweise

Die Magenvolumina in ml / kg KG können in Bezug auf die Laufrate der EN betrachtet werden. Hierzu wurde in Abbildung 8 die Laufgeschwindigkeit auf der Abszisse in 20 ml / h Abständen gruppiert:

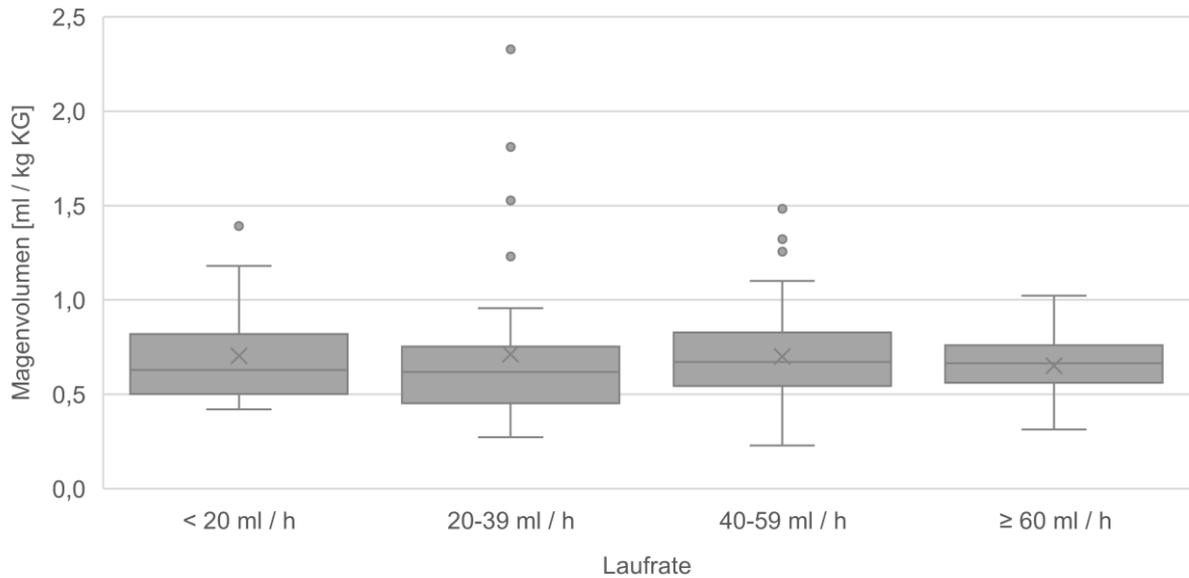


Abbildung 8: Boxplots der Magenvolumina in ml / kg KG bei Laufraten der EN gruppiert in 20 ml / h Abständen

Beim Vergleich wird deutlich, dass die Mittelwerte der einzelnen Gruppen ähnlich sind (< 20 ml / h: $0,70 \pm 0,25$ ml / kg KG; 20-39 ml / h: $0,71 \pm 0,43$ ml / kg KG; 40-59 ml / h: $0,65 \pm 0,15$ ml / kg KG). Bei ausschließlicher Betrachtung unterschiedlicher Laufraten wurde folglich keine Auswirkung auf das Magenvolumen beobachtet.

Die Messergebnisse für das Magenvolumen in ml / kg KG wurden in vorliegender Abbildung 9 nach dem verwendeten Ernährungsprodukt gruppiert.

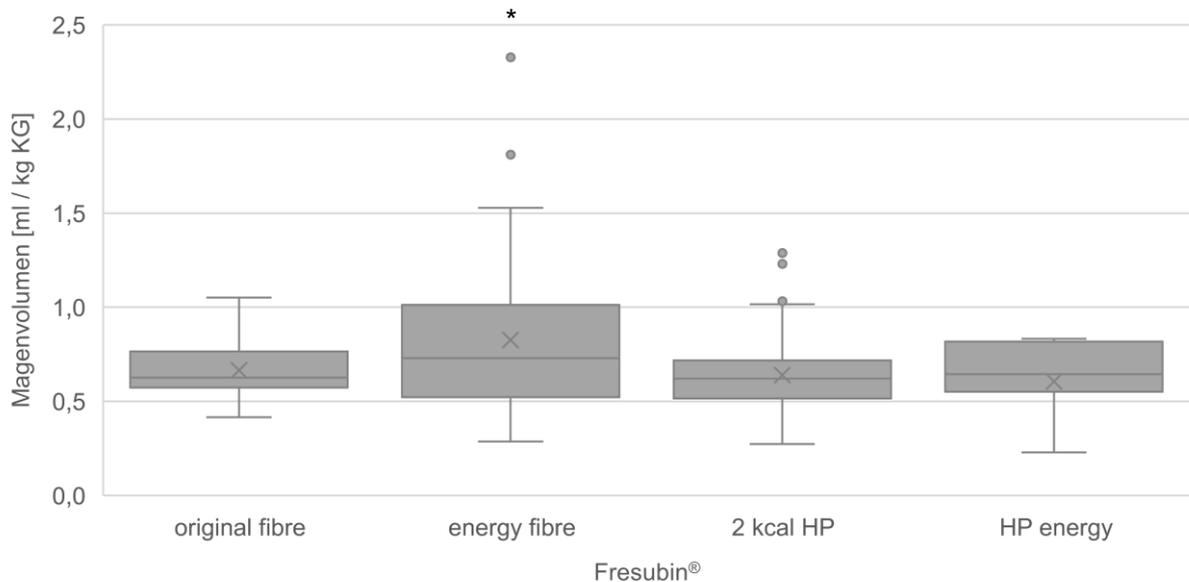


Abbildung 9: Boxplots der Magenvolumina in ml / kg KG nach verwendetem Ernährungsprodukt, * $p < 0,05$

Wurde der Patient mit dem in der SOP festgeschriebenen Standardprodukt Fresubin® original fibre ernährt, so lag das Magenvolumen im Mittel bei $0,66 \pm 0,15$ ml / kg KG. Beim zweiten

Standardprodukt Fresubin® energy fibre wurde im Durchschnitt ein Magenvolumen von $0,83 \pm 0,40$ ml / kg KG gemessen. Werden beide Standardprodukte miteinander verglichen, ist bei Verwendung des hochkalorischen Ernährungspräparats Fresubin® energy fibre das Magenvolumen signifikant größer ($p = 0,02$). Die beiden weiteren Produkte Fresubin® 2 kcal HP und Fresubin® HP energy zeigen im Blick auf das Magenvolumen einen ähnlichen Mittelwert (2 kcal HP: $0,64 \pm 0,22$ ml / kg KG; HP energy: $0,61 \pm 0,20$ ml / kg KG).

4.4.5 Vergleich der Messergebnisse mit dem Auskultationsbefund

Die Gruppierung der Magenvolumina in ml / kg KG nach dem Auskultationsbefund (normal/rege/spärlich) ist anhand von Boxplots in Abbildung 10 dargestellt:

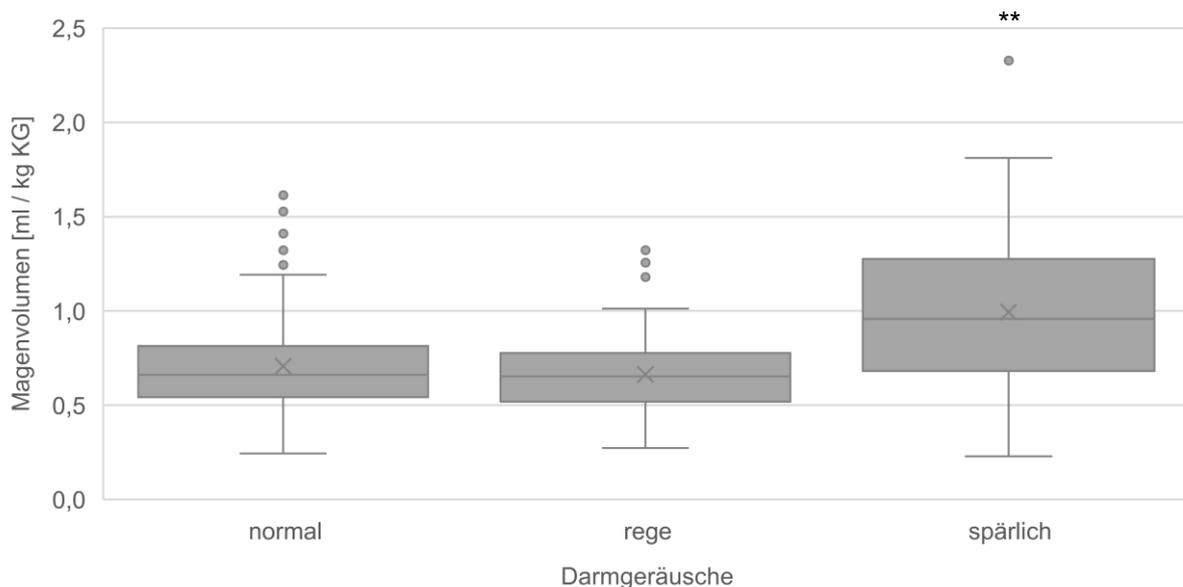


Abbildung 10: Boxplots der Magenvolumina in ml / kg KG nach Auskultationsbefund der Darmgeräusche, ** $p < 0,01$

Hierbei wird deutlich, dass das Magenvolumen bei normalen ($0,71 \pm 0,26$ ml / kg KG) und regen ($0,66 \pm 0,22$ ml / kg KG) Darmgeräuschen ähnlich ist. Bei spärlichen ($0,99 \pm 0,43$) Darmgeräuschen ist das Magenvolumen jedoch gegenüber dem Normalbefund ($p < 0,01$) und den regen Darmgeräuschen ($p < 0,01$) signifikant vergrößert.

4.4.6 Vergleich der Messergebnisse mit den Beatmungsparametern

Da bei der maschinellen Beatmung andere intrathorakale und -abdominelle Drücke als bei der physiologischen Spontanatmung herrschen, wurde der Einfluss des Beatmungsmodus auf das Magenvolumen betrachtet. In Abbildung 11 sind die gemessenen Magenvolumina in ml / kg KG nach Beatmungsmodus (Spontanatmung, BiPAP oder CPAP/ASB) aufgetragen:

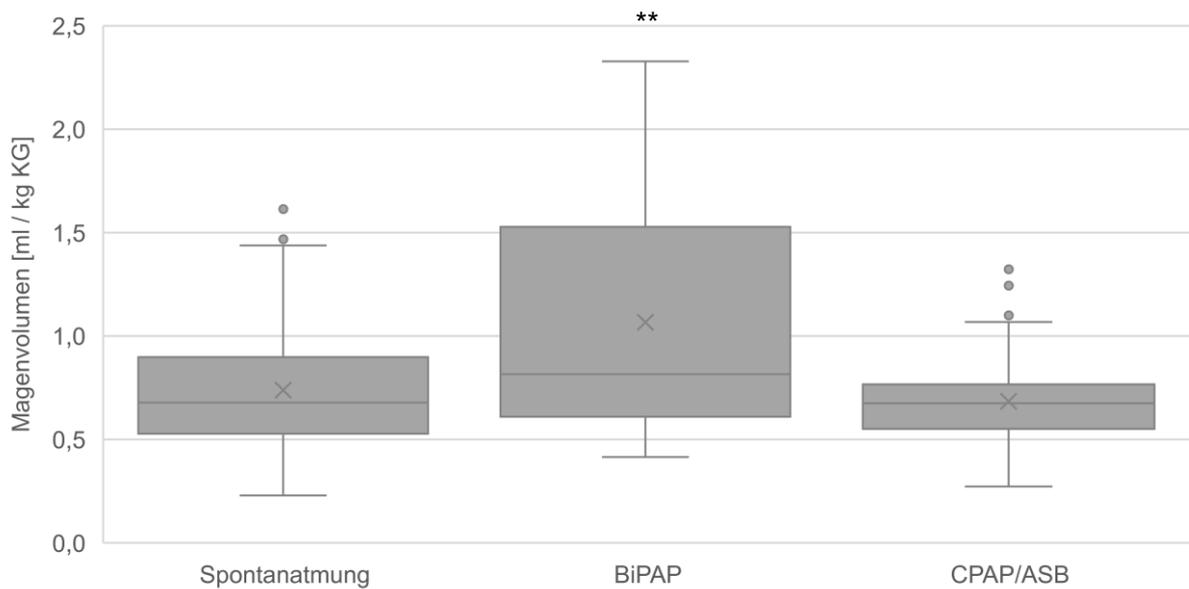


Abbildung 11: Boxplots der Magenvolumina in ml / kg KG nach Beatmungsform, ** $p < 0,01$

Bei der CPAP/ASB-Beatmung ($0,68 \pm 0,22$ ml / kg KG) und der Spontanatmung ($0,74 \pm 0,30$ ml / kg KG) ist ein ähnliches Magenvolumen festgestellt worden. Obwohl das Magenvolumen bei der BiPAP-Beatmung ($1,07 \pm 0,62$ ml / kg KG) im Vergleich zur Spontanatmung signifikant erhöht war ($p < 0,01$), muss das Ergebnis aufgrund der niedrigen Untersuchungszahlen (BiPAP-Beatmung: $n = 11$, Spontanatmung: $n = 112$, siehe 4.1.1) mit Vorbehalten betrachtet werden. Bei den maschinell beatmeten Patienten wurde zudem auf einen Zusammenhang zwischen dem VT und dem Magenvolumen hin untersucht. In Abbildung 12 ist auf der Abszisse das VT in ml / kg KG aufgetragen und wurde mit dem auf der Ordinate aufgetragenem Magenvolumen in ml / kg KG verglichen:

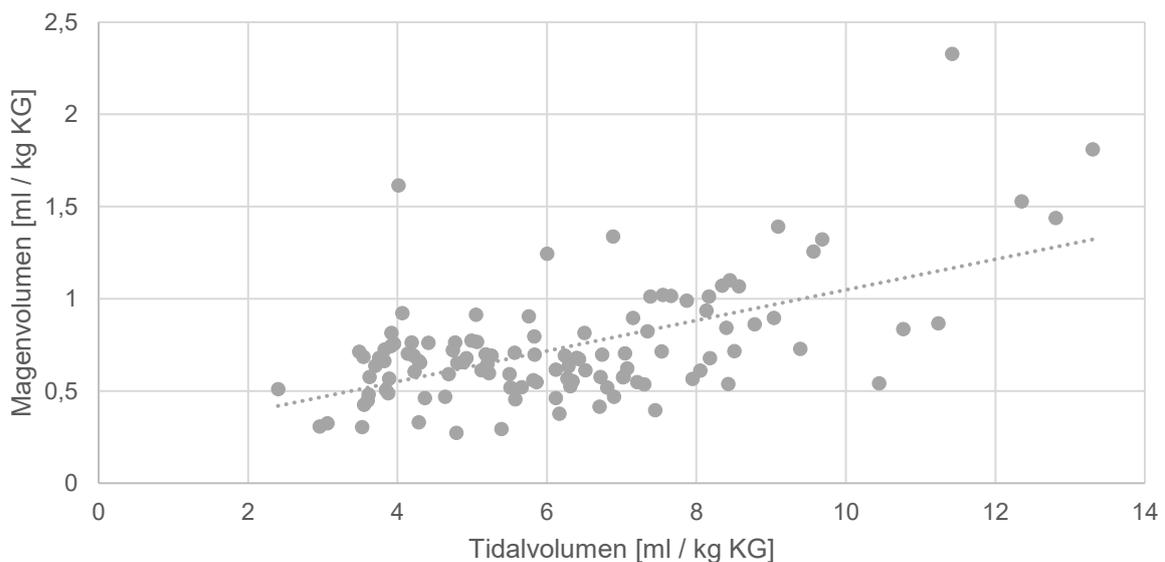


Abbildung 12: Zusammenhang des Magenvolumens und des Tidalvolumens im Punktdiagramm (Pearson $r = 0,582$, $p < 0,01$)

Der Korrelationskoeffizient nach Pearson beträgt hier $r = 0,582$ ($p < 0,01$), sodass von einer positiven Korrelation ausgegangen werden kann. Somit ist bei höheren Tidalvolumina auch ein größeres Magenvolumen im Ultraschall gemessen worden.

5 Diskussion

Dies ist die erste Studie zum ultraschallgestützten Monitoring des gastralen Residualvolumens im Rahmen der EN im engmaschigen longitudinalen Verlauf. Dabei konnte gezeigt werden, dass das Magenvolumen bei Morgen- und Abendmessungen nicht unterschiedlich war, beim Vergleich der ersten und letzten US-Untersuchung der einzelnen Patienten jedoch eine Tendenz zum vergrößerten Magenvolumen bestand ($p = 0,07$). Dabei sind die Abläufe der klinischen Versorgung in keinem der Fälle unterbrochen worden.

Die vor der US-Untersuchung auskultierten Darmgeräusche wurden in die Kategorien spärlich, normal und rege gruppiert und mit dem Magenvolumen verglichen. Dabei konnte gezeigt werden, dass das Magenvolumen bei spärlichen signifikant größer war als bei normalen und regen Darmgeräuschen ($p < 0,01$).

Weiterhin wurde festgestellt, dass bei Verwendung des Ernährungsproduktes Fresubin® energy fibre ein signifikant größeres Magenvolumen im Vergleich zu Fresubin® original fibre vorlag ($p = 0,02$).

Beim Vergleich der Beatmungsparameter mit dem Magenvolumen wurde beobachtet, dass bei BiPAP-Beatmung ein signifikant größeres Magenvolumen als bei CPAP/ASB-Beatmung und Spontanatmung vorlag ($p < 0,01$). Weiterhin konnte eine positive Korrelation zwischen dem Magenvolumen und dem VT festgestellt werden (Pearson $r = 0,582$, $p < 0,01$).

5.1 Bewertung der Bestimmung der Magenvolumina

Die Überwachung des Magenvolumens von Intensivpatienten wird in den aktuellen, gemeinsamen Leitlinien mit niedrigem Evidenzgrad der SCCM und der ASPEN nicht mehr empfohlen. Als wichtigster Grund wird hierbei angeführt, dass für die Bestimmung des Residualvolumens mit den gängigen Methoden (siehe 2.3) die EN unterbrochen werden muss. Sowohl bei den radiologischen Untersuchungsverfahren als auch bei der Messung des Magensekrets und dem Refluxtest muss die EN pausiert werden. Da diese in den meisten Fällen kontinuierlich verabreicht wird, fehlt durch die Unterbrechungszeit eine signifikante Menge an infundiertem Ernährungsprodukt. [56, 65]

Die verabreichte Nahrungsmenge hängt aber direkt mit der Prognose der Erkrankung und dem Verlauf des Aufenthaltes auf der Intensivstation ab. Muss die EN nicht aufgrund einer routinemäßigen Überwachung des gastralen Residualvolumens gestoppt werden, so kann der täglich verordnete Nährstoffbedarf besser gedeckt werden. [18, 65, 92]

Die Aussagekraft der Messung des Magenvolumens auf Intensivstationen ist umstritten. Eine eindeutige Signifikanz zur Reduzierung von Aspirationspneumonien konnte in einigen Studien nicht bewiesen werden [10, 29, 55, 65, 67], ein geringeres Auftreten von Erbrechen bei

niedrigeren Residualvolumina hingegen schon [67, 91]. Die ESPEN hält es daher in ihrer Leitlinie von 2019 für sinnvoll, das gastrale Residualvolumen zur Erkennung von Intoleranzen gegen die EN weiterhin heranzuziehen [75]. Eine wichtige Rolle spielt dabei auch der Grenzwert des Magenvolumens, ab welchem die Ernährungstherapie umgestellt bzw. abgebrochen wird. Wird dieser zu niedrig festgelegt, erhält der Patient unter Umständen zu wenige Nährstoffe, obwohl kein erhöhtes Aspirationsrisiko besteht [58].

Es muss also abgewogen werden, ob eine Unterbrechung der EN die Kontrolle des gastralen Volumens rechtfertigt. Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass bei vergrößertem Residualvolumina die Reduzierung bzw. der Abbruch der EN einerseits ein Risiko in Hinblick auf die verminderte Nährstoffzufuhr darstellt, andererseits aber auch einen Schutz vor Erbrechen bietet. Grundsätzlich ist die Kontrolle des Magenvolumens also sinnvoll, wenn dabei die kontinuierliche Ernährungszufuhr sichergestellt werden kann. Ein dafür geeignetes Instrument ist der gastrale US.

5.2 Verwendung miniaturisierter Ultraschallgeräte

Ein großer Vorteil der gastralen Sonographie ist, dass für die Messung des Magenvolumens die EN nicht unterbrochen werden muss, wie auch in dieser Studie gezeigt werden konnte (siehe 4.3). So kann zumindest der Ausfall der infundierten Nahrungsmenge während der Untersuchung vermieden werden [19]. Die Ergebnisse des gastralen US korrelieren mit den gängigen Verfahren zur Überwachung des Magenvolumens [15, 59, 61, 73], insbesondere mit dem passiven Refluxtest [76]. Die Messungen sind auch bei adipösen [46, 85, 86], schwangeren [3] bzw. entbindenden [7] und kritisch kranken [37, 96] Patienten durchführbar.

Wie bereits einführend beschrieben, ist neben der quantitativen Messung auch eine qualitative Einschätzung des Magenvolumens möglich [45, 64, 88]. Dadurch kann vor operativen Eingriffen abgeschätzt werden, ob die Nahrungskarenz hinreichend war oder ein Aspirationsrisiko durch feste Nahrungsbestandteile besteht [1, 87]. Trotz eingehaltener Nahrungskarenz von 6-10 h kann ein voller Magen und damit ein Risiko vorliegen [39, 74], insbesondere bei Patienten mit verlangsamer Magenentleerung [84, 95] oder bei Notfalloperationen [13, 84].

Neben den standardmäßig verwendeten US-Systemen können auch mobile, miniaturisierte Geräte verwendet werden. Diese kamen bereits in den 1970er Jahren auf den Markt [51, 72] und werden heute als ein natürlicher technischer Fortschritt angesehen. Sie gewannen in den vergangenen Jahren zunehmend an Bedeutung [57]. Durch den Wegfall von Bildschirm und Tastatur sowie weiterer Verarbeitungshardware sind Platz- und Kostenersparnis möglich [40]. Die Geräte können aufgrund geringerer Größe und Gewicht sowie der Zeitersparnis im Auf- und Abbau und in der Untersuchungszeit [80] nicht nur leichter im stationären Umfeld

eingesetzt werden, sondern stehen auch für neue Umgebungen, beispielsweise bei Hausbesuchen oder in der Notfallmedizin zur Verfügung.

In der Literatur beschrieben ist der Einsatz miniaturisierter US-Geräte bei kardiologischen Untersuchungen wie der Echokardiographie, bei der Kontrolle nach Pleura- und Perikardergüssen in der Notfall- und Intensivmedizin sowie bei Harnverhalt und Harnsteinen. Anwendung finden die „Pocket devices“ auch in gastroenterologischen Untersuchungen, insbesondere bei Aszites, Gallensteinen, Splenomegalien und abdominalen Aortenaneurysmen. [22]

Der gastrale US mit miniaturisierten Geräten ist hingegen bisher nur in zwei Studien dargestellt worden. Kaydu und Gokceket (2018) untersuchten bei 120 Patienten das Magenvolumen in Verbindung mit der Dauer der Nahrungskarenz vor Narkoseeinleitungen [39]. Dabei wurde das Magenvolumen der Patienten einmalig direkt vor dem operativen Eingriff mit dem Gerät M-Turbo der Fa. Sonosite bestimmt. Die Messungen fanden, wie auch bei dieser Studie, in Rückenlage statt. Die durchschnittliche CSA der Kohorte betrug $3,4 \pm 2,4 \text{ cm}^2$. Mit zunehmender Dauer der Nahrungskarenz nahm die CSA dort signifikant ab ($r = -0,504$, $p < 0,05$). Die höhere durchschnittliche CSA der Patienten in dieser Studie ($9,9 \pm 3,6 \text{ cm}^2$) könnte darauf beruhen, dass die meisten Patienten bei Kaydu und Gokcek eine Nahrungskarenz von 8 h vor der Narkoseeinleitung und damit auch vor der US-Messung eingehalten haben. Skornik (2018) prüfte die Durchführbarkeit der sonographiegestützten Messung des gastralen Residualvolumens enteral ernährter Intensivpatienten mit dem miniaturisierten US-Gerät V-Scan und verglich die Ergebnisse dabei mit dem Standardgerät Vivid i9 (beide Fa. GE Healthcare) und dem passivem Refluxstest [76]. Die Messergebnisse mit dem „Pocket device“ korrelierten dabei stark positiv mit denen des Standardgeräts ($r = 0,88$, $p < 0,01$) sowie des positiven passiven Refluxstests ($r = 0,63$, $p = 0,03$). Die Messung des gastralen Residualvolumens ist also auch mit miniaturisierten US-Geräten möglich. Die Ergebnisse sind dabei mit den gängigen Verfahren zur Überwachung des Magenvolumens (vgl. 2.3) vergleichbar.

Sowohl Kaydu und Gokceket (2018) als auch Skornik (2018) führten Einzelmessungen an einer Vielzahl verschiedener Patienten durch. Um Erkenntnisse darüber zu erlangen, wie sich das gastrale Volumen im zeitlichen Verlauf des Aufenthalts eines kritisch kranken Patienten auf der Intensivstation verhält, wurden in dieser Studie an 18 Patienten zweimal täglich US-Untersuchungen durchgeführt, solange diese enteral ernährt wurden. So sind insgesamt 217 US-Untersuchungen und damit 651 Einzelmessungen durchgeführt und ausgewertet worden.

5.3 Methodik

Alle Untersuchungen in dieser Studie wurden vom Autor der Dissertation selbst durchgeführt, sodass untersucherbedingte Schwankungen der Messungen ausgeschlossen werden konnten. Um Manipulationen durch die US-Sonde am Abdomen zu vermeiden, fand die

Auskultation der Darmgeräusche vor der US-Untersuchung statt. Die Verlaufparameter sind erst nach der US-Messung aus dem Patientendatenmanagementsystem der Intensivstation rückwirkend zum Zeitpunkt des Untersuchungsbeginns dokumentiert worden, um Messwerte in Ruhe und ohne vorangegangene externe Einflüsse durch die US-Untersuchung zu erhalten. Der Untersucher war also zum Messzeitpunkt hinsichtlich der aktuellen Medikation, der Labor- und Vitalparameter, des Ernährungsstatus sowie weiterer bei jeder Untersuchung dokumentierter Daten verblindet.

Die statistischen Untersuchungen und die Literaturrecherche wurden ebenfalls vom Autor selbst durchgeführt und ausgewertet.

5.4 Durchführbarkeit der Messungen

Bei vorliegender Methodik wurden zur Vermeidung von Messfehlern und -ungenauigkeiten je Untersuchung 3 Einzelmessungen durchgeführt und der Mittelwert dieser Messergebnisse für spätere Berechnungen verwendet. Die Durchführung der US-Untersuchung war in 100 % der Fälle möglich. Da es sich um eine reine Beobachtungsstudie handelt, wurden keine ärztlichen Tätigkeiten oder pflegerische Maßnahmen verzögert und die Untersuchungen konnten gut in den klinischen Ablauf integriert werden. Die Patienten mussten insbesondere nicht auf die Messungen vorbereitet werden. Dadurch kann von hoher klinischer Reproduzierbarkeit ausgegangen werden.

In seltenen Fällen kam es, wie in 4.4.1 beschrieben, zu Gerätefehlern am „Pocket device“. Insbesondere wegen Überhitzung musste das Gerät dann aus- und wieder angeschaltet werden. Nach wenigen Minuten konnte die Messung fortgeführt werden, sodass alle Untersuchungen abgeschlossen werden konnten. Die Fehlermeldungen wurden durch den Autor an die Herstellerfirma (Fa. Sonosite) gemeldet. Dennoch ist es problematisch, dass mit dem verwendeten Gerät im Netzbetrieb keine US-Untersuchungen möglich sind. Zwar hatte dies auf diese Studie keine Auswirkungen, ein dauerhafter Betrieb auf einer Intensivstation würde dadurch allerdings erschwert. Steht bei dem Gerät kein ausreichend geladener Akku zur Verfügung, kann eine Messung erst nach Abwarten der Ladezeit durchgeführt werden.

5.5 Beurteilung der Messergebnisse

Die Messungen wurden alle, wie bereits in 3.3.1 beschrieben, in Rückenlage durchgeführt, wodurch vergleichbare Messergebnisse erzeugt werden konnten. Zur Berechnung des Magenvolumens wurde daher die für in Rückenlage geltende Formel von Bouvet et al. [12] herangezogen. Die für in Rechtsseitenlage gültige Formel von Perlas et al. [63] hätte zu einer Überschätzung des Magenvolumens geführt [14]; die Beobachtungen dieser Studie (siehe 4.4.2) stützen diese Annahme. Die Mittelwerte der Magenvolumina berechnet nach Perlas et

al. ($85,2 \pm 55,5$ ml bzw. $0,90 \pm 0,61$ ml / kg KG) waren signifikant größer ($p < 0,01$) als nach Bouvet et al. ($67,4 \pm 21,3$ ml bzw. $0,73 \pm 0,30$ ml / kg).

Beide Formeln wurden an ähnlichen Patientengruppen validiert. Die Altersspanne wird bei Bouvet et al. mit 18-95 Jahren und bei Perlas et al. mit 18-85 Jahren angegeben. Die Berechnung des Magenvolumens ist bei einer BMI-Grenze von $14-31$ kg / m² (Bouvet et al.) bzw. $19-40$ kg / m² (Perlas et al.) an nicht-schwangeren Erwachsenen möglich. Bouvet et al. konnten mit einem Pearson-Korrelationskoeffizienten von $r = 0,72$ das Magenvolumen bis zu 250 ml berechnen. Als Referenz wurde dafür der Refluxtest angewandt. Die Berechnung nach Perlas et al. ist bis zu einem Volumen von 500 ml möglich ($r = 0,86$), was gastroscopisch bestätigt wurde. Alle Messergebnisse sowie die Patientenkohorte dieser Studie lagen innerhalb der angegebenen Bereiche (siehe 4.1, Tabelle 2 sowie 4.4.2, Abbildung 4). Aus diesem Grund wird davon ausgegangen, dass auch die hier gemessenen Magenvolumina mit dem Refluxtest korrelieren müssten. [12, 63, 86]

Insgesamt wurden – zum Zeitpunkt der Literaturrecherche dieser Arbeit – nahezu gleich viele Studien mit gastralen US-Messungen in Rücken- und Rechtsseitenlage veröffentlicht. Untersuchungen an Kindern und Schwangeren ausgeschlossen, sind 16 Studien [1, 2, 13, 45–47, 62, 63, 74, 76, 84, 85, 87, 88, 95, 96] mit Messungen in Rechtsseitenlage (nach Perlas et al. [63]) und 16 Studien [12, 13, 15, 23, 37, 39, 45–47, 61, 73, 74, 84, 85, 87, 88] mit Messungen in Rückenlage (nach Bouvet et al. [12]) publiziert worden. Dabei wurden bei 9 Studien [13, 45–47, 74, 84, 85, 87, 88] sowohl Messungen in Rücken- als auch in Rechtsseitenlage durchgeführt. Bei Intensivpatienten wurde häufiger auf die Rückenlage zurückgegriffen [15, 73], wohingegen bei präoperativen US-Untersuchungen zur Abschätzung des Aspirationsrisikos bei Narkoseeinleitungen häufiger das Verfahren in Rechtsseitenlage zum Einsatz kam [1, 13, 63, 74, 85, 95]. Ein Vorteil der Rechtsseitenlage ist, dass der Mageninhalt in Richtung des Antrums fließt, was die Darstellbarkeit erleichtert [62]. Dies wird auch als möglicher Grund für die Überschätzung des Magenvolumens angegeben [14]. Der Patient muss außerdem zumeist in die korrekte Position gedreht werden und diese halten können, was bei komplexen, kritisch erkrankten Patienten im Rahmen einer Routineuntersuchung Schwierigkeiten bereiten könnte. Auch bei Wirbelsäulen- oder Extremitätenverletzungen ist eine Messung in Rechtsseitenlage nicht immer möglich. Eine aktuelle Arbeit von Bouvet et al. kommt zu dem Schluss, dass weitere Studien nötig sind, um die optimale Patientenposition für US-Messungen des Magens herauszufinden [14].

Die meisten bisher veröffentlichten Studien zur Messung gastralere Residualvolumina befassten sich also mit der Frage, welche Formel am geeignetsten ist, das Magenvolumen aus der gemessenen CSA zu berechnen, welche Körperpositionen auf die Messung selbst Einfluss haben und wie die Messergebnisse mit gängigen Verfahren wie dem Refluxtest korrelieren [86].

In dieser Studie hingegen wurde das Magenvolumen einzelner Patienten über einen längeren Zeitraum beobachtet und mit dem individuellen klinischen Verlauf verglichen. Dabei wurde untersucht, welche weiteren – bei Intensivpatienten wichtigen – Parameter Einfluss auf das Magenvolumen selbst oder die Messung dessen haben könnten.

5.5.1 Magenvolumen bei Morgen- und Abendmessungen und bei erster und letzter Ultraschalluntersuchung

Die US-Untersuchungen sind zweimal täglich durchgeführt worden. Dabei fand die erste Messung zwischen 06:00 Uhr und 10:00 Uhr und die zweite Messung zwischen 16:00 Uhr und 20:00 Uhr statt. Diese Zeiträume sind vor Studienbeginn festgelegt worden, um eine mögliche zirkadiane Schwankung des Magenvolumens zu untersuchen. Beim Vergleich der Morgen- und Abenduntersuchungen waren die Mittelwerte der Messergebnisse annähernd konstant, sodass in dieser Studie keine zirkadiane Veränderung des Magenvolumens festgestellt wurde. Die Mittelwerte zeigten dabei keinen Unterschied.

Unter physiologischen Bedingungen unterliegt der GI-Trakt einer zirkadianen Rhythmik, welche die peripheren Organe koordiniert und u. a. die Enzymproduktion steuert, die den Körper auf wechselnde Phasen der Nahrungsaufnahme und Nüchternheit einstellt [44, 79]. Diese Enzyme haben auch Einfluss auf die gastrointestinale Motilität und Verdauung [90] und damit auf die Magenentleerung [24, 65]. In einer Übersichtsarbeit fassten Korompeli et al. zirkadiane Störungen bei Patienten auf der Intensivstation zusammen [44]. Neben allgemeinen Faktoren wie Beleuchtung, Geräuschen und Medikation wird dort auch die EN aufgeführt. Durch die parenterale und enterale Ernährung können Signale gestört werden, die den zirkadianen Rhythmus durch noch nicht verstandene Mechanismen beeinflussen [82]. Das Pankreasinsulin könnte dabei eine Rolle spielen [20]. Deshalb nimmt insbesondere die kontinuierliche Sondenernährung auf die zirkadianen Rhythmen Einfluss, da dabei keine Phasen der Nüchternheit entstehen [81]. Eine Veränderung dieses Rhythmus kann letztlich zu einer systemischen Entzündungsreaktion führen [44]. Die Deckung des Energiebedarfs und damit die bessere Prognose für den Patienten hängt also nicht nur von der verabreichten Nahrungsmenge ab [18, 65], sondern auch von der zirkadian beeinflussten Magen-Darm-Motilität und der dadurch verbundenen Nährstoffaufnahme [89].

Auch die Ernährung der Patienten dieser Studie fand in kontinuierlicher Form über eine nasogastrale Sonde statt. Eine zyklische Magen-Darm-Motilität – gemessen anhand unterschiedlicher Magenvolumina bei den Morgen- und Abendmessungen [65] – konnte dabei nicht gezeigt werden. Da es keine Vergleichsgruppe an Patienten mit intermittierender Ernährung gab, können keine weiteren Rückschlüsse gezogen werden, ob die EN in dieser Studie die GI-Motilität beeinflusst oder nicht, weil auch andere beeinflussende Faktoren möglich wären. Es sind weitere Studien nötig, die die Auswirkungen der EN – insbesondere in Hinblick auf den

Unterschied zwischen kontinuierlicher und intermittierender Ernährung – auf die zirkadiane Rhythmik der Magen-Darm-Motilität hin untersuchen.

Weiterhin wurden die Ergebnisse der ersten US-Untersuchung bei Studieneinschluss und die der letzten Untersuchung der Messreihe eines jeden Patienten hinsichtlich des Magenvolumens verglichen. Dabei gab es eine Tendenz ($p = 0,07$), die bei der letzten Messung ein größeres gastrales Volumen als bei der Erstmessung anzeigte. Bei der ersten Messung wurde ein durchschnittliches Magenvolumen von $0,74 \pm 0,25$ ml / kg KG gemessen, welches bis zur letzten Messung auf $0,86 \pm 0,33$ ml / kg KG anstieg.

Ein mindestens 24 stündiger Aufenthalt auf der Intensivstation ist mit der Entwicklung einer gastrointestinalen Fehlfunktion verbunden [68, 69], die sich u. a. durch eine verringerte GI-Motilität zeigt [70], welche ein vergrößertes Residualvolumen verursacht [65]. Die geringe Anzahl der Patienten in dieser Studie sowie die unterschiedliche Dauer des Aufenthalts auf der Intensivstation könnten die Ursache sein, weshalb keine signifikanten Ergebnisse zu verzeichnen sind.

5.5.2 Magenvolumen bei Verwendung unterschiedlicher Ernährungsprodukte

Die beim jeweiligen Patienten verwendeten Ernährungsprodukte wurden dokumentiert und mit den Messergebnissen des Magenvolumens verglichen. Insgesamt wurden vier Ernährungsprodukte erfasst. Neben den in der SOP festgeschriebenen Standardprodukten Fresubin® original fibre (isokalorisch, mit Ballaststoffen, eiweißarm) und Fresubin® energy fibre (hochkalorisch, mit Ballaststoffen, eiweißarm) wurde die Verwendung von Fresubin® 2 kcal HP (hochkalorisch, ohne Ballaststoffe, eiweißreich) sowie Fresubin® HP energy (hochkalorisch, ohne Ballaststoffe, eiweißreich) dokumentiert.

Die gemessenen Magenvolumina waren bei den Produkten Fresubin® original fibre ($0,66 \pm 0,15$ ml / kg KG), Fresubin® 2 kcal HP ($0,64 \pm 0,22$ ml / kg KG) und Fresubin® HP energy ($0,61 \pm 0,20$ ml / kg KG) ähnlich groß. Lediglich beim hochkalorischen Produkt Fresubin® energy fibre ($0,83 \pm 0,40$ ml / kg KG) wurden größere Volumina gemessen ($p = 0,02$). Dieses Produkt enthält neben einer höheren Kalorienanzahl (1,5 kcal / ml versus original fibre: 1,0 kcal / ml) auch weniger Ballaststoffe (1,1 g / 100 ml versus original fibre: 1,5 g / 100 ml).

Auch andere Studien untersuchten die Auswirkungen verschiedener Ernährungsprodukte auf den GI-Trakt von Intensivpatienten. Spindler-Vesel et al. fanden bei enteral ernährten Intensivpatienten mit ballaststoffreicher Standardnahrung ein signifikant ($p = 0,03$) größeres Magenvolumen als bei ballaststoffarmer, hochkalorischer Ernährung [78]. Im Gegensatz zu dieser Beobachtungsstudie wurden dabei die Patienten randomisiert in verschiedene Kohorten eingeteilt. Die Patienten erhielten durchgängig dieselbe Ernährungslösung, wohingegen im Beobachtungszeitraum dieser Studie das Ernährungsprodukt nach Ermessen des zuständigen

Arztes gewechselt werden konnte. Chittawatanarat et al. untersuchten die Auswirkungen der Ernährungsprodukte auf die Verdauung [21]. Bei ballaststoffreicher Ernährung traten Diarrhoen signifikant seltener auf ($p < 0,01$), weshalb auch die Deutsche Gesellschaft für Ernährungsmedizin in ihrer Leitlinie „Klinische Ernährung in der Intensivmedizin“ nach der Akutphase und insbesondere bei Diarrhoen eine mit Ballaststoffen angereicherte enterale Nährlösung empfiehlt [28]. Yagmurdur et al. fanden hingegen hinsichtlich des Residualvolumens keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kohorten mit ballaststoffreicher und -armer Ernährung [94]. Die Studienlage zum Einfluss verschiedener Ernährungsprodukte auf das Magenvolumen bei Intensivpatienten ist also kontrovers. Selbst größere Übersichtsarbeiten kommen zu keinem klaren Ergebnis [30, 71], was mit der Dynamik des Metabolismus kritisch kranker Patienten sowie dem daraus folgenden nicht-konstanten Energiebedarf zusammenhängen könnte [30]. Es sind weitere Studien nötig, um für bestimmte Patientengruppen klare Empfehlungen zur Nährstoffzufuhr hinsichtlich der Auswirkungen auf den GI-Trakt gemessen am gastralen Residualvolumen abgeben zu können.

5.5.3 Magenvolumen im Vergleich zum Auskultationsbefund

Vor der Durchführung der Ultraschalluntersuchungen wurden die Darmgeräusche der Patienten auskultiert und in die Gruppen normal, spärlich und rege kategorisiert. Im Vergleich mit dem gemessenen gastralen Residualvolumen waren die Resultate bei normalen und regen Darmgeräuschen ähnlich. Bei spärlichen Darmgeräuschen hingegen war das gemessene Magenvolumen gegenüber dem Normalbefund ($p < 0,01$) und den regen Darmgeräuschen ($p < 0,01$) signifikant vergrößert. Um eine Verfälschung der Darmgeräusche durch eine vorherige palpatorische Anregung bzw. Manipulation durch die US-Sonde zu verhindern, fand die Auskultation zu Beginn der Untersuchung statt.

Obwohl die Auskultation von Darmgeräuschen als fester Bestandteil der klinischen Untersuchung angesehen wird, ist ihre klinische Aussagekraft weitestgehend unerforscht [31]. Bei einigen Fragestellungen kann der Auskultationsbefund jedoch Hinweise auf eine Pathologie liefern, die dann mit anderen Untersuchungsmethoden wie dem Ultraschall oder der Computertomographie bestätigt werden können. So ist die Auskultation von Darmgeräuschen insbesondere bei der Diagnose eines Ileus relevant [36]. In einer Übersichtsarbeit stellten Li et al. die Zusammenhänge zwischen den Darmgeräuschen und der gastrointestinalen Motilität bei kritisch kranken Patienten dar: Trotz begrenzter Objektivität kann die Auskultation nützliche Informationen über die Magen-Darm-Motilität liefern und ist daher auf Intensivstationen unerlässlich [50].

Es besteht jedoch keine einheitliche Terminologie für die Klassifikation von Darmgeräuschen [17], was die Vergleichbarkeit mit anderen Studien erschwert. Dennoch wird angenommen,

dass Darmgeräusche mit der Peristaltik korrelieren [83]. Die verringerte Darmbewegung bei spärlichen Darmgeräuschen könnte daher der Grund für das vergrößerte Magenvolumen sein.

Der Ultraschall bietet weitere Vorteile gegenüber der Auskultation. So sind Erkenntnisse über die Peristaltik sowie die Beschaffenheit des Mageninhaltes möglich [1, 87]. Diese Informationen können beispielsweise bei Notfalloperationen ohne Nüchternzeit genutzt werden, um das Aspirationsrisiko abzuschätzen [13, 84]. Auch eine Überwachung des Kostaufbaus wäre unter sonographischer Kontrolle möglich.

5.5.4 Magenvolumen im Vergleich zu Beatmungsparametern

Das gastrale Volumen wurde auch hinsichtlich der Beatmungsformen untersucht. Bei der CPAP/ASB-Beatmung ($0,68 \pm 0,22$ ml / kg KG) und der Spontanatmung ($0,74 \pm 0,30$ ml / kg KG) ist ein ähnliches Magenvolumen festgestellt worden. Bei der Beatmung im BiPAP-Modus ($1,07 \pm 0,62$ ml / kg KG) wurde ein signifikant erhöhtes Magenvolumen gemessen ($p < 0,01$). Bei den maschinell beatmeten Patienten wurde weiterhin eine positive Korrelation zwischen dem VT und dem gastralen Volumen beobachtet ($r = 0,582$, $p < 0,01$).

Die maschinelle Beatmung nimmt Einfluss auf den intrathorakalen Druck und führt durch die Verschiebung des Zwerchfells auch zu einer Erhöhung des intraabdominellen Drucks [52]. Der Magen als unmittelbar angrenzendes Organ ist zudem durch das Omentum majus direkt mit dem Diaphragma und damit dem Atmungsapparat verbunden [41]. Die genauen Wechselwirkungen zwischen dem intraabdominellen Druck und der gastrointestinalen Funktion sind aber bisher nur unzureichend geklärt [9]. Neben den direkten mechanischen Einwirkungen werden eine Verringerung des Lymphabflusses und die Erhöhung des splanchnischen Venendrucks diskutiert [48, 53]. Diese wiederum könnten durch Ödembildung [53] die GI-Motilität herabsetzen. Die Beobachtung, dass abdominelle Ödeme bei Spontanatmung im Vergleich zu maschineller Beatmung schneller zurückgehen, stützt diese These [48].

Es bleibt ungeklärt, weshalb in dieser Studie bei beatmeten Patienten im BiPAP-Modus das gastrale Residualvolumen erhöht war, im CPAP/ASB-Modus jedoch nicht. Die vergleichbaren, in 5.5 aufgeführten Studien machten bei der Betrachtung des Magenvolumens keine Differenzierungen hinsichtlich des Beatmungsmodus. Auch in dieser Studie war eine genauere Untersuchung beider Modi aufgrund der unterschiedlichen Untersuchungszahlen (siehe 4.4.6) nicht möglich. Es sind weitere Studien nötig, um die Einflüsse der Beatmungsmodi auf die gastrointestinale Funktion hin zu untersuchen.

Die Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin empfiehlt in ihrer S3-Leitlinie „Invasive Beatmung und Einsatz extrakorporaler Verfahren bei akuter respiratorischer Insuffizienz“ bei Patienten mit respiratorischer Insuffizienz eine Beatmung mit einem $VT \leq 6$ ml / kg KG, bei Patienten ohne respiratorische Insuffizienz eine Beatmung mit einem VT 6-8 ml /

kg KG [42]. Bei der Beatmung mit hohen VT (≥ 12 ml / kg KG) scheinen auf das Lungenparenchym einwirkende Kräfte Entzündungsmediatoren freizusetzen und mit der Translokation von Bakterien assoziiert zu sein, die mit Organversagen und erhöhter Sterblichkeit verbunden sind [93]. Wie die vorliegende Studie zeigen konnte, liegt bei erhöhtem VT auch ein größeres gastrales Residualvolumen vor. Dieses ist ebenfalls mit Risiken wie beispielsweise Erbrechen [67, 91] oder Aspirationen [75] verbunden. Eine protektive Lungenbeatmung mit niedrigen VT scheint also auch auf die Magenentleerung [59] positive Einflüsse zu haben.

5.6 Limitationen

Das Patientenkollektiv bestand zu 83,3 % (n = 15) aus männlichen und zu 16,7 % (n = 3) aus weiblichen Patienten. Es wurden also mehr Untersuchungen an männlichen Patienten durchgeführt. Das Patientenkollektiv wies auch in Hinblick auf Dauer der Hospitalisierung, Anzahl und Art der Operationen und Medikation eine inhomogene Struktur auf. Ziel der Arbeit war es, den longitudinalen Verlauf der enteral ernährten Patienten darzustellen. Dazu wurden alle enteral ernährten Patienten der Station eingeschlossen, mit Ausnahmen der in 3.1 genannten Patientengruppen. Daher war es wichtiger, einen Querschnitt des Patientenkollektivs der Intensivstation abzubilden als eine homogene, selektierte Patientengruppe.

Weiterhin wurden alle Messungen dieser Studie mit dem miniaturisierten US-Gerät Sonosite iViz durchgeführt. Die Übertragbarkeit der Anwendungsmöglichkeiten und damit der Ergebnisse dieser Studie auf andere Geräte mit verschiedenartigen Displays und Handhabungen müsste in weiteren Studien bestätigt werden.

Obwohl die Anzahl der Gesamtuntersuchungen dieser Studie (217) im Vergleich zu den zuvor genannten Publikationen von Kaydu und Gokcek (120) sowie Skornik (55) höher liegt, wurden insgesamt weniger Patienten (18 versus Kaydu/Gokcek: 120, Skornik: 30) eingeschlossen. Besonderheiten im klinischen Verlauf oder bei operativen Eingriffen einzelner Patienten könnten sich so verstärkt auf die Untersuchungsergebnisse ausgewirkt haben.

5.7 Schlussfolgerung

Das gastrale Residualvolumen gemessen mittels miniaturisierten Ultraschalls kann wichtige Informationen über enteral ernährte Intensivpatienten liefern, ohne dass Behandlungsabläufe auf der Intensivstation eingeschränkt werden. Die Messungen sind bei laufender Ernährungstherapie möglich. Die Untersuchungen sind nach kurzer Schulung weitestgehend intuitiv durchführbar und das Verfahren bietet einen höheren Informationsgehalt als die reine Auskultation und der passive Refluxtest.

In Zukunft könnte der gastrale Ultraschall eine wichtige Rolle bei der Planung und Durchführung der enteralen Ernährungstherapie spielen. Die Anpassung der Laufrate wäre unter

Ultraschallkontrolle möglich; gleichzeitig könnten Komplikationen wie Aspirationen potenziell reduziert werden.

Es sind weitere Studien mit höheren Patientenzahlen nötig, um die Ergebnisse dieser Studie zu bestätigen und den gastralen Ultraschall in der Ernährungstherapie zu etablieren.

6 Literatur

1. Alakkad H, Kruisselbrink R, Chin KJ, Niazi AU, Abbas S, Chan VWS, Perlas A (2015) Point-of-care ultrasound defines gastric content and changes the anesthetic management of elective surgical patients who have not followed fasting instructions: a prospective case series. *Can J Anaesth* 62(11):1188–1195. doi:10.1007/s12630-015-0449-1
2. Arzola C, Carvalho JCA, Cubillos J, Ye XY, Perlas A (2013) Anesthesiologists' learning curves for bedside qualitative ultrasound assessment of gastric content: a cohort study. *Can J Anaesth* 60(8):771–779. doi:10.1007/s12630-013-9974-y
3. Arzola C, Perlas A, Siddiqui NT, Carvalho JCA (2015) Bedside Gastric Ultrasonography in Term Pregnant Women Before Elective Cesarean Delivery: A Prospective Cohort Study. *Anesth Analg* 121(3):752–758. doi:10.1213/ANE.0000000000000818
4. Baiu I, Spain DA (2019) Enteral Nutrition. *JAMA* 321(20):2040. doi:10.1001/jama.2019.4407
5. Bartlett Ellis RJ, Fuehne J (2015) Examination of accuracy in the assessment of gastric residual volume: a simulated, controlled study. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 39(4):434–440. doi:10.1177/0148607114524230
6. Bartusch O, Finkl M, Jaschinski U (2008) Aspirationssyndrom. *Anaesthesist* 57(5):519–532. doi:10.1007/s00101-008-1348-4
7. Bataille A, Rousset J, Marret E, Bonnet F (2014) Ultrasonographic evaluation of gastric content during labour under epidural analgesia: a prospective cohort study. *Br J Anaesth* 112(4):703–707. doi:10.1093/bja/aet435
8. Bause H, Friederich P (2011) Künstliche Ernährung. In: Esch JS am, Bause H, Kochs E, Scholz J, Standl T, Werner C (Hrsg) *Duale Reihe Anästhesie*, 4. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, S 510–517
9. Blaser A, Malbrain M, Regli A (2019) Abdominal pressure and gastrointestinal function: an inseparable couple? *Anaesthesiology Intensive Therapy* 49(2)
10. Blot SI, Poelaert J, Kollef M (2014) How to avoid microaspiration? A key element for the prevention of ventilator-associated pneumonia in intubated ICU patients. *BMC Infect Dis* 14:119. doi:10.1186/1471-2334-14-119
11. Blumenstein I, Shastri YM, Stein J (2014) Gastroenteric tube feeding: techniques, problems and solutions. *World J Gastroenterol* 20(26):8505–8524. doi:10.3748/wjg.v20.i26.8505
12. Bouvet L, Mazoit J-X, Chassard D, Allaouchiche B, Boselli E, Benhamou D (2011) Clinical assessment of the ultrasonographic measurement of antral area for estimating pre-operative gastric content and volume. *Anesthesiology* 114(5):1086–1092. doi:10.1097/ALN.0b013e31820dee48

13. Bouvet L, Desgranges F-P, Aubergy C, Boselli E, Dupont G, Allaouchiche B, Chassard D (2017) Prevalence and factors predictive of full stomach in elective and emergency surgical patients: a prospective cohort study. *Br J Anaesth* 118(3):372–379. doi:10.1093/bja/aew462
14. Bouvet L, Barnoud S, Desgranges F-P, Chassard D (2019) Effect of body position on qualitative and quantitative ultrasound assessment of gastric fluid contents. *Anaesthesia* 74(7):862–867. doi:10.1111/anae.14664
15. Bouvet L, Zieleskiewicz L, Loubradou E, Alain A, Morel J, Argaud L, Chassard D, Leone M, Allaouchiche B (2020) Reliability of gastric suctioning compared with ultrasound assessment of residual gastric volume: a prospective multicentre cohort study. *Anaesthesia* 75(3):323–330. doi:10.1111/anae.14915
16. Braunschweig CL, Levy P, Sheean PM, Wang X (2001) Enteral compared with parenteral nutrition: a meta-analysis. *Am J Clin Nutr* 74(4):534–542. doi:10.1093/ajcn/74.4.534
17. Breum BM, Rud B, Kirkegaard T, Nordentoft T (2015) Accuracy of abdominal auscultation for bowel obstruction. *World J Gastroenterol* 21(34):10018–10024. doi:10.3748/wjg.v21.i34.10018
18. Bruen T, Rawal S, Tomesko J, Byham-Gray L (2020) Elimination of Routine Gastric Residual Volume Monitoring Improves Patient Outcomes in Adult Critically Ill Patients in a Community Hospital Setting. *Nutr Clin Pract*. doi:10.1002/ncp.10442
19. Cao L, Ye XH, Li J, Zhang LN, Li L, Zhang WY, Deng LL (2017) Application of bedside ultrasound in measuring gastric residual volume in neurosurgical critical patients with enteral nutrition support. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi* 97(9):675–678. doi:10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2017.09.008
20. Challet E (2015) Keeping circadian time with hormones. *Diabetes Obes Metab* 17 Suppl 1:76–83. doi:10.1111/dom.12516
21. Chittawatanarat K, Pokawinpuadisun P, Polbhakdee Y (2010) Mixed fibers diet in surgical ICU septic patients. *Asia Pac J Clin Nutr* 19(4):458–464
22. Colli A, Prati D, Fraquelli M, Segato S, Vescovi PP, Colombo F, Balduini C, Della Valle S, Casazza G (2015) The use of a pocket-sized ultrasound device improves physical examination: results of an in- and outpatient cohort study. *PLoS ONE* 10(3):e0122181. doi:10.1371/journal.pone.0122181
23. Darwiche G, Almér LO, Björgell O, Cederholm C, Nilsson P (1999) Measurement of gastric emptying by standardized real-time ultrasonography in healthy subjects and diabetic patients. *J Ultrasound Med* 18(10):673–682. doi:10.7863/jum.1999.18.10.673
24. Deane A, Chapman MJ, Fraser RJ, Bryant LK, Burgstad C, Nguyen NQ (2007) Mechanisms underlying feed intolerance in the critically ill: implications for treatment. *World J Gastroenterol* 13(29):3909–3917. doi:10.3748/wjg.v13.i29.3909

25. Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e. V. SAPS II. <https://www.divi.de/empfehlungen/publikationen/intensivmedizin/438-saps-ii-simplified-acute-physiology-score/file>. Zugegriffen: 28. April 2020
26. Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e. V. SOFA. <https://www.divi.de/empfehlungen/publikationen/intensivmedizin/439-sofa-sepsis-related-organ-failure-assessment/file>. Zugegriffen: 28. April 2020
27. Elke G, Felbinger TW, Heyland DK (2015) Gastric residual volume in critically ill patients: a dead marker or still alive? *Nutr Clin Pract* 30(1):59–71. doi:10.1177/0884533614562841
28. Elke G, Hartl WH, Kreymann KG, Adolph M, Felbinger TW, Graf T, Heer G de, Heller AR, Kampa U, Mayer K, Muhl E, Niemann B, Rümelin A, Steiner S, Stoppe C, Weimann A, Bischoff SC (2019) Clinical Nutrition in Critical Care Medicine - Guideline of the German Society for Nutritional Medicine (DGEM). *Clinical nutrition ESPEN* 33:220–275. doi:10.1016/j.clnesp.2019.05.002
29. Faramarzi E, Mahmoodpoor A, Hamishehkar H, Shadvar K, Iranpour A, Sabzevari T, Sanaie S (2020) Effect of gastric residual volume monitoring on incidence of ventilator-associated pneumonia in mechanically ventilated patients admitted to intensive care unit. *Pak J Med Sci* 36(2):48–53. doi:10.12669/pjms.36.2.1321
30. Felbinger TW, Hecker M, Elke G (2014) Ernährung in der Intensivmedizin - Ist weniger und später mehr? Wie viele Kalorien benötigt der Intensivpatient? *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 49(2):114-21; quiz 122. doi:10.1055/s-0034-1368678
31. Felder S, Margel D, Murrell Z, Fleshner P (2014) Usefulness of bowel sound auscultation: a prospective evaluation. *Journal of surgical education* 71(5):768–773. doi:10.1016/j.jsurg.2014.02.003
32. Fresenius Kabi Deutschland GmbH (2020) Enterale Ernährung. Rundum versorgt mit Produkten von Fresenius Kabi. <https://www.fresenius-kabi.com/de/ernaehrung/ernaehrung-enteral>. Zugegriffen: 15. April 2020
33. FUJIFILM SonoSite, Inc (2016) Benutzerhandbuch. Sonosite iViz, Bothell
34. Gerdes A (2004) APACHE II Score Erhebungsbogen. <http://www.intensivcare-unit.de/download/apache2.pdf>. Zugegriffen: 28. April 2020
35. Golinski M, Volk T (2011) Ernährung des Intensivpatienten. Standard Operating Procedure. Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg
36. Gu Y, Lim HJ, Moser MAJ (2010) How useful are bowel sounds in assessing the abdomen? *Digestive surgery* 27(5):422–426. doi:10.1159/000319372
37. Hamada SR, Garcon P, Ronot M, Kerever S, Paugam-Burtz C, Mantz J (2014) Ultrasound assessment of gastric volume in critically ill patients. *Intensive Care Med* 40(7):965–972. doi:10.1007/s00134-014-3320-x

38. Heyland DK, Stephens KE, Day AG, McClave SA (2011) The success of enteral nutrition and ICU-acquired infections: a multicenter observational study. *Clin Nutr* 30(2):148–155. doi:10.1016/j.clnu.2010.09.011
39. Kaydu A, Gokcek E (2018) Preoperative Assessment of Ultrasonographic Measurement of Antral Area for Gastric Content. *Med Sci Monit* 24:5542–5548. doi:10.12659/MSM.908520
40. Kimura BJ, DeMaria AN (2005) Technology Insight: hand-carried ultrasound cardiac assessment—evolution, not revolution. *Nat Rev Cardiol* 2(4):217–223. doi:10.1038/ncpcardio0154
41. Kirsch J, Schmitz F, Schulte E (2020) Rumpfdarm – Ösophagus und Gastrointestinaltrakt. In: Aumüller G, Aust G, Conrad A, Engele J, Kirsch J, Maio G, Mayerhofer A, Mense S, Reißig D, Salvetter J, Schmidt W, Schmitz F, Schulte E, Spanel-Borowski K, Wennemuth G, Wolff W, Wurzinger LJ, Zilch H-G (Hrsg) *Duale Reihe Anatomie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, S 675–733
42. Klotz S, Boeken U (2019) Zur „S3-Leitlinie Invasive Beatmung und Einsatz extrakorporaler Verfahren bei akuter respiratorischer Insuffizienz“. *Z Herz- Thorax- Gefäßchir* 33(2):107–115. doi:10.1007/s00398-018-0256-4
43. Kondrup J, Allison SP, Elia M, Vellas B, Plauth M (2003) ESPEN guidelines for nutrition screening 2002. *Clin Nutr* 22(4):415–421. doi:10.1016/s0261-5614(03)00098-0
44. Korompeli A, Muurlink O, Kavrochorianou N, Katsoulas T, Fildissis G, Baltopoulos G (2017) Circadian disruption of ICU patients: A review of pathways, expression, and interventions. *J Crit Care* 38:269–277. doi:10.1016/j.jcrc.2016.12.006
45. Kruisselbrink R, Arzola C, Endersby R, Tse C, Chan V, Perlas A (2014) Intra- and inter-rater reliability of ultrasound assessment of gastric volume. *Anesthesiology* 121(1):46–51. doi:10.1097/ALN.0000000000000193
46. Kruisselbrink R, Arzola C, Jackson T, Okrainec A, Chan V, Perlas A (2017) Ultrasound assessment of gastric volume in severely obese individuals: a validation study. *Br J Anaesth* 118(1):77–82. doi:10.1093/bja/aew400
47. Kruisselbrink R, Gharapetian A, Chaparro LE, Ami N, Richler D, Chan VWS, Perlas A (2019) Diagnostic Accuracy of Point-of-Care Gastric Ultrasound. *Anesth Analg* 128(1):89–95. doi:10.1213/ANE.0000000000003372
48. Lattuada M, Hedenstierna G (2006) Abdominal lymph flow in an endotoxin sepsis model: influence of spontaneous breathing and mechanical ventilation. *Crit Care Med* 34(11):2792–2798. doi:10.1097/01.CCM.0000242158.28619.09
49. Leipziger J (2017) Verdauung. In: Behrends JC, Bischofberger J, Deutzmann R, Ehmke H, Frings S, Grissmer S, Hoth M, Kurtz A, Leipziger J, Müller F, Pedain C, Rettig J,

- Wagner C, Wischmeyer E (Hrsg) *Duale Reihe Physiologie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, S 477–506
50. Li B, Wang J-R, Ma Y-L (2012) Bowel sounds and monitoring gastrointestinal motility in critically ill patients. *Clin Nurse Spec* 26(1):29–34. doi:10.1097/NUR.0b013e31823bfab8
 51. Ligtoet C, Rijsterborgh H, Kappen L, Bom N (1978) Real time ultrasonic imaging with a hand-held scanner. Part I--technical description. *Ultrasound in Medicine & Biology* 4(2):91–92. doi:10.1016/0301-5629(78)90033-9
 52. Mahmood SS, Pinsky MR (2018) Heart-lung interactions during mechanical ventilation: the basics. *Annals of translational medicine* 6(18):349. doi:10.21037/atm.2018.04.29
 53. Malbrain MLNG, Pelosi P, laet I de, Lattuada M, Hedenstierna G (2007) Lymphatic drainage between thorax and abdomen: please take good care of this well-performing machinery... *Acta Clinica Belgica* 62 Suppl 1(sup1):152–161. doi:10.1179/acb.2007.62.s1.020
 54. Mayhew D, Mendonca V, Murthy BVS (2019) A review of ASA physical status - historical perspectives and modern developments. *Anaesthesia* 74(3):373–379. doi:10.1111/anae.14569
 55. McClave SA, Lukan JK, Stefater JA, Lowen CC, Looney SW, Matheson PJ, Gleeson K, Spain DA (2005) Poor validity of residual volumes as a marker for risk of aspiration in critically ill patients. *Crit Care Med* 33(2):324–330. doi:10.1097/01.ccm.0000153413.46627.3a
 56. McClave SA, Taylor BE, Martindale RG, Warren MM, Johnson DR, Braunschweig C, McCarthy MS, Davanos E, Rice TW, Cresci GA, Gervasio JM, Sacks GS, Roberts PR, Compher C (2016) Guidelines for the Provision and Assessment of Nutrition Support Therapy in the Adult Critically Ill Patient: Society of Critical Care Medicine (SCCM) and American Society for Parenteral and Enteral Nutrition (A.S.P.E.N.). *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 40(2):159–211. doi:10.1177/0148607115621863
 57. Mjølstad OC, Dalen H, Graven T, Kleinau JO, Salvesen O, Haugen BO (2012) Routinely adding ultrasound examinations by pocket-sized ultrasound devices improves inpatient diagnostics in a medical department. *Eur J Intern Med* 23(2):185–191. doi:10.1016/j.ejim.2011.10.009
 58. Montejo JC, Miñambres E, Bordejé L, Mesejo A, Acosta J, Heras A, Ferré M, Fernandez-Ortega F, Vaquerizo CI, Manzanedo R (2010) Gastric residual volume during enteral nutrition in ICU patients: the REGANE study. *Intensive Care Med* 36(8):1386–1393. doi:10.1007/s00134-010-1856-y
 59. Moreira TV, McQuiggan M (2009) Methods for the assessment of gastric emptying in critically ill, enterally fed adults. *Nutr Clin Pract* 24(2):261–273. doi:10.1177/0884533609332176

60. Naqvi IH, Mahmood K, Ziaullah S, Kashif SM, Sharif A (2016) Better prognostic marker in ICU - APACHE II, SOFA or SAP III! *Pak J Med Sci* 32(5):1146–1151.
doi:10.12669/pjms.325.10080
61. Okada Y, Toyama H, Kamata K, Yamauchi M (2019) A clinical study comparing ultrasound-measured pyloric antrum cross-sectional area to computed tomography-measured gastric content volume to detect high-risk stomach in supine patients undergoing emergency abdominal surgery. *J Clin Monit Comput*. doi:10.1007/s10877-019-00438-1
62. Perlas A, Chan VWS, Lupu CM, Mitsakakis N, Hanbidge A (2009) Ultrasound assessment of gastric content and volume. *Anesthesiology* 111(1):82–89.
doi:10.1097/ALN.0b013e3181a97250
63. Perlas A, Mitsakakis N, Liu L, Cino M, Haldipur N, Davis L, Cubillos J, Chan V (2013) Validation of a mathematical model for ultrasound assessment of gastric volume by gastroscopic examination. *Anesth Analg* 116(2):357–363.
doi:10.1213/ANE.0b013e318274fc19
64. Perlas A, van de Putte P, van Houwe P, Chan VWS (2016) I-AIM framework for point-of-care gastric ultrasound. *Br J Anaesth* 116(1):7–11. doi:10.1093/bja/aev113
65. Poulard F, Dimet J, Martin-Lefevre L, Bontemps F, Fiancette M, Clementi E, Lebert C, Renard B, Reignier J (2010) Impact of not measuring residual gastric volume in mechanically ventilated patients receiving early enteral feeding: a prospective before-after study. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 34(2):125–130. doi:10.1177/0148607109344745
66. Pritchard C, Duffy S, Edington J, Pang F (2006) Enteral nutrition and oral nutrition supplements: a review of the economics literature. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 30(1):52–59. doi:10.1177/014860710603000152
67. Reignier J, Mercier E, Le Gouge A, Boulain T, Desachy A, Bellec F, Clavel M, Frat J-P, Plantefeve G, Quenot J-P, Lascarrou J-B (2013) Effect of not monitoring residual gastric volume on risk of ventilator-associated pneumonia in adults receiving mechanical ventilation and early enteral feeding: a randomized controlled trial. *JAMA* 309(3):249–256.
doi:10.1001/jama.2012.196377
68. Reintam A, Parm P, Redlich U, Tooding L-M, Starkopf J, Köhler F, Spies C, Kern H (2006) Gastrointestinal failure in intensive care: a retrospective clinical study in three different intensive care units in Germany and Estonia. *BMC Gastroenterol* 6(1).
doi:10.1186/1471-230X-6-19
69. Reintam A, Parm P, Kitus R, Starkopf J, Kern H (2008) Gastrointestinal failure score in critically ill patients: a prospective observational study. *Crit Care* 12(4):R90.
doi:10.1186/cc6958

70. Reintam A, Parm P, Kitus R, Kern H, Starkopf J (2009) Gastrointestinal symptoms in intensive care patients. *Acta Anaesthesiol Scand* 53(3):318–324. doi:10.1111/j.1399-6576.2008.01860.x
71. Reis AMD, Fruchtenicht AV, Loss SH, Moreira LF (2018) Uso de fibras dietéticas em nutrição enteral de pacientes graves: uma revisão sistemática. *Rev Bras Ter Intensiva* 30(3):358–365. doi:10.5935/0103-507X.20180050
72. Roelandt J, Wladimiroff JW, Baars AM (1978) Ultrasonic real time imaging with a hand-held-scanner. Part II--initial clinical experience. *Ultrasound in Medicine & Biology* 4(2):93–97. doi:10.1016/0301-5629(78)90034-0
73. Sharma V, Gudivada D, Gueret R, Bailitz J (2017) Ultrasound-Assessed Gastric Antral Area Correlates With Aspirated Tube Feed Volume in Enterally Fed Critically Ill Patients. *Nutr Clin Pract* 32(2):206–211. doi:10.1177/0884533616681530
74. Sharma G, Jacob R, Mahankali S, Ravindra MN (2018) Preoperative assessment of gastric contents and volume using bedside ultrasound in adult patients: A prospective, observational, correlation study. *Indian J Anaesth* 62(10):753–758. doi:10.4103/ija.IJA_147_18
75. Singer P, Blaser AR, Berger MM, Alhazzani W, Calder PC, Casaer MP, Hiesmayr M, Mayer K, Montejo JC, Pichard C, Preiser J-C, van Zanten ARH, Oczkowski S, Szczeklik W, Bischoff SC (2019) ESPEN guideline on clinical nutrition in the intensive care unit. *Clin Nutr* 38(1):48–79. doi:10.1016/j.clnu.2018.08.037
76. Skornik J (2018) Durchführbarkeit der sonographiegestützten Messung des gastralen Residualvolumens enteral ernährter, chirurgischer Intensivpatienten mittels eines miniaturisierten Ultraschallgerätes. Dissertation, Universität des Saarlandes
77. Soulsby CT, Khela M, Yazaki E, Evans DF, Hennessy E, Powell-Tuck J (2006) Measurements of gastric emptying during continuous nasogastric infusion of liquid feed: electric impedance tomography versus gamma scintigraphy. *Clin Nutr* 25(4):671–680. doi:10.1016/j.clnu.2005.11.015
78. Spindler-Vesel A, Bengmark S, Vovk I, Cerovic O, Kompan L (2007) Synbiotics, prebiotics, glutamine, or peptide in early enteral nutrition: a randomized study in trauma patients. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 31(2):119–126. doi:10.1177/0148607107031002119
79. Stenvers DJ, Jonkers CF, Fliers E, Bisschop PHLT, Kalsbeek A (2012) Nutrition and the circadian timing system. *Prog Brain Res* 199:359–376. doi:10.1016/B978-0-444-59427-3.00020-4
80. Stock KF, Klein B, Steubl D, Lersch C, Heemann U, Wagenpfeil S, Eyer F, Clevert D-A (2015) Comparison of a pocket-size ultrasound device with a premium ultrasound machine: diagnostic value and time required in bedside ultrasound examination. *Abdom Imaging* 40(7):2861–2866. doi:10.1007/s00261-015-0406-z

81. Stokkan KA, Yamazaki S, Tei H, Sakaki Y, Menaker M (2001) Entrainment of the circadian clock in the liver by feeding. *Science* 291(5503):490–493. doi:10.1126/science.291.5503.490
82. Sunderram J, Sofou S, Kamisoglu K, Karantza V, Androulakis IP (2014) Time-restricted feeding and the realignment of biological rhythms: translational opportunities and challenges. *J Transl Med* 12:79. doi:10.1186/1479-5876-12-79
83. Ukleja A (2010) Altered GI motility in critically ill patients: current understanding of pathophysiology, clinical impact, and diagnostic approach. *Nutr Clin Pract* 25(1):16–25. doi:10.1177/0884533609357568
84. Valero Castañer H, Vendrell Jordà M, Sala Blanch X, Valero R (2020) Preoperative bedside ultrasound assessment of gastric volume and evaluation of predisposing factors for delayed gastric emptying: a case-control observational study. *J Clin Monit Comput*. doi:10.1007/s10877-020-00489-9
85. van de Putte P, Perlas A (2014) Gastric sonography in the severely obese surgical patient: a feasibility study. *Anesth Analg* 119(5):1105–1110. doi:10.1213/ANE.0000000000000373
86. van de Putte P, Perlas A (2014) Ultrasound assessment of gastric content and volume. *Br J Anaesth* 113(1):12–22. doi:10.1093/bja/aeu151
87. van de Putte P, Vernieuwe L, Jerjir A, Verschueren L, Tacke M, Perlas A (2017) When fasted is not empty: a retrospective cohort study of gastric content in fasted surgical patients†. *Br J Anaesth* 118(3):363–371. doi:10.1093/bja/aew435
88. van de Putte P, van Hoonacker J, Perlas A (2018) Gastric ultrasound to guide anesthetic management in elective surgical patients non-compliant with fasting instructions: a retrospective cohort study. *Minerva Anesthesiol* 84(7):787–795. doi:10.23736/S0375-9393.17.12305-9
89. Villet S, Chiolerio RL, Bollmann MD, Revelly J-P, Cayeux R N M-C, Delarue J, Berger MM (2005) Negative impact of hypocaloric feeding and energy balance on clinical outcome in ICU patients. *Clin Nutr* 24(4):502–509. doi:10.1016/j.clnu.2005.03.006
90. Voigt RM, Forsyth CB, Keshavarzian A (2019) Circadian rhythms: a regulator of gastrointestinal health and dysfunction. *Expert Rev Gastroenterol Hepatol* 13(5):411–424. doi:10.1080/17474124.2019.1595588
91. Wang Z, Ding W, Fang Q, Zhang L, Liu X, Tang Z (2019) Effects of not monitoring gastric residual volume in intensive care patients: A meta-analysis. *Int J Nurs Stud* 91:86–93. doi:10.1016/j.ijnurstu.2018.11.005
92. Wiese AN, Rogers MJ, Way M, Ballard E (2020) The impact of removing gastric residual volume monitoring and enteral nutrition rate titration in adults receiving mechanical ventilation. *Aust Crit Care* 33(2):155–161. doi:10.1016/j.aucc.2018.12.001

93. Wolthuis EK, Choi G, Delsing MC, Bresser P, Lutter R, Dzoljic M, van der Poll T, Vroom MB, Hollmann M, Schultz MJ (2008) Mechanical ventilation with lower tidal volumes and positive end-expiratory pressure prevents pulmonary inflammation in patients without preexisting lung injury. *Anesthesiology* 108(1):46–54.
doi:10.1097/01.anes.0000296068.80921.10
94. Yagmurdur H, Leblebici F (2016) Enteral nutrition preference in critical care: fibre-enriched or fibre-free? *Asia Pac J Clin Nutr* 25(4):740–746. doi:10.6133/apjcn.122015.12
95. Zhou L, Yang Y, Yang L, Cao W, Jing H, Xu Y, Jiang X, Xu D, Xiao Q, Jiang C, Bo L (2019) Point-of-care ultrasound defines gastric content in elective surgical patients with type 2 diabetes mellitus: a prospective cohort study. *BMC Anesthesiol* 19(1):179.
doi:10.1186/s12871-019-0848-x
96. Zou T-J, Ran Q-F, Yin W-H, Xu Y, He W, Yang Y, Ou-Yang B, Zhu R, Kang Y (2019) The Value of Gastric Antrum Cross-sectional Area Measured by Bedside Ultrasound Predicted Feeding Intolerance in Critically Ill Patients. *Sichuan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban* 50(6):815–820

7 Anhang

7.1 Patienteninformation

Wissenschaftliche Untersuchung der
Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie
Universitätsklinikum des Saarlandes
Direktor: Prof. Dr. med T. Volk

***Ultraschallgestützte longitudinale Bestimmung des gastralen
Residualvolumens bei enteraler Ernährung von Intensivpatienten im
Kostaufbau***

Patienteninformation

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,

in diesem Schreiben möchten wir Sie über die o.g. Studie informieren. Wir bitten Sie, diese Information sorgfältig durchzulesen und sich bei Unklarheiten an Ihren Studienarzt zu wenden, der mit Ihnen ein ausführliches Aufklärungsgespräch führen wird.

Die Ernährungstherapie spielt auf Intensivstationen eine essenzielle Rolle in der Grundversorgung von Patienten. Es ist wichtig, diese engmaschig zu überwachen, um Komplikationen wie Übelkeit und Erbrechen, Verdauungsstörungen oder Aspiration (Eindringen von Mageninhalt in die Lunge) vorzubeugen.

Im Rahmen dieser Studie soll die Ernährungstherapie anhand von Ultraschalluntersuchungen des Magens kontrolliert werden. Bei diesen Untersuchungen handelt es sich um nichtinvasive, schmerzfreie und somit nicht belastende Methoden, die nach derzeitigem Wissensstand keinerlei Nebenwirkungen aufweisen und innerhalb kurzer Zeit durchgeführt werden können. Eine einzelne Untersuchung wird dabei eine Dauer von 10 Minuten nicht überschreiten. Ihr Einverständnis vorausgesetzt, wird die Untersuchung einmalig vor Beginn der Ernährungstherapie sowie im Verlauf des Aufenthalts auf der Station etwa 2-Mal täglich, bis zur Beendigung der Ernährungstherapie oder bis zur Verlegung, durchgeführt.

Durch die in dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse ist es in Zukunft ggf. möglich, eine noch adäquatere, individualisierte und damit risikoärmere Form der Ernährung von Intensivpatienten zu konzipieren.

Die im Rahmen der Studie erhobenen Daten werden in pseudonymisierter Form, also ohne Namensnennung, gesammelt und ausgewertet. Die Bestimmungen der ärztlichen Schweigepflicht und des Datenschutzes sind zu jeder Zeit gewährleistet. Wir weisen jedoch darauf hin,

dass zu Kontrollzwecken den Überwachungsbehörden bzw. speziell autorisierten Personen eine Einsichtnahme in Ihre Krankenakte gestattet wird. Mit Ihrem Einverständnis zur Teilnahme an der Studie stimmen Sie auch dieser Offenlegung zu. Wir versichern jedoch, dass Ihre personenbezogenen Daten absolut vertraulich behandelt werden und nicht an die Öffentlichkeit gelangen. Sie haben ein Recht auf Auskunft über die Kategorien dieser Daten sowie deren Verarbeitungszwecke. In diesem Zuge haben Sie das Recht auf Berichtigung unrichtiger Daten oder Einschränkung der Verarbeitung. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden in vollständig pseudonymisierter, zusammengefasster Form veröffentlicht. Der Schutz Ihrer Daten nach aktueller Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) ist stets gewährleistet.

Abschließend möchten wir anmerken, dass Ihnen bei Ablehnung in die Teilnahme oder Widerruf keinerlei Nachteile in der Behandlung entstehen und dass Sie selbstverständlich Ihre Einwilligung jederzeit ohne Angaben von Gründen widerrufen können, ohne dass Ihnen hierdurch Nachteile entstehen. Bei Rücknahme der Teilnahme sowie bei Widerruf der Verarbeitung personenbezogener Daten besteht das Recht auf Löschung.

Der Vollständigkeit halber verweisen wir nochmals auf die Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) (siehe z.B. <https://dsgvo-gesetz.de>).

Sie erhalten hiermit eine Kopie der Informationsschrift sowie der Einwilligung zum Verbleib in Ihren Unterlagen.

Vielen Dank für Ihre Unterstützung und Ihr Verständnis.

Prof. Dr. H. V. Groesdonk

Jessica Skornik

Tizian Jahreis

7.2 Patienteneinwilligung

Einwilligung in die wissenschaftliche Untersuchung der
Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie
Universitätsklinikum des Saarlandes
Direktor: Prof. Dr. med T. Volk

***Ultraschallgestützte longitudinale Bestimmung des gastralen
Residualvolumens bei enteraler Ernährung von Intensivpatienten im
Kostaufbau***

Ich, _____ (Name, Vorname), geboren am _____ bin über Inhalt, Zielsetzung sowie über Vorteile und Risiken der wissenschaftlichen Untersuchung von Frau/Herrn Dr. _____ ausführlich aufgeklärt worden. Außerdem habe ich die schriftliche Information über diese Studie erhalten und gelesen. Ich habe die Aufklärung verstanden und alle mich interessierenden Fragen über die möglichen Vor- und Nachteile sowie spezielle Risiken wurden erschöpfend beantwortet.

Ich bin einverstanden, an dieser klinischen Untersuchung teilzunehmen.

Mir ist bekannt, dass ich meine Einwilligung in die Teilnahme an der wissenschaftlichen Untersuchung jederzeit ohne Angaben von Gründen widerrufen kann, ohne dass mir irgendwelche Nachteile entstehen.

Ort, Datum, Uhrzeit

Unterschrift des Probanden

Unterschrift des Studienarztes

7.3 Glossar

APACHE: Acute Physiology And Chronic Health Evaluation, Verfahren zur Vorhersage der Überlebenswahrscheinlichkeit von Patienten einer Intensivstation. Erhobene Variablen zur Berechnung: Temperatur, mittlerer arterieller Druck, Herzfrequenz, Atemfrequenz, Oxygenierung, pH, Natrium, Kalium, Kreatinin, Hämatokrit, Leukozyten, Glasgow-Coma-Scale, Patientenalter, Vorerkrankungen, Operationen. Diese werden über 24 h betrachtet und der schlechteste Wert (höchste Punktzahl) zur Berechnung verwendet. Aus der berechneten Maßzahl kann die Mortalität prognostiziert werden. [34, 60]

ASA: American Society of Anesthesiologists Physical Status Classification, Klassifikation zur Abschätzung des perioperativen Risikos. Klasse 1: Normaler Gesundheitszustand. Klasse 2: Leichte systemische Erkrankung. Klasse 3: Schwere systemische Erkrankung. Klasse 4: Schwere systemische Erkrankung mit ständiger Bedrohung für das Leben. Klasse 5: Ohne Operation kein Überleben erwartet. Klasse 6: Hirntoter Organspender. [54]

SAPS II: Simplified Acute Physiology Score, Maßzahl für den physiologischen Zustand eines Patienten. Erhobene Variablen zur Berechnung: Temperatur, systolischer Blutdruck, Herzfrequenz, inspiratorische Sauerstofffraktion, Urinausscheidung, Harnstoff, Harnstoff-Stickstoff, Natrium, Kalium, Leukozyten, Serum Bikarbonat, Bilirubin, Glasgow-Coma-Scale, Patientenalter, Vorerkrankungen, Zuweisung auf Intensivstation. Diese werden über 24 h betrachtet und der schlechteste Wert (höchste Punktzahl) zur Berechnung verwendet. [25, 60]

SOFA: Sepsis-related organ failure assessment score, Maßzahl zur Beurteilung des Organversagens bei Sepsis. Erhobene Variablen zur Berechnung: Mittlerer arterieller Druck, inspiratorische Sauerstofffraktion, Kreatinin, Ausfuhrmenge, Bilirubin, Thrombozyten, Katecholamine, Glasgow-Coma-Scale. Diese werden über 24 h betrachtet und der schlechteste Wert (höchste Punktzahl) zur Berechnung verwendet. [26, 60]

7.4 Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr(e)		kontinuierlichem positivem
A.	<i>lateinisch Arteria, Arterie</i>		Atemwegsdruck
AF	Atemfrequenz	CRP	C-reaktives Protein
AP	Anteroposterior	CSA	<i>englisch Cross sectional Area,</i> Querschnittsfläche
APACHE	<i>englisch Acute Physiology And Chronic Health Evaluation,</i> Verfahren zur Vorhersage der Überlebenswahrscheinlichkeit von Patienten einer Intensivstation, <u>siehe Glossar</u>	CT	Computertomographie
ASA	<i>englisch American Society of Anesthesiologists Physical Status Classification,</i> Klassifikation zur Abschätzung des perioperativen Risikos, <u>siehe Glossar</u>	d	Tag(e)
ASPEN	<i>englisch American Society for Parenteral and Enteral Nutrition, Amerikanische Gesellschaft für parenterale und enterale Ernährung</i>	DICOM	<i>englisch Digital Imaging and Communications in Medicine,</i> Digitale Bildgebung und - kommunikation in der Medizin
BE	<i>englisch Base excess,</i> Basenabweichung	EN	<i>englisch Enteral Nutrition,</i> Enterale Ernährung
BiPAP	<i>englisch Biphasic positive airway pressure,</i> Zweiphasischer positiver Atemwegsdruck	ESPEN	<i>englisch European Society for Clinical Nutrition and Metabolism, Europäische Gesellschaft für klinische Ernährung und Stoffwechsel</i>
BMI	<i>englisch Body-Mass-Index,</i> Körpermasseindex	et al.	<i>lateinisch et alii,</i> und andere
bzw.	beziehungsweise	Fa.	Firma
CC	Kraniokaudal	FiO ₂	Inspiratorische Sauerstofffraktion, Inspiratorische Sauerstofffraktion
CPAP/ASB	<i>englisch Continuous positive airway pressure + assisted spontaneous breathing,</i> Spontanatmung mit	GI	Gastrointestinal
		Glu	Glukose
		h	Stunde(n)
		Hb	Hämoglobin-Wert
		HF	Herzfrequenz
		ID	<i>englisch Identifier, Identifikator</i>
		kcal	Kilokalorie(n)
		kg	Kilogramm
		kg KG	Kilogramm Körpergewicht
		KHK	Koronare Herzkrankheit
		m	Meter

mbar	Millibar		den physiologischen Zustand eines Patienten, <u>siehe Glossar</u>
min	Minute(n)		
ml	Milliliter	SCCM	<i>englisch Society of Critical Care Medicine</i> , Gesellschaft für Intensivmedizin
mm	Millimeter		
n	Anzahl		
paCO ₂	Kohlendioxidpartialdruck	SOFA	<i>englisch Sepsis-related organ failure assessment score</i> , Maßzahl zur Beurteilung des Organversagens bei Sepsis, <u>siehe Glossar</u>
paO ₂	Sauerstoffpartialdruck		
PCT	Procalcitonin		
PEEP	Positiver endexpiratorischer Druck		
P _{insp}	Inspiratorischer Druck,	SOP	Standard Operating Procedure
	Inspiratorischer Druck	S _p O ₂	Periphere Sauerstoffsättigung
PNG	<i>englisch Portable Network Graphics</i> , portable Netzwerkgrafik	u. a.	unter anderem, unter anderem, unter anderem
		USB	<i>englisch Universal Serial Bus</i> , internationaler Standard zur Verbindung eines Computers mit externen Geräten
RR	Blutdruck		
s	Sekunde(n)		
saO ₂	Sauerstoffsättigung		
SAPS II	<i>englisch Simplified Acute Physiology Score</i> , Maßzahl für	V.	<i>lateinisch Vena</i> , Vene
		VT	Tidalvolumen
		z. B.	zum Beispiel

Abkürzungen wurden vor der ersten Verwendung in Klammern eingeführt. Maßeinheiten (physikalische Größen) und die gängigen Abkürzungen bzw., z. B. und u. a. sowie die im Glossar erklärten Fachbegriffe wurden hingegen nicht eingeführt.

7.5 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das miniaturisierte US-Gerät Sonosite iViz in der Schutzhülle mit integriertem Griff sowie der Tragetasche.....	16
Abbildung 2: Touchscreen im Scan-Modus	17
Abbildung 3: Ablauf der US-Untersuchung	18
Abbildung 4: Messergebnisse der CSA in cm ² sowie der Magenvolumina.....	27
Abbildung 5: Boxplots der Magenvolumina in ml / kg KG bei erster und letzter US-Untersuchung.....	27
Abbildung 6: Boxplots der Magenvolumina in ml / kg KG im Verlauf der Untersuchungen....	28
Abbildung 7: Boxplots der Magenvolumina in ml / kg KG bei Morgen- und Abendmessungen	29
Abbildung 8: Boxplots der Magenvolumina in ml / kg KG bei Laufraten der EN gruppiert in 20 ml / h Abständen	30
Abbildung 9: Boxplots der Magenvolumina in ml / kg KG nach verwendetem Ernährungsprodukt.....	30
Abbildung 10: Boxplots der Magenvolumina in ml / kg KG nach Auskultationsbefund der Darmgeräusche.....	31
Abbildung 11: Boxplots der Magenvolumina in ml / kg KG nach Beatmungsform	32
Abbildung 12: Zusammenhang des Magenvolumens und des Tidalvolumens im Punktdiagramm	32
Tabelle 1: Erfasste Laborparameter	19
Tabelle 2: Demographische Daten und klinischer Verlauf der Patienten.....	22
Tabelle 3: Maßzahlen zum Patientenzustand und klinischem Verlauf.....	22
Tabelle 4: Anzahl der Untersuchungen und Patienten nach Fachabteilungen	23
Tabelle 5: Ergebnisse der erfassten Laborparameter	24
Tabelle 6: Ergebnisse der erfassten Vitalparameter	24
Tabelle 7: Eigenschaften [24] und Verwendung der Ernährungsprodukte zum Untersuchungszeitpunkt.....	25
Tabelle 8: Laufrate der EN zum Zeitpunkt der Untersuchung, Durchschnittslaufrate seit der letzten Untersuchung und kumulative Gesamtmenge seit der letzten Untersuchung.....	25
Formel 1: Berechnung der Querschnittsfläche des Antrums	13
Formel 2: Berechnung des Magenvolumens in Rechtsseitenlage.....	13
Formel 3: Berechnung des Magenvolumens in Rückenlage	14

8 Publikationen

Geplante Veröffentlichung (als Erstautor):

Sonographic Evaluation of Gastric Residual Volume During Enteral Nutrition in Critically Ill Patients Using A Miniaturized Ultrasound Device

Tizian Jahreis ¹, Jessica Kretschmann ¹, Nick Weidner ², Thomas Volk ¹, Andreas Meiser ¹ and Heinrich V. Groesdonk ²

1 Department of Anaesthesiology, Intensive Care and Pain Medicine, Saarland University Medical Center and Saarland University Faculty of Medicine, Homburg, Germany

2 Department of Interdisciplinary Critical Care Medicine and Intermediate Care, Helios Klinikum Erfurt, Erfurt, Germany

Journal of Clinical Medicine (ISSN 2077-0383) | Special Issue "Interdisciplinary Intensive Care"

9 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Menschen danken, die mich bei der Erstellung dieser Dissertation unterstützt und mich auf diesem Weg begleitet haben:

Zunächst bedanke ich mich herzlich bei Herrn Prof. Dr. Heinrich Volker Groesdonk, meinem Doktorvater, für seine zuverlässige und hilfreiche Unterstützung und sein Verständnis für meine Anliegen. Danke auch für die Möglichkeit, dieses praxisnahe Thema „am Patienten“ bei meiner Promotion zu bearbeiten und die Ergebnisse in einem Paper zu publizieren.

Weiterhin gilt mein besonderer Dank Frau Dr. Jessica Kretschmann für ihre hervorragende Betreuung, ihre ständige Erreichbarkeit und den Zuspruch in den vergangenen Jahren. Besonders möchte ich mich an dieser Stelle für die motivierenden Worte – vor allem in schwierigen Phasen – bedanken.

Danke an das komplette Team der interdisziplinären operativen Intensivstation der Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie für die gute Zusammenarbeit und die Bereitstellung des Ultraschallgeräts. Ein großes Dankeschön an das gesamte Pflegepersonal der Station für zahlreiche Tipps und das freundliche Miteinander.

Vielen Dank an alle Patientinnen und Patienten, die sich bereit erklärt haben, an dieser Studie teilzunehmen. Ihnen und Ihren Angehörigen ein herzliches Dankeschön für das Einverständnis zur Teilnahme an dieser Studie.

Herzlichen Dank meiner Freundin Melissa Merkel für ihre Unterstützung und ihr Verständnis zu jeder Zeit.

Ein gesonderter Dank gilt meiner Familie, die mich während meines gesamten Studiums unterstützt haben und immer hinter mir stehen.

10 Lebenslauf

Aus datenschutzrechtlichen Gründen wird der Lebenslauf in der elektronischen Fassung der Dissertation nicht veröffentlicht.