

Aus der Klinik für Anästhesiologie  
der Universität zu Lübeck

Direktor: Prof. Dr. med. P. Schmucker

## **Atemwegs-Management in der Notfallmedizin**

Evaluation des adäquaten Atemzugvolumens  
bei Raumlftbeatmung des ungesicherten Luftweges

INAUGURALDISSERTATION

zur

Erlangung der Doktorwürde  
der Universität zu Lübeck

- Aus der medizinischen Fakultät -  
vorgelegt von

Eicke Michael Neubert  
aus Bonn

Lübeck 2007

**1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Volker Döriges**

**2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Christoph Dodt**

**Tag der mündlichen Prüfung: 16.01.2008**

**zum Druck genehmigt: 16.01.2008**

**gez. Prof. Dr. med. Solbach  
-Dekan der Medizinischen Fakultät-**



*„Da formte Gott, der Herr, den Menschen aus Erde vom Ackerboden und blies in seine Nase den Lebensatem. So wurde der Mensch zu einem lebendigen Wesen.“(1)*

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis	7
<b>1. Einleitung</b>	<b>9</b>
<b>2. Material und Methoden</b>	<b>15</b>
2.1. Beatmungsmaske / Beatmungsbeutel	15
2.2. Modellversuch	17
2.2.1. Oberer und unterer Respirationstrakt	19
2.2.2. Oberer Gastrointestinaltrakt (Magen)	20
2.2.3. Versuchsteilnehmer	21
2.2.4. Versuchsprotokoll	22
2.2.5. Datenerfassung (Modell)	22
2.2.6. Statistik (Modell)	23
2.3. Klinische Studien	25
2.3.1. Probanden	25
2.3.2. Studienprotokoll	25
2.3.3. Datenerfassung (Studien)	26
2.3.4. Statistik (Studien)	27
<b>3. Ergebnisse</b>	<b>29</b>
3.1. Ergebnisse Modellversuch	29
3.1.1. Platzierungszeit	29
3.1.2. Platzierungsversuche	30
3.1.3. Beatmungsparameter	31
3.1.3.1. Exspiratorisches pulmonales und gastrales Tidalvolumen	31
3.1.3.2. Pulmonale und gastrale Spitzendrücke	32

3.1.4.	Objektive Beurteilung des Versuchsleiters	33
3.1.5.	Subjektive Beurteilung der Versuchsteilnehmer	34
3.2.	Ergebnisse der ersten klinischen Studie	35
3.2.1.	Messungen zur Ventilation	35
3.2.1.1.	Exspiratorisches Tidalvolumen	35
3.2.1.2.	Atemwegsspitzenndruck	36
3.2.2.	Messungen zur Hämodynamik	37
3.2.2.1.	Mittlerer arterieller Blutdruck	37
3.2.2.2.	Herzfrequenz	37
3.2.3.	Messungen zu Sauerstoff- und Kohlendioxidgehalt	38
3.2.3.1.	Periphere Sauerstoffsättigung	38
3.2.3.2.	Endexpiratorischer Kohlendioxidgehalt	39
3.2.4.	Blutgasanalyse (Erste klinische Studie)	40
3.3.	Ergebnisse der zweiten klinischen Studie	42
3.3.1.	Messungen zur Ventilation	42
3.3.1.1.	Exspiratorisches Tidalvolumen	42
3.3.1.2.	Atemwegsspitzenndruck	43
3.3.2.	Messungen zur Hämodynamik	44
3.3.2.1.	Mittlerer arterieller Blutdruck	44
3.3.2.2.	Herzfrequenz	44
3.3.3.	Messungen zu Sauerstoff- und Kohlendioxidgehalt	45
3.3.3.1.	Periphere Sauerstoffsättigung	45
3.3.3.2.	Endexpiratorischer Kohlendioxidgehalt	46
3.3.4.	Blutgasanalyse (Zweite klinische Studie)	47

<b>4.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>49</b>
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>66</b>
<b>6.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>68</b>
<b>7.</b>	<b>Anhang</b>	<b>86</b>
7.1.	Abbildungsverzeichnis	86
7.2.	Tabellenverzeichnis	87
7.3.	ASA-Risikoklassen	88
7.4.	Lungenphysiologische Normalwerte	88
7.5.	Referenzbereich der kapillären BGA	89
7.6.	Verhältnis physikalischer Größen	89
7.7.	Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse	90
7.7.1.	Modellversuch	90
7.7.2.	Erste klinische Studie	91
7.7.3.	Zweite klinische Studie	93
<b>8.</b>	<b>Danksagung</b>	<b>95</b>
<b>9.</b>	<b>Curriculum vitae</b>	<b>96</b>
<b>10.</b>	<b>Veröffentlichungsliste</b>	<b>98</b>
10.1.	Originalarbeiten	98
10.2.	Poster	98
10.3.	veröffentlichte Kurzfassungen / Abstracts	99

## Abkürzungsverzeichnis

<b>Abb.</b>	Abbildung
<b>ACLS</b>	Advanced Cardiac Life Support, <i>erweiterte lebensrettende Maßnahmen der Wiederbelebung</i>
<b>AF</b>	Atemfrequenz
<b>AHA</b>	American Heart Association
<b>AMV</b>	Atemminutenvolumen
<b>ARDS</b>	Acute Respiratory Distress Syndrom, <i>akutes Lungenversagen</i>
<b>ASA</b>	American Society of Anesthesiologists
<b>BE</b>	Base Excess, <i>Basenüberschuss</i>
<b>BGA</b>	Blutgasanalyse
<b>BLS</b>	Basic Life Support, <i>Basismaßnahmen der Wiederbelebung</i>
<b>BMI</b>	Body Mass Index
<b>BURP</b>	backward, upward, rightward pressure, Manöver zur Verbesserung der Sicht auf die Stimmbänder während der Laryngoskopie
<b>ca.</b>	circa
<b>cm(H<sub>2</sub>O)</b>	Zentimeter (Wassersäule)
<b>C</b>	Compliance, <i>Lungendehnbarkeit</i>
<b>CO<sup>2</sup></b>	Kohlendioxid
<b>CPR</b>	Cardiopulmonary Resuscitation, <i>Herz-Lungen-Wiederbelebung</i>
<b>ERC</b>	European Resuscitation Council
<b>etCO<sup>2</sup></b>	entidaler Kohlendioxidgehalt
<b>FiO<sup>2</sup></b>	fraction inspiratory oxygen, <i>Sauerstoffanteil der Einatemluft</i>
<b>GV</b>	Gesamtvolumen
<b>HCO<sup>3-</sup></b>	Bicarbonat
<b>HF</b>	Herzfrequenz
<b>HLW</b>	Herz-Lungen-Wiederbelebung
<b>HZV</b>	Herzzeitvolumen
<b>ILCOR</b>	International Liaison Committee on Resuscitation
<b>kgKg</b>	Kilogramm Körpergewicht

<b>LESP</b>	lower esophageal sphincter pressure, <i>unterer Ösophagussphinkterdruck</i>
<b>MAD</b>	mittlerer arterieller Druck
<b>mbar</b>	Millibar
<b>mg</b>	Milligramm
<b>min</b>	Minute
<b>ml</b>	Milliliter
<b>mm</b>	Millimeter
<b>mmHG</b>	Millimeter Quecksilbersäule
<b>mmol</b>	Millimol
<b>MW</b>	Mittelwert
<b>µg</b>	Mikrogramm
<b>n, N</b>	Anzahl, Stickstoff
<b>O<sup>2</sup></b>	Sauerstoff
<b>p, P</b>	Signifikanzniveau, Puls
<b>pCO<sup>2</sup></b>	Kohlendioxidpartialdruck
<b>pO<sup>2</sup></b>	Sauerstoffpartialdruck
<b>Paw</b>	Atemwegsspitzenndruck
<b>PEEP</b>	positive endexpiratory peak pressure, <i>positiv endexpiratorischer Druck</i>
<b>pH</b>	potentia hydrogenii
<b>Poespeak</b>	Spitzenndruck im Ösophagus
<b>RR</b>	Blutdruck, gemessen nach RIVA-ROCCI
<b>R</b>	Resistance, <i>Atemwegswiderstand</i>
<b>SaO<sup>2</sup></b>	Sauerstoffsättigung, arteriell gemessen
<b>SpO<sup>2</sup></b>	Sauerstoffsättigung, peripher gemessen
<b>SD</b>	Standard Deviation, <i>Standardabweichung</i>
<b>UÖVD</b>	Unterer Ösophagusverschlussdruck / LESP
<b>Vtoes</b>	Tidalvolumen, in den Magen appliziert
<b>Vtex</b>	expiratorisches Tidalvolumen

## 1. Einleitung

Als Grundvoraussetzung für das (menschliche) Leben sollte die Atmung, einmal initiiert, idealerweise nicht mehr unterbrochen werden. Der Begriff Atmung repräsentiert ein komplexes Geschehen, das sowohl die aktive oder passive Ein- und Ausatmung, den Gasaustausch an der alveolo-kapillären Membran in der Lunge, als auch den auf molekularer Ebene stattfindenden Austausch von Sauerstoff gegen Kohlendioxid an der endständig verbrauchenden Zelle bezeichnet.

Der erwachsene menschliche Organismus reagiert bei Raumtemperatur circa 10 bis 15 Sekunden nach Kreislaufstillstand mit Verlust seines Bewußtseins (148). In diesem als 'freies Intervall' bezeichneten Zeitraum werden die im Blut vorhandenen Sauerstoffreserven ausgeschöpft. Zwar ist dieser Zustand für einige Minuten reversibel, doch sinkt die Chance auf eine Rückkehr zu einem störungsfreien Ausgangszustand des Organismus um ungefähr 10% pro Minute (30). Dieser als 'Wiederbelebungszeit' definierte Zeitraum ist von Organ zu Organ unterschiedlich groß und wird bestimmt durch Größen wie Durchblutungsrate, pH-Wert, Temperatur und andere das umgebende Milieu bestimmende Faktoren (171). Die Wiederbelebungszeit liegt für das Herz zum Beispiel bei circa 15 Minuten, für das Hirnparenchym bei nur circa 5 Minuten (151). Hierbei wird unter abnehmender Sauerstoffspannung Energie aus anaerober Glykolyse zur Aufrechterhaltung des Stoffwechsels bereitgestellt.

Im genauen Gegensatz zur Pathophysiologie des Kreislaufstillstandes eines Neugeborenen bzw. Säuglings, bei dem vorherrschend die Verlegung der Atemwege konsekutiv zur Beeinträchtigung der Herzfunktion führt, liegen die Ursachen eines Kreislaufstillstandes beim Erwachsenen meistens primär auf der kardialen Seite. Für den plötzlichen Herztod in den Industrieländern ist vor allem die koronare Herzkrankheit anzusehen, die häufig ihren Ausgang auf dem Boden qualitativer und quantitativer Fehlernährung sowie Bewegungsmangel hat (134). Neben diesen zur arteriosklerotischen Gefäßveränderung, Insulinresistenz und Dyslipoproteinämie führenden Faktoren wird auch der Konsum von Genussmitteln wie dem des inhalativen Tabakrauchens diskutiert. So sterben in

der Bundesrepublik Deutschland zur Zeit ca. 100.000 Menschen pro Jahr am plötzlich Herztod; dass sind ca. 15 mal mehr Todesopfer als im Straßenverkehr (45).

Neben Art und Umfang der Hilfsmaßnahmen ist der Zeitraum zwischen Einsetzen des Kreislaufstillstandes und dem Beginn der kardiopulmonalen Reanimation (CPR) ein entscheidender und damit möglichst zu limitierender Faktor (133). So erreichten Klinikentlassungsraten nach Defibrillation arrhythmiebedingter Kreislaufstillstände im gut organisierten und hochqualifizierten amerikanischen Paramedic-System bis zu 30% (47). Der Notarzteinsatzdienst Innsbruck erzielte im Vergleich dazu eine Klinikentlassungsrate nach Reanimation bei Kammerflimmern von 10%. Für diesen Unterschied werden eine niedrigere Quote von Ersthelfermaßnahmen und relativ lange Anfahrtswege und damit ein verzögertes Einsetzen der Hilfsmaßnahmen verantwortlich gemacht (147). Auch Untersuchungen aus bundesdeutschen Rettungsdienstgebieten zeigen ein schlechteres Ergebnis nach Reanimation im Vergleich zum amerikanischen System. Sie weisen vielmehr auf den Zeitfaktor und die damit verbundenen organisatorischen Rahmenbedingungen hin (149, 150).

Neben dem „wann“, ist das „wie“ der anzuwendenden Maßnahmen zur Wiederbelebung ein Faktor mit mehreren Variablen. Es sind dies im Wesentlichen drei Punkte. Hierzu zählt das Generieren eines Ersatzkreislaufs, eine Gleichschaltung beziehungsweise ein Neustart fibrillierender, also unkoordiniert arbeitender Herzmuskelzellen und das Sicherstellen einer künstlichen Beatmung. Die heute bestehenden Empfehlungen zur Herzdruckmassage entwickelten sich über viele Zwischenschritte und waren über einen langen Zeitraum eher als „opinion based“ denn als „evidence based“ einzustufen.

Von eher zweifelhaftem Erfolg waren zum Beispiel Maßnahmen zur Wiederbelebung, bei denen Tabakrauch in verschiedene Körperöffnungen appliziert wurde (4, 86). Die Royal Humane Society empfahl zum Ende des 18. Jahrhunderts die Applikation von Wärme in Form heißer Steine, die den Patienten unter die Arme und an die Hüften gelegt wurden (88).

Die Idee dabei war, dass Leben gleich Wärme bedeutet und im Umkehrschluss Wärme Leben provozieren könne.

Obwohl dem berühmten Anatom Andreas Vesalius die ersten Versuche der Herzdruckmassage am Tier zur Mitte des 16. Jahrhunderts zugeschrieben werden, dauerte es noch fast 300 Jahre, bis praktikable Methoden zur Wiederbelebung erarbeitet wurden (128). Der Physiologe Moritz Schiff reanimierte 1874 erstmals Tiere am offenen Herzen, nachdem er sie zuvor mittels Chloroform narkotisierte (59). Diese Methode konnte am Menschen jedoch erst sechzig Jahre später angewendet werden, als die Möglichkeiten der Anästhesie und Thoraxchirurgie weit genug entwickelt waren. Ingelsrud nahm 1901 Schiffs Methode auf und reanimierte erstmals erfolgreich am geschlossenen Thorax (107). Fünf Jahre später konnte Crile schon vierzig Reanimationsversuche mit einem „Restitutio ad integrum“- Anteil von zweiundzwanzig Prozent vorweisen (28).

Ein weiterer Hauptbestandteil aktueller Reanimationsalgorithmen ist nach wie vor die externe Überdruckbeatmung.

Schon zu biblischen Zeiten wurde sie als Mund-zu-Mund Beatmung durchgeführt (2, 126, 164). Es folgte die Verwendung von Blasebälgen aus Tierhäuten, wie sie an Feuerstellen, zum Beispiel bei Schmieden, verwendet wurden. Auf diese Art beatmete der griechische Gelehrte Galen im 2. nachchristlichen Jahrhundert von ihm thorakotomierte Schweine (7). In der Mitte des 18. Jahrhunderts entwickelte der schottische Arzt Hunter einen Beatmungsbeutel, mit dem er positiven und negativen Druck aufbauen konnte. Die Beatmungsluft konnte erstmals appliziert und auch wieder abgesaugt werden (101). Später etablierte sich der Einsatz von mechanischen Pumpen wie zum Beispiel der ab 1907 von der Firma Dräger produzierte Pulmotor. Im Kern bestand diese tragbare Beatmungseinheit aus Ventilen, die von einem Uhrwerk angetrieben wurden. Die mit Überdruck über eine umgeschnallte Gesichtsmaske applizierte Atemluft wurde in einem zweiten Arbeitstakt abgesaugt. Dieses Beatmungsgerät wurde bis in die siebziger Jahre des letzten Jahrhunderts bei der Armee, den Feuerwehren und Rettungsdiensten verwendet (153).

Während der Polioepidemien der fünfziger Jahre des 20. Jahrhunderts stieg die Nachfrage nach einem einfach zu bedienenden und effizienten Beatmungsmittel um die stetig wachsende Zahl beatmungspflichtiger Patienten versorgen zu können. Der Däne Henning Ruben entwickelte einen circa 1500 ml fassenden Beatmungsbeutel, der auf seiner Innenseite mit einer weichen Gummischicht

versehen war. Dadurch entfaltete sich der Beutel nach seiner Kompression von selbst und saugte gleichzeitig Umgebungsluft für die nächste Kompression an. Ein ebenfalls von Ruben entwickeltes Nicht-Rückatmungsventil garantierte eine Trennung von in- und expiratorischem Atemgas (136, 138). Diese Methode findet heute, fünfzig Jahre nach ihrer Erfindung, immer noch Anwendung und wird zur Erstversorgung Ateminsuffizienter empfohlen (75, 115).

Der Beatmungsbeutel bietet sowohl die Möglichkeit zur assistierten, also den Patienten in seiner Atmung unterstützenden, als auch zur kontrollierten Form der Beatmung. Hierbei wird der Patient durch überatmosphärischen Druck beatmet. Die Expiration findet passiv durch die Rückstellkräfte des Thorax statt. Um den Sauerstoffanteil der Inspirationsluft zu erhöhen, besteht die Möglichkeit zur Verwendung eines Sauerstoffreservoirs, das vor das Ansaugventil des Beatmungsbeckens geschaltet wird. Bei der Verwendung eines Demandventils, das ebenfalls an einen Beatmungsbeutel angeschlossen werden kann, wird ähnlich dem Lungenautomaten eines Tauchers, ein Nachströmen von Sauerstoff aus einem Druckzylinder getriggert. Der Patient atmet dann reinen Sauerstoff ein.

Die Mund zu Mund Atemspende durch den Ersthelfer wird heute erneut diskutiert, weil die Angst in der Bevölkerung wächst, sich mit einem Hepatitis-, HIV oder anderen Erregern infizieren zu können (9, 23, 24, 73, 123, 160). Eindrucksvoll zeigen dies Studien, in denen sich im Gesundheitswesen tätige Ärzte und Schwestern weigern, in einer Notfallsituation Atemspende zu leisten (20, 36, 76, 112). Studien über ein besseres Ergebnis nach frühzeitiger Beatmung bei Schock und Kreislaufstillstand belegen jedoch deren Nutzen. Eine frühe und suffiziente Oxygenierung ist somit möglicherweise lebensrettend (167).

Die effektive und vor allem sichere Beatmung eines Bewußtlosen kann allerdings nur durch eine endotracheale Intubation, das heißt das Einbringen eines Beatmungsschlauches in die Luftröhre, gewährleistet werden. Dieses Verfahren bleibt wegen seiner Komplexität und der damit verbundenen Risiken wie Fehlintubation in die Speiseröhre mit konsekutiver Magenbeatmung oder multipler intraoraler und laryngealer Verletzungsmöglichkeiten den im Notfall-Atemwegs-Management Trainierten vorbehalten. Dies sind in der Regel Rettungssanitäter und Rettungsassistenten, zum überwiegenden Teil jedoch notärztliches Personal. Gelingt die endotracheale Intubation nicht oder ist diese

gar nicht erst verfügbar, wird eine Beatmung durch das Beutel-Masken-System empfohlen (115).

Neben den Vorteilen der Maskenbeatmung wie leichte Erlernbarkeit, schnelle Verfügbarkeit und geringer technischer Aufwand stehen jedoch auch deutliche Nachteile und Risiken. Analog zur Größe und Form des Gesichtes ist zur effektiven Beatmung eine geeignete Maskenart und -größe zu wählen um Undichtigkeiten und damit eine Hypoventilation zu vermeiden. Auch Zahnlosigkeit, Kieferfehlstellungen, Vollbärte oder ähnliches können eine sichere Maskenbeatmung behindern. Durch die Verbindung von Luft- und Speiseweg im Larynx besteht neben der gewollten pulmonalen Ventilation auch die Gefahr der Mageninsufflation mit nachfolgender Möglichkeit der Regurgitation und Aspiration von Blut, Schleim und Mageninhalt (32).

Ab der zehnten der insgesamt dreiundzwanzigsten Verzweigungsgenerationen der Lunge liegt der Durchmesser der Bronchiolen zwischen 0,5 und 1 Millimeter.

Der Gasaustausch findet jedoch erst tiefer, ab der sechzehnten Verzweigungsgeneration, in den Bronchioli respiratorii, statt. Der Verschluss dieser feinen Luftwege kann nicht nur Entzündungen im Sinne einer akuten Aspirationspneumonie, sondern auch eine Unterbrechung des Gasaustausches mit deletären Folgen nach sich ziehen.

Durch das Sistieren der Durchblutung des unteren Ösophagusphinkters während des Kreislaufstillstandes sinkt dessen Verschlussdruck bereits nach wenigen Minuten drastisch ab. Das Nachlassen dieser Barrierefunktion ermöglicht sowohl eine leichtere Magenbelüftung als auch eine leichtere retrograde Entleerung. Ein überblähter Magen führt zu einem erhöhten intraabdominellen Druck, der durch eine zunehmende Behinderung der Zwerchfellexkursion zu einer reduzierten Gesamtcompliance des Thorax führen kann. Es erfolgt eine Umverteilung der Atemgase zu Ungunsten der Lungenbelüftung, ein Circulus vitiosus entsteht (Abb.20).

Zur Reduktion maskenassoziierter Probleme wird die Verwendung verschiedener supraglottischer Beatmungshilfen, wie zum Beispiel der Larynxmaske, des doppelumigen Kombitubus oder des Larynxtubus diskutiert (5, 6, 18, 38, 39, 40, 41, 44, 50, 78, 104, 117, 159) und in den aktuellen Richtlinien des ERC in den zur kardiopulmonalen Reanimation als Alternative bei unmöglicher endotrachealer

Intubation empfohlen (115). Als einen weiteren Schritt zur Reduktion der Magenbeatmung hatte die „Airway and Ventilation Management Working Group“ des European Resuscitation Council im Jahr 1996 erstmals die Verwendung kleinerer Tidalvolumina von circa 500 ml, anstatt der von der American Heart Association bisher empfohlenen 1000 ml, erörtert (3, 48). Interessanterweise existierten zum Zeitpunkt dieser vorläufigen Empfehlungen bis auf eine kleine klinische Anwendungsstudie keine prospektiven, kontrollierten klinischen Untersuchungen (8).

Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es, mittels drei verschieden großer Beatmungsbeutel (700 ml, 1100 ml, 1500 ml Volumen) festzustellen, wie groß das applizierte Tidalvolumen unter Beutel-Masken-Beatmung mit Raumluft sein muss, um eine ausreichende Ventilation und Oxygenierung sicherzustellen, die Magenbeatmung jedoch auf ein Minimum zu reduzieren.

Dazu wurde in einem ersten Untersuchungsabschnitt ein etabliertes Modell eines bewußtlosen, beatmungspflichtigen Patienten mit ungeschütztem Luftweg verwendet. Der nachfolgende zweite Untersuchungsabschnitt bestand aus zwei klinischen Studien an narkotisierten Patienten.

Hierbei sollten die tatsächlich erforderlichen Atemzugvolumina bei Beutel-Masken-Beatmung mit Raumluft evaluiert und verifiziert werden.

## 2. Material und Methoden

Der Versuchsaufbau gliederte sich in zwei Teile. Zu Beginn wurde ein Versuch an einem etablierten Beatmungsmodell zur Messung von Lungen- und Magenbelüftung durchgeführt. Diesem Versuch folgten zwei Untersuchungen zur Oxygenierung am narkotisierten Patienten. In der ersten Untersuchung wurde in randomisierter Reihenfolge zunächst ein Kinderbeatmungsbeutel mit einem Volumen von 700 ml gegen einen Erwachsenenbeatmungsbeutel mit 1500 ml getestet. In einer zweiten Studie wurde ein neu entwickelter Beatmungsbeutel mit 1100 ml mit einem Erwachsenenbeatmungsbeutel verglichen.

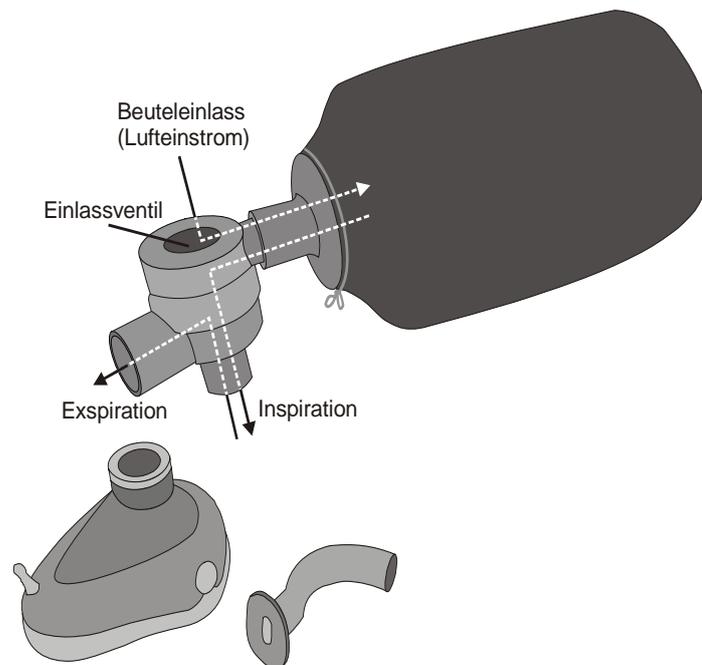
### 2.1. Beatmungsmaske / Beatmungsbeutel

In Anlehnung an reale Reanimationsverhältnisse wurde ein Guedeltubus der Größe 4 (Rüsch, Kern, Deutschland) zum Offenhalten der Atemwege in den Mund des Beatmungskopfes bzw. des Probanden eingeführt. Zur Beatmung wurde die Maske mit dem „C-Griff“ auf Mund und Nase gedrückt (152, Abb.1).



**Abb.1:** C-Griff, Darstellung nach Schulte am Esch, Kochs, Bause

Zur Raumluftventilation wurde sowohl für den Modellversuch als auch für die klinischen Studien ein Kinderbeatmungsbeutel mit einem Volumen von 700 ml, ein Erwachsenenbeatmungsbeutel mit 1500 ml Volumen (Dräger, Lübeck, Deutschland), sowie ein neu entwickelter Beatmungsbeutel mit 1100 ml Volumen (Dräger, Lübeck, Deutschland) verwendet. Die Beatmungsbeutel wurden jeweils mit einer Gesichtsmaske Größe 4, (Ambu, Hanau, Deutschland) kombiniert. Zwischen Beatmungsbeutel und Gesichtsmaske war ein Nicht-Rückatemventil eingebaut. Beim Zusammendrücken des Beutels strömt die sich im Beutel befindliche Luft durch das Ventil in die Beatmungsmaske. Die Expirationsluft des Patienten entweicht durch eine separate Öffnung. Bei Expansion füllt sich der Beutel mit Raumluft. Auf diese Weise sind In- und Expirationsgase streng von einander getrennt. Der Sauerstoffanteil bleibt also maximal hoch, weil sich die Atemgase nicht mischen können. (Abb.2)



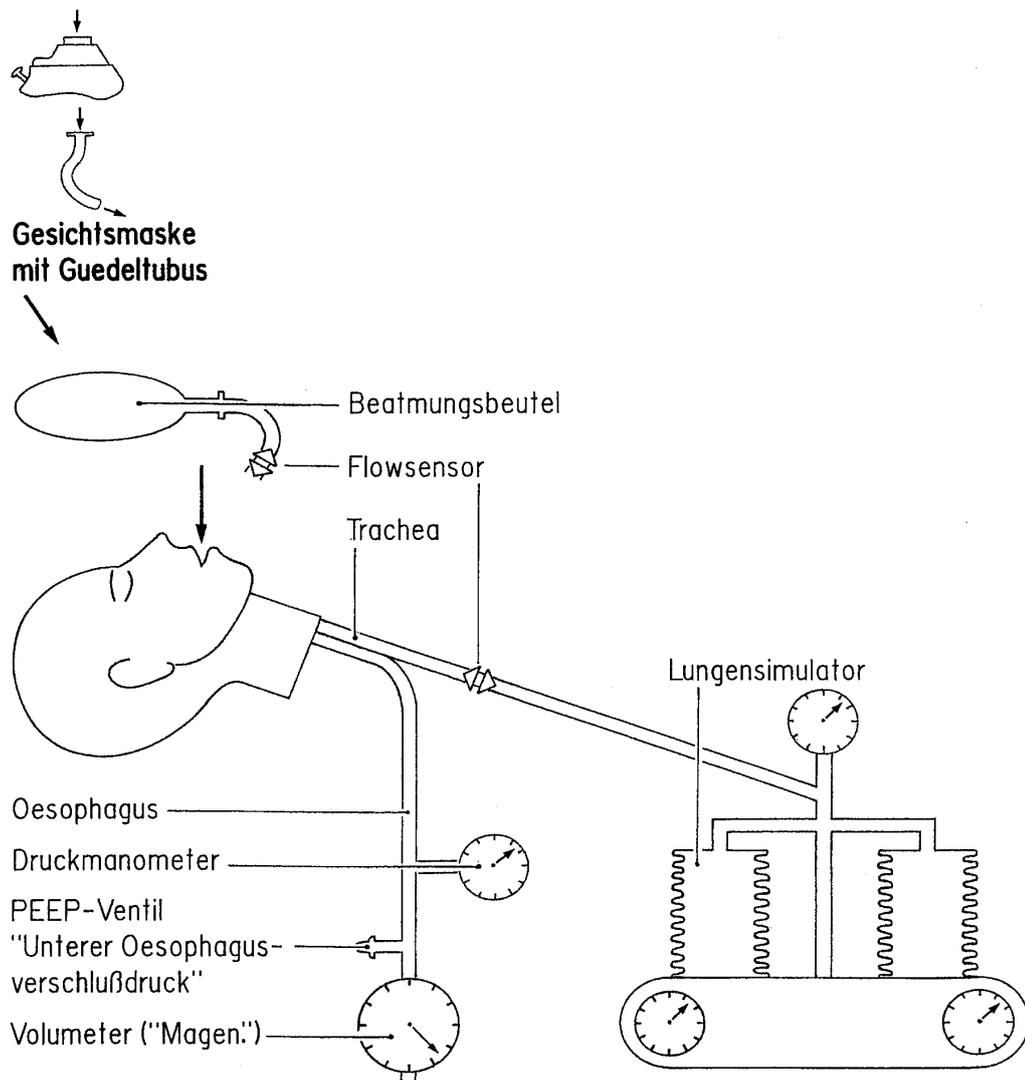
**Abb.2:** Selbstexpandierender Beatmungsbeutel mit Gesichtsmaske und Guedeltubus

## 2.2. Modellversuch

Als Labormodell zur Erhebung wissenschaftlicher Daten wurde über viele Jahre ein Intubationstrainer benutzt, der regelhaft im Rahmen der Ausbildung von Rettungsassistenten benutzt wird. Dieser Intubationstrainer besteht aus einem Kunstkopf der über Mund und Nase eine Ventilation eines trachealen und eines ösophagealen Ausganges erlaubt. Der Unterschied zum menschlichen Kopf besteht zum einen aus vergrößerten oropharyngealen Abmessungen, die das Einführen des Laryngoskopes zur Intubation erleichtern sollen. Zum anderen ist der aus Kunststoff bestehende Kopf härter als die Gesichtshaut des Menschen, was das Abdichten der Gesichtsmaske nur in Annäherung wiedergibt.

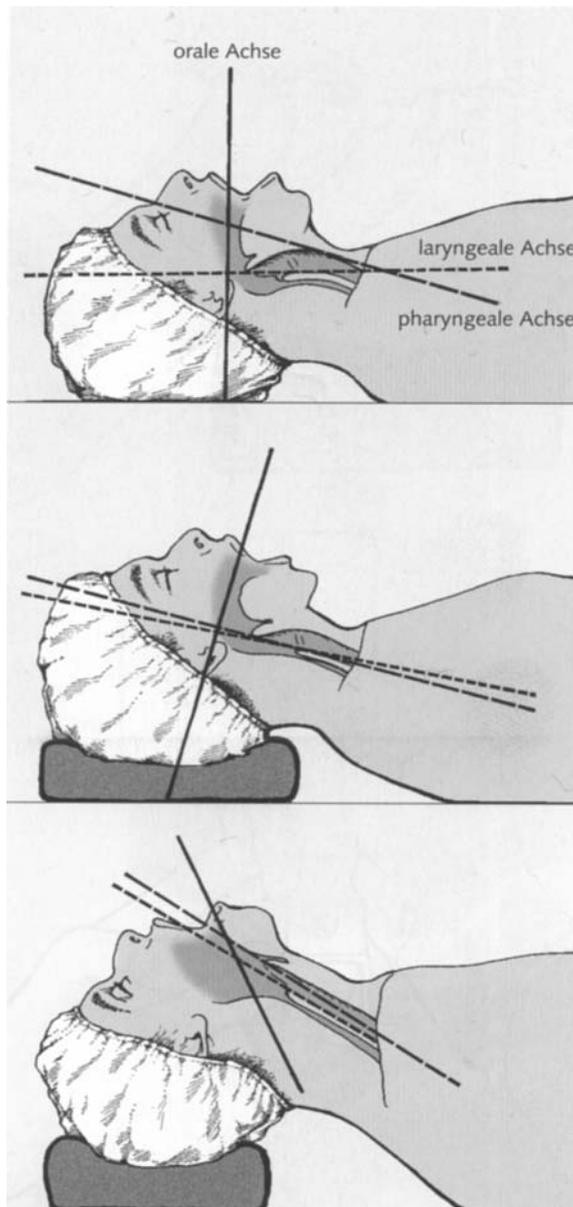
So verwendet Melker seit Mitte der 1980er Jahre einen Intubationstrainingskopf zu wissenschaftlichen Zwecken. Sowohl Wenzel, Sauer als auch Dörges entwickelten das Modell später weiter, womit eine suffiziente Beutel-Maskenbeatmung und das Erheben reproduzierbarer Daten nun möglich war (37, 105, 145, 177, Abb.3). Dieses Modell des ungeschützten Luftweges besteht aus einem in Rückenlage positionierten Beatmungskopf mit trachealem und ösophagealem Ausgang, einer mechanischen Testlunge, einem Magenmodell, sowie zwei Aufzeichnungsmonitoren.

## Beutel-Masken-Beatmung



**Abb.3:** Modell zur Überdruckbeatmung bei ungesichertem Luftweg

### 2.2.1. Oberer und unterer Respirationstrakt des Modells

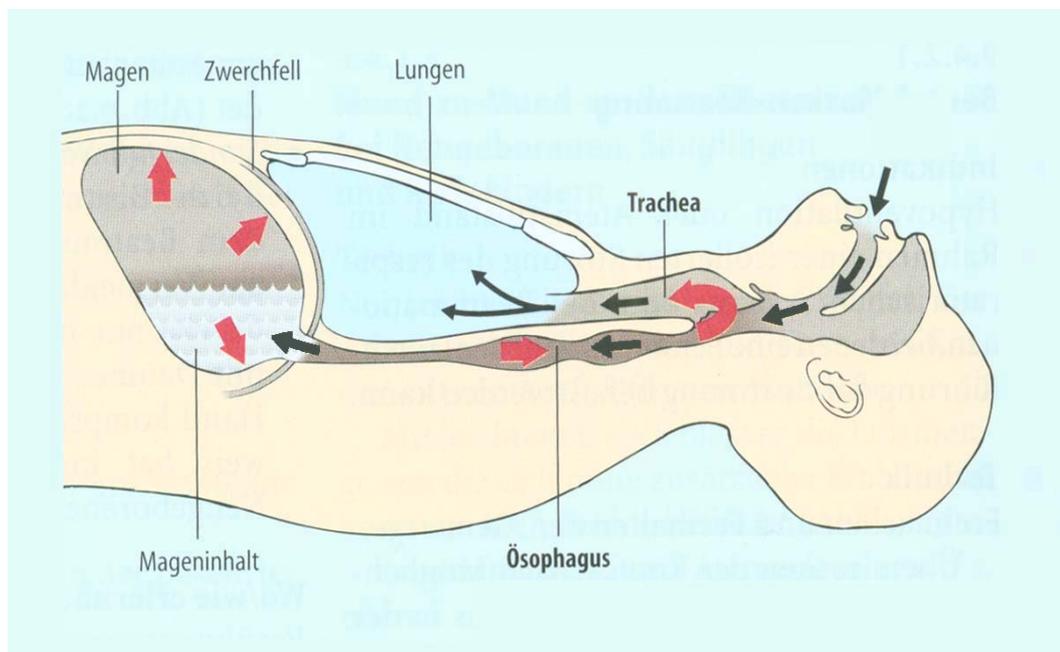


**Abb.4:** Verbesserte Jackson Position, aus: Larsen, R.,  
Anästhesie, 6. Auflage, 2000

Die Anforderung an das Modell bestand darin, die durch einen Kreislaufstillstand veränderten Ventilationsverhältnisse eines Erwachsenen zu simulieren. Das Modell setzte sich aus einem Intubationstrainingskopf (Bill 1, VBM Medizintechnik Sulz, Deutschland) mit einem trachealen und oesophagealen Ausgang zusammen. Der Intubationstrainingskopf war durch eine Kissenunterlage erhöht und im Atlantooccipitalgelenk rekliniert. In der dadurch simulierten sogenannten „verbesserten Jackson-Position“ stellen sich die oberen Atemwege und damit auch die Stimmritze besser dar (98, Abb.4). Der tracheale Ausgang des Intubationstrainers war mit einer mechanischen Testlung (LS 800, Dräger, Lübeck, Deutschland) verbunden.

### 2.2.2. Oberer Gastrointestinaltrakt (Magen) des Modells

Der ösophageale Ausgang des Trainingskopfes wurde mit einem Manometer, einem justierbaren PEEP Ventil und einem Pädiatrievolumeter (+/- 2%) gekoppelt. Das Manometer zeigte den Beatmungsdruck an. Das PEEP Ventil erlaubte die genaue Justierung eines Grenzdruckes (6 cmH<sub>2</sub>O), bei dessen Überschreitung sich das Ventil öffnete (17); die abgeblasene Luftmenge wurde mit dem Volumeter gemessen. Dieser Versuchsaufbau simulierte somit einen Patientenmagen, der eine Quantifizierung der durch die Beutel-Masken-Beatmung insufflierten Luftmenge ermöglichte (58, Abb.5)



**Abb.5:** Mechanismus der Regurgitation nach Überdruckbeatmung des ungeschützten Luftweges, modifizierte Darstellung nach Gorgaß, Ahnefeld, Rossi

### **2.2.3. Versuchsteilnehmer**

Als Versuchsteilnehmer wählten wir 26 Ärzte / -innen (12 weiblich, 14 männlich, Alter: 26 - 46 Jahre, Median 30 Jahre) aus den Fachrichtungen Allgemeinmedizin, Chirurgie, Innere Medizin, Ophthalmologie, Orthopädie und Gynäkologie ohne notfallmedizinische Vorkenntnisse aus. Die Teilnehmer hatten eine klinische Berufserfahrung zwischen einem und vier Jahren und befanden sich in der theoretischen Ausbildung zum Notarzt.

#### **2.2.4. Versuchsprotokoll**

Jeder Teilnehmer wurde in einer zehnminütigen Einweisung mit dem Modell vertraut gemacht. Dieses sollte einen 70 kg schweren Erwachsenen simulieren, der gemäß allgemeiner Lehre und dem eigenen Kenntnisstand entsprechend ohne weitere Vorgaben zu beatmen war (69).

Sowohl die Reihenfolge der Versuchsteilnehmer, als auch die der verschiedenen Beatmungsbeutel, wurden vor dem Versuch randomisiert. Nach einem Funktionstest des Versuchsaufbaus und einer Kalibrierung des unteren Ösophagussphinkterdruckes wurde der Beatmungsversuch begonnen. Die Teilnehmer beatmeten das Modell über einen Zeitraum von zwei Minuten, nachdem ein erster adäquater Atemzug erreicht worden war. Das war der Fall, wenn ein expiratorisches Tidalvolumen ( $V_{tex}$ ) von mindestens 200 ml gemessen wurde (8). Benötigte der Proband hierfür mehr als 180 Sekunden, galt dies als Fehler und der Versuch wurde abgebrochen. Die Teilnehmer hatten keine Einsicht in die Messdaten.

#### **2.2.5. Datenerfassung (Modell)**

Folgende Messwerte wurden ermittelt und vom Versuchsleiter auf einem Dokumentationsbogen notiert (Abb.6):

Geschlecht, Alter, Fachrichtung und Berufserfahrung, sowie die subjektive Einschätzung der Versuchsteilnehmer in bezug auf ihre Vorkenntnisse in der Beutel-Masken-Beatmung.

- Atemwegsspitzenndruck = peak airway pressure =  $P_{aw}$
- Expiratorisches Tidalvolumen =  $V_{tex}$
- Atemminutenvolumen =  $AMV$
- ösophagealer Spitzenndruck =  $P_{oes}$
- Tidalvolumen im Magen =  $V_{toes}$
- Minutenvolumen im Magen =  $MV_{oes}$
- Gesamtvolumen im Magen =  $GV_{oes}$

Drücke, Atemzug- und Gesamtvolumina an Lunge und Magen wurden nach einer und nach zwei Minuten erfasst.

Weiterhin wurde die Zeit bis zum ersten adäquaten Atemzug, Platzierungsversuche, Dichtigkeit und in-Position-halten der Maske sowie der sichtbare Erfolg der Ventilation vom Versuchsleiter auf einer Skala von 1 bis 4 bewertet.

Abschließend sollten die Versuchsteilnehmer selbst den jeweiligen Beatmungsbeutel in bezug auf die Handhabung ebenfalls auf einer Skala von 1 bis 4 beurteilen.

#### **2.2.6. Statistik (Modell)**

Alle Analysen wurden mit SPSS (Statistical Package for Social Sciences, Chicago, Illinois, USA) mit einem Signifikanzniveau von 0,05 errechnet. Zum Vergleich der Beutelgrößen wählten wir den Mann-Whitney-U-Test.

**Erhebungsbogen „Airway-Management“**  
(Zutreffendes bitte ankreuzen)

Beutelgröße: 700 ml  1100 ml  1500 ml

Protokollnummer: Datum: Fachrichtung: .....

Geschlecht: w  m  Alter Berufserfahrung: ..... Jahre

Vorkenntnisse in Maskenbeatmung: sehr gut  gut  mäßig  keine

Zeitbedarf bis zur 1.adäquaten Ventilation

(Beginn der Maßnahmen – 1. adäquater Atemhub) ..... sec.

Anzahl der Platzierungsversuche: 1  2  >2

Zeitbedarf bis 1. adäquate Ventilation > 180 sec.

Beatmungsparameter Oesophagus:

1.adäq. Atemhub	P oes	Vt oes
1 min. Beatmung	P oes	MV oes
2 min. Beatmung	P oes	GV oes

Beatmungsparameter Lunge:

1.adäq. Atemhub	P aw	Vt ex	
1 min. Beatmung	P aw	Vt ex	AMV
2 min. Beatmung	P aw	Vt ex	GV

Handhabung der Hilfsmittel: sehr gut  gut  mäßig  schlecht

Plazierung u. in Position halten

Dichtigkeit

Ventilation

Allgemeine Handhabung: sehr gut  gut  mäßig  schlecht

(subjektive Einschätzung)

**Abb.6:** Messprotokoll für das Beatmungsmodell

## **2.3. Klinische Studien**

### **2.3.1. Probanden**

Untersuchungen zur Oxygenierung an Patienten unter Reanimation schließen sich aus ethischen Gründen jedoch aus. Realitätsnahe Messungen sind jedoch an narkotisierten Patienten sehr wohl möglich. Die Untersuchungen wurden im Rahmen der Narkoseeinleitung an der Universität Lübeck durchgeführt. Nach Zustimmung der Ethikkommission (Aktenzeichen 98-078) und einer schriftlichen Einverständniserklärung nahmen jeweils zur Hälfte Männer und Frauen teil, die sich kleineren chirurgischen Routineeingriffen unterzogen. Keiner der Teilnehmer litt an Vorerkrankungen des Atmungsapparates oder des Herz-Kreislaufsystems. Das Narkoserisiko aller Patienten war präoperativ nach ASA 1 -2 eingestuft worden. (ASA-Klassifikation siehe Anhang).

### **2.3.2. Studienprotokoll**

Nachdem entsprechend der üblichen Vorgehensweise die Patienten seit 22:00 Uhr des OP-Vortages nüchtern geblieben waren, wurde die Allgemeinnarkose standardisiert mit Fentanyl (2µg/kg) und Propofol 1% (2,5-3,5 mg/kg) eingeleitet. Während der Einleitungsphase atmeten die Patienten Raumluft und wurden nicht präoxygeniert. Nach Erreichen der notwendigen Narkosetiefe (Erlöschen des Lidreflexes) wurden in der ersten Studie 40 Patienten in randomisierter Reihenfolge fünf Minuten lang entweder mit einem 700 ml (n=20), oder mit einem 1500 ml (n=20) Beatmungsbeutel beatmet. In der zweiten Studie wurden fünfzig Patienten ebenfalls in randomisierter Reihenfolge fünf Minuten lang entweder mit einem 1100 ml (n=25), oder einem 1500 ml (n=25) Beatmungsbeutel beatmet. Es folgte die endotracheale Intubation als regelrechte Form der Atemwegssicherung für die jeweils anstehende Operation. Die Narkosen wurden durch zwei Anästhesisten im vierten und fünften Ausbildungsjahr durchgeführt.

Sie wurden gebeten, ihrer Erfahrung gemäß, eine Beutel-Masken-Beatmung mit einer Frequenz von fünfzehn Beatmungen pro Minute durchzuführen. Um die Sicherheit der Patienten in jedem Falle zu gewährleisten war bei einem Abfall der peripheren Sauerstoffsättigung unter 90% der Versuch sofort zu beenden und die Narkose auf konventionelle Weise fortzuführen. Die Anästhesisten konnten nur die für die Narkose wichtigen Größen des Standardmonitorings einsehen und waren nicht an der Auswertung der Studie beteiligt.

Auf einem Protokollbogen wurden für jeden Patienten nachstehende Werte dokumentiert: Alter, Gewicht, Geschlecht, ASA-Klassifikation, verwendete Beatmungsbeutelgröße und Art des Eingriffs.

Vor Einleitung der Narkose wurde die periphere Sauerstoffsättigung per Fingerclip, der nichtinvasiv gemessene Blutdruck und die Pulsfrequenz gemessen und dokumentiert (Abb.7).

Nach Einleitung der Narkose wurden zur ersten, zweiten, dritten, vierten und fünften Minute die peripher gemessene Sauerstoffsättigung, die endexpiratorische Kohlendioxidkonzentration, der nicht invasiv gemessene Blutdruck, die Herzfrequenz, das expiratorische Tidalvolumen, das Atemminutenvolumen, die Atemfrequenz und der Atemwegspitzendruck gemessen und dokumentiert. Vor Narkoseeinleitung und nach fünfminütiger Maskenbeatmung mit Raumluft wurde jeweils eine kapilläre Blutgasanalyse (BGA) aus dem Ohrläppchen durchgeführt. Es wurden mit der BGA die Sauerstoffsättigung, der Sauerstoffpartialdruck, der Kohlendioxidpartialdruck, der pH-Wert, das Natriumbicarbonat und der Basenüberschuss gemessen und protokolliert (10, 156).

Nach Beendigung der Messungen wurden die Narkosen in üblicher Weise fortgesetzt.

### **2.3.3. Datenerfassung (Studien)**

Atemfrequenz, endexpiratorisches Tidalvolumen, Minutenvolumen, Atemwegspitzendruck, endexpiratorische Kohlendioxidkonzentration und periphere Sauerstoffsättigung wurde auf 2 Beatmungsmonitoren AS 3 (Datex Ohmeda, Helsinki, Finnland) angezeigt.

Alle Blutgasanalysen wurden mit einem Analysegerät vom Typ ABL 520 (Radiometer, Kopenhagen, Dänemark) erstellt.

Im Rahmen des Standardmonitorings wurde der Blutdruck alle zwei Minuten nichtinvasiv, automatisch gemessen und eine Dreipunkt- EKG- Ableitung fortlaufend angezeigt. Zur Kontrolle der Magenbelüftung wurde ein Stethoskop auf das obere Abdomen geklebt, wobei der abhörende Untersucher nicht wusste, mit welcher Beutelgröße jeweils beatmet wurde. Thema und Inhalt der Studie, sowie die erhobenen Ergebnisse wurden den Anästhesisten erst nach Abschluss der Datenerhebung bekannt gegeben.

#### **2.3.4. Statistik (Studien)**

Alle statistischen Größen wurden mit SPSS (Statistical Package for Social Sciences, Chicago, Illinois, USA) errechnet. Zum Vergleich der Patientendaten, der Beatmungsparameter und der Blutgas-Variablen in den Gruppen der jeweiligen Beatmungsbeutel wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet. Der paarweise Vergleich der Einzeldaten erfolgte mit dem Wilcoxon-Test. Die Signifikanz wurde mit  $\leq 0,05$  festgelegt.

## Studie Airway Management: Beutelgröße

Codenummer

Patientendaten: Alter:            Geschlecht: ♂ ♀            ASA:            ggf. Eingriff:

Beutelgröße:    1500ml     750ml

Narkoseeinleitung: 2,5-3,5mg/kgKG Propofol; 2µg/kgKG Fentanyl

Narkosefortführung: 10mg/kgKG/h Propofol

Ausgangswerte:	SaO <sub>2</sub>		RR	P
1min Beatmung:	SaO <sub>2</sub>	etCO <sub>2</sub>	RR	P
	VTex	AMV	AF	Paw
2min Beatmung:	SaO <sub>2</sub>	etCO <sub>2</sub>	RR	P
	VTex	AMV	AF	Paw
3min Beatmung:	SaO <sub>2</sub>	etCO <sub>2</sub>	RR	P
	VTex	AMV	AF	Paw
4min Beatmung:	SaO <sub>2</sub>	etCO <sub>2</sub>	RR	P
	VTex	AMV	AF	Paw
5min Beatmung:	SaO <sub>2</sub>	etCO <sub>2</sub>	RR	P
	VTex	AMV	AF	Paw

### Blutgasanalyse:

vor Einleitung:

nach 5 Minuten:

SaO<sub>2</sub>

SaO<sub>2</sub>

pO<sub>2</sub>

pO<sub>2</sub>

pCO<sub>2</sub>

pCO<sub>2</sub>

ph

ph

HCO<sub>3</sub>

HCO<sub>3</sub>

BE

BF

**Abb.7:** Messprotokoll für die OP-Studien

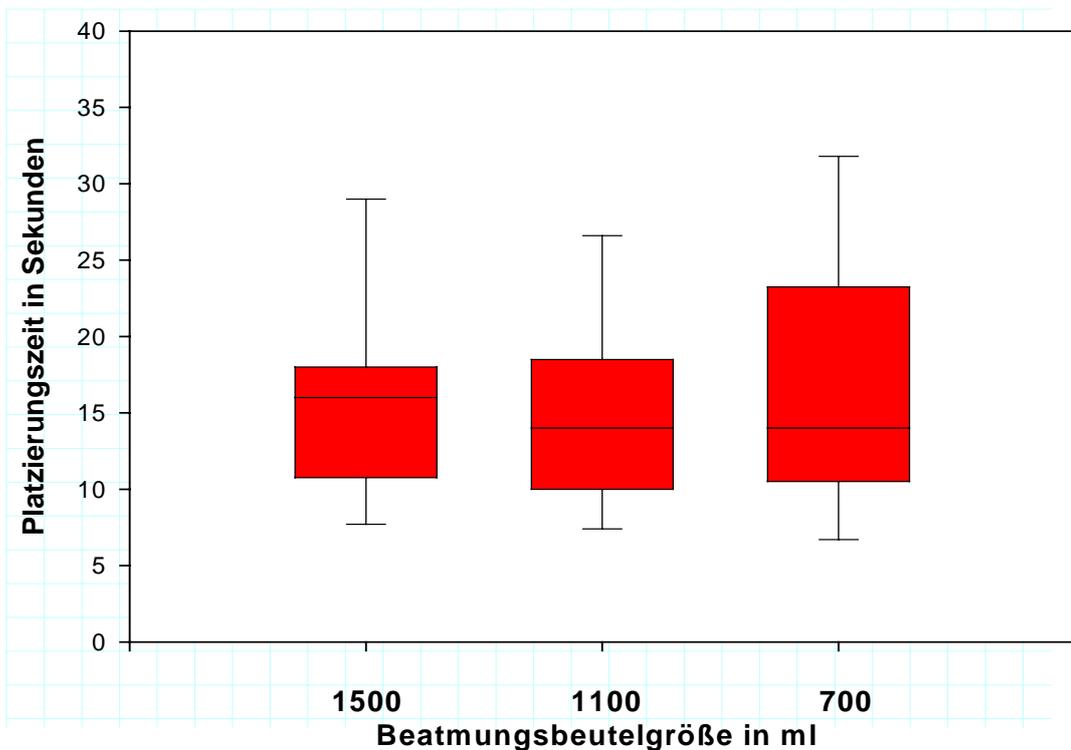
### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Ergebnisse Modellversuch

##### 3.1.1. Platzierungszeit

Der Zeitraum bis zum Erreichen des ersten adäquaten Atemzugs (Platzierungszeit) reichte beim 1500 ml Beutel von 7 - 38 Sekunden (Median 16s), beim 1100 ml Beutel von 5 - 38 Sekunden (Median 14s) und beim 700 ml Beutel von 4 - 107 Sekunden (Median 14s).

In bezug auf die Platzierungszeit ergaben sich zwischen den drei Beatmungsbeuteln keine signifikanten Unterschiede (Abb.8, siehe Anhang).



**Abb.8:** Platzierungszeit in Sekunden der Gesichtsmaske mit drei verschieden großen Beatmungsbeuteln am Modell. Die dargestellten Boxplots entsprechen der 25. bis 75. Perzentile mit Median. Die Whisker entsprechen der 5. bis 95. Perzentile.

### **3.1.2. Platzierungsversuche**

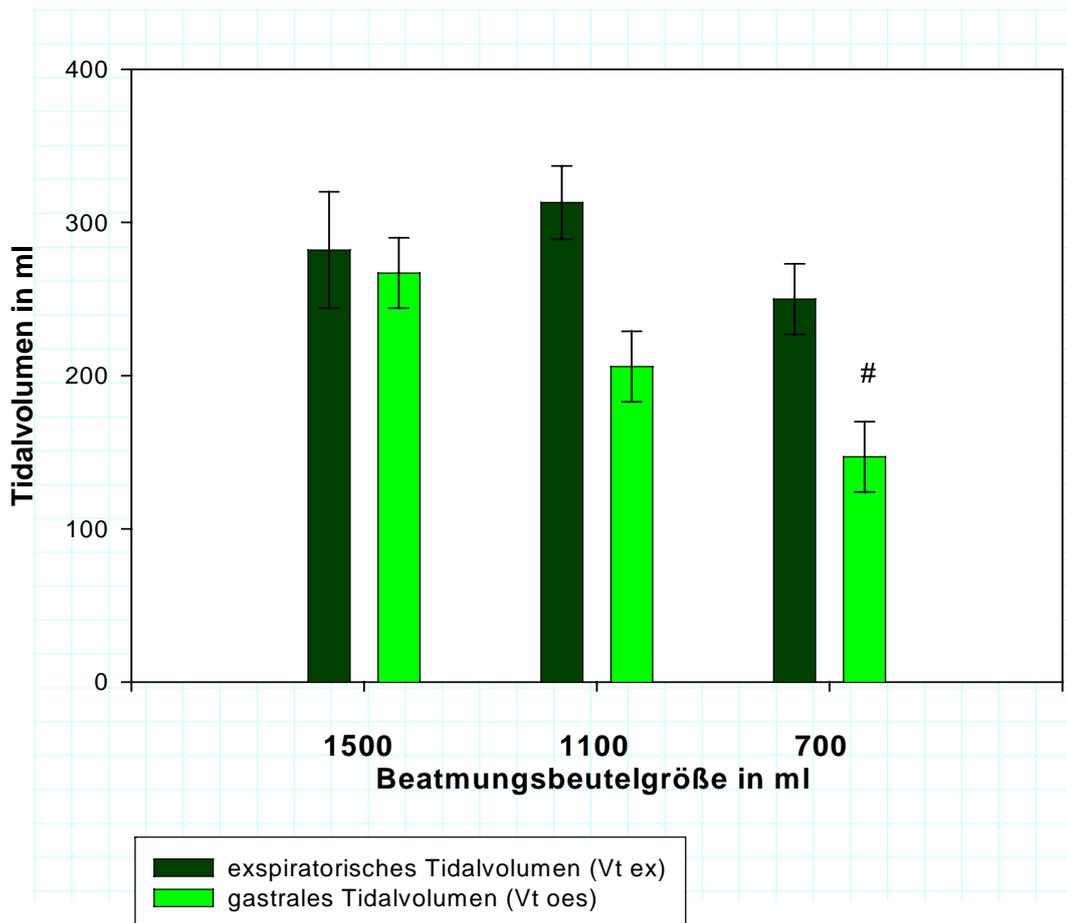
In zwei Fällen wurde das Zeitlimit von 180 Sekunden zum Erreichen eines expiratorisch pulmonalen Tidalvolumens von mindestens 200 ml überschritten. Dies wurde entsprechend der Versuchsanordnung als Fehlversuch gewertet. In den Gruppen 700 ml und 1100 ml Beutel kam es zu je einem Fehlversuch.

### 3.1.3. Beatmungsparameter

#### 3.1.3.1. Exspiratorisches pulmonales und gastrales Tidalvolumen

Der 700 ml, 1100 ml und 1500 ml Beutel unterschieden sich nicht signifikant in bezug auf das exspiratorische pulmonale Tidalvolumen.

Das mit dem 1500 ml Beutel applizierte gastrale Volumen lag zwischen 90 - 750 ml, das mit dem 1100 ml applizierte Volumen lag zwischen 50 - 670 ml und das mit dem 700 ml Beutel verabreichte Tidalvolumen lag zwischen 40 - 410 ml ( $p \leq 0,05$ ), (Abb.9, siehe Anhang).



**Abb.9:** Exspiratorische pulmonale und gastrale Tidalvolumina in ml mit dem 700, 1100 und 1500 ml Beatmungsbeutel am Modell.  
Die dargestellten Säulen entsprechen dem Mittelwert (MW).  
Die Whisker entsprechen der Standardabweichung. #  $p \leq 0,05$  vs. 1500 ml Beutel.

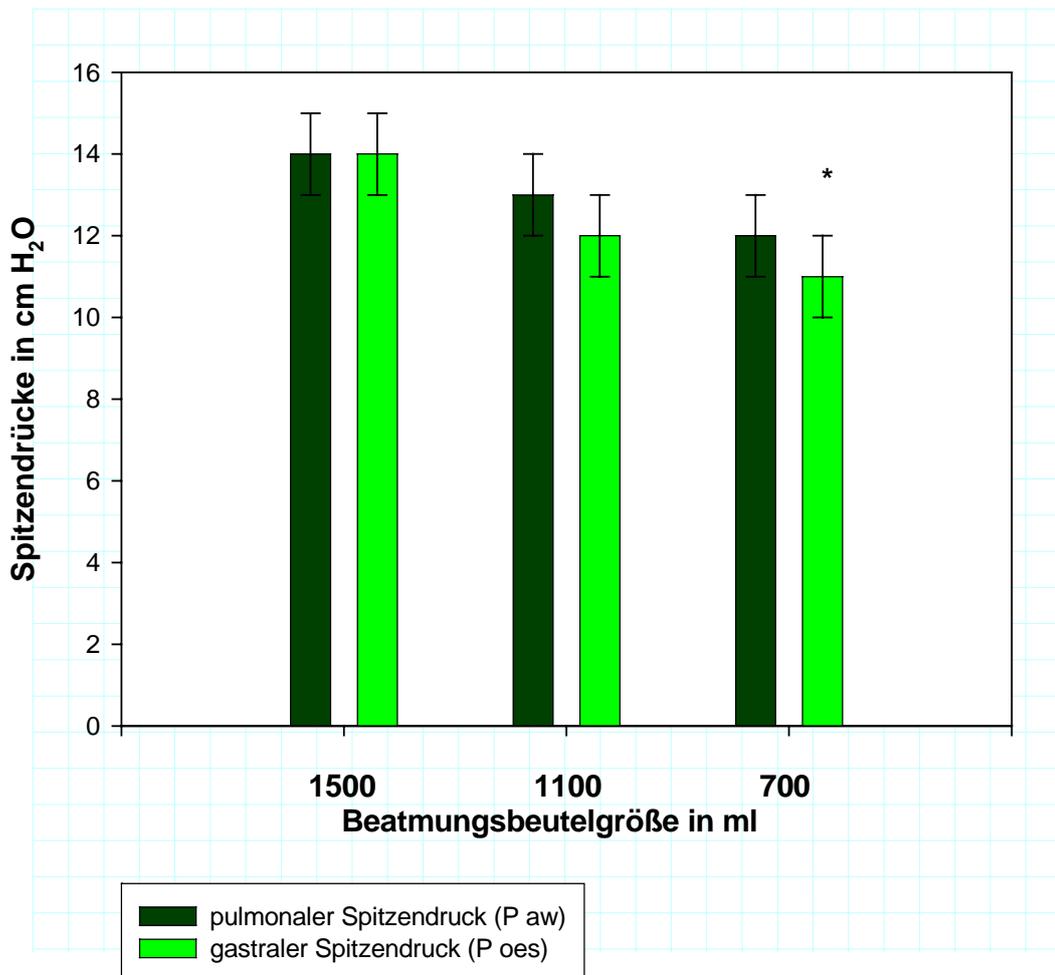
### 3.1.3.2. Pulmonale und gastrale Spitzendrücke

Der pulmonale Spitzendruck unterschied sich in den drei Beutelgruppen nicht signifikant.

Sie lagen bei dem 700 und 1100 ml Beutel zwischen 8 –21 cmH<sub>2</sub>O.

Die Atemwegsspitzen drücke des 1500 ml Beutels lagen zwischen 6 – 23 cmH<sub>2</sub>O.

Die am gastralen Teil des Modells gemessenen Beatmungsdrücke des 700 ml Beutel (MW 11cmH<sub>2</sub>O) waren kleiner als die Beatmungsdrücke des 1100 ml Beutel (MW 12 cmH<sub>2</sub>O) und signifikant kleiner als die des 1500 ml Beutels (MW 14 cmH<sub>2</sub>O), ( $p \leq 0,05$ ), (Abb.10, siehe Anhang).



**Abb.10:** Pulmonale und gastrale Spitzendrücke in cm H<sub>2</sub>O mit einem 700, 1100 und 1500 ml Beatmungsbeutel am Modell. Die dargestellten Säulen entsprechen dem Mittelwert. Die Whisker entsprechen der Standardabweichung. \*  $p \leq 0,05$  vs. 1500 ml Beutel.

### 3.1.4. Objektive Beurteilung des Versuchsleiters

Bei der objektiven Beurteilung der Dichtigkeit und Ventilation des Beutel-Maskensystems durch den Versuchsleiter ergaben sich keine Unterschiede. Die 700 und 1100 ml Beutel ließen sich signifikant besser platzieren als der 1500 ml Beatmungsbeutel (Tabelle 1).

	<b>Platzierung</b>	<b>Dichtigkeit</b>	<b>Ventilation</b>
<b>700 ml</b>	2* (1 - 4)	3 (1 - 4)	3 (1 - 4)
<b>1100 ml</b>	2* (1 - 4)	3 (2 - 4)	3 (1 - 4)
<b>1500 ml</b>	3 (2 - 4)	3 (1 - 4)	3 (1 - 4)

**Tabelle 1:** Objektive Beurteilung der drei verschieden großer Beatmungsbeutel mit Gesichtsmaske am Modell in Bezug auf Platzierung, Dichtigkeit und Ventilation durch den Versuchsleiter.  
Bewertung nach Rangskala: 1 = sehr gut; 2 = gut; 3 = mäßig; 4 = schlecht;  
Zahlenwert: Median (Minimum - Maximum) \*  $p \leq 0,05$  vs. 1500 ml Beutel.

### 3.1.5. Subjektive Beurteilung der Versuchsteilnehmer

Bei der subjektiven Beurteilung der Maskenbeatmung der Versuchsteilnehmer in bezug auf die Handhabung ergaben sich keine signifikanten Unterschiede. Die Handhabung des Beutel-Maskensystems wurde durchweg als mäßig empfunden. (Tabelle 2).

	<b>700 ml</b>	<b>1100 ml</b>	<b>1500 ml</b>
<b>Handhabung</b>	3 (1 - 4)	3 (1 - 4)	3 (2 - 4)

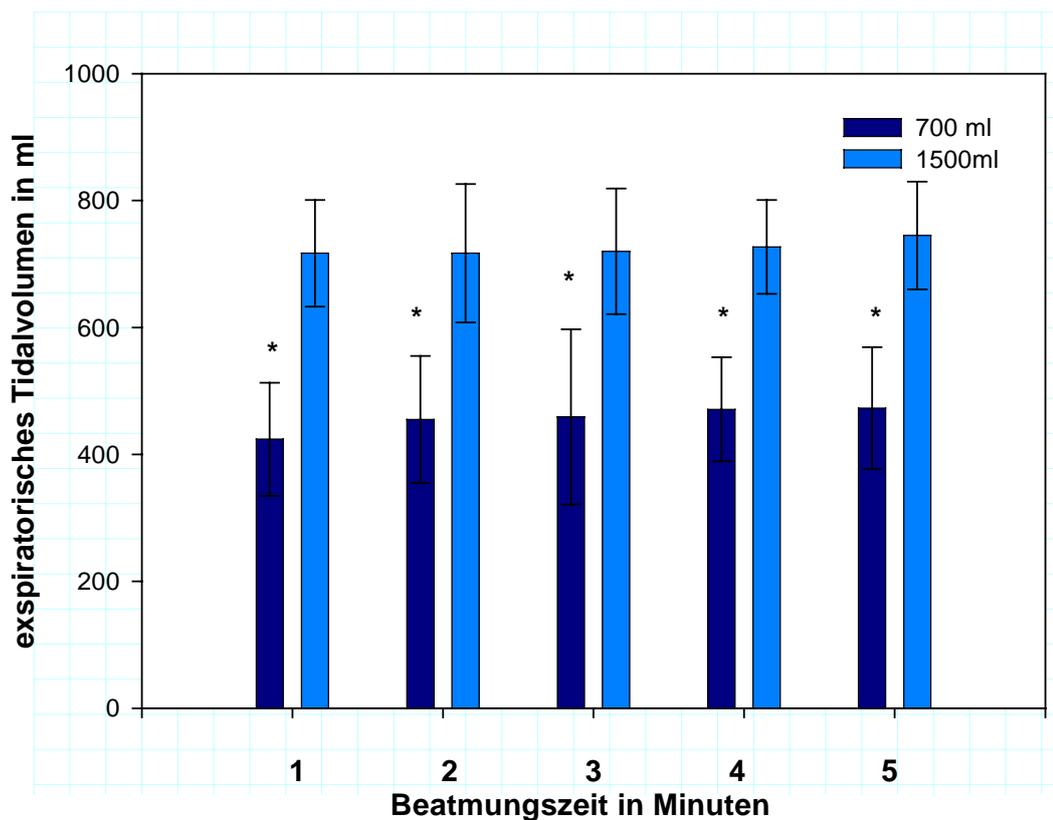
**Tabelle 2:** Subjektive Beurteilung der drei verschieden großer Beatmungsbeutel mit Gesichtsmaske am Modell in Bezug auf die Handhabung durch die Versuchsteilnehmer  
Bewertung nach Rangskala: 1 = sehr gut; 2 = gut; 3 = mäßig; 4 = schlecht;  
Median (Minimum - Maximum)

## 3.2. Ergebnisse der ersten klinischen Studie

### 3.2.1. Messungen zur Ventilation

#### 3.2.1.1. Expiratorisches Tidalvolumen

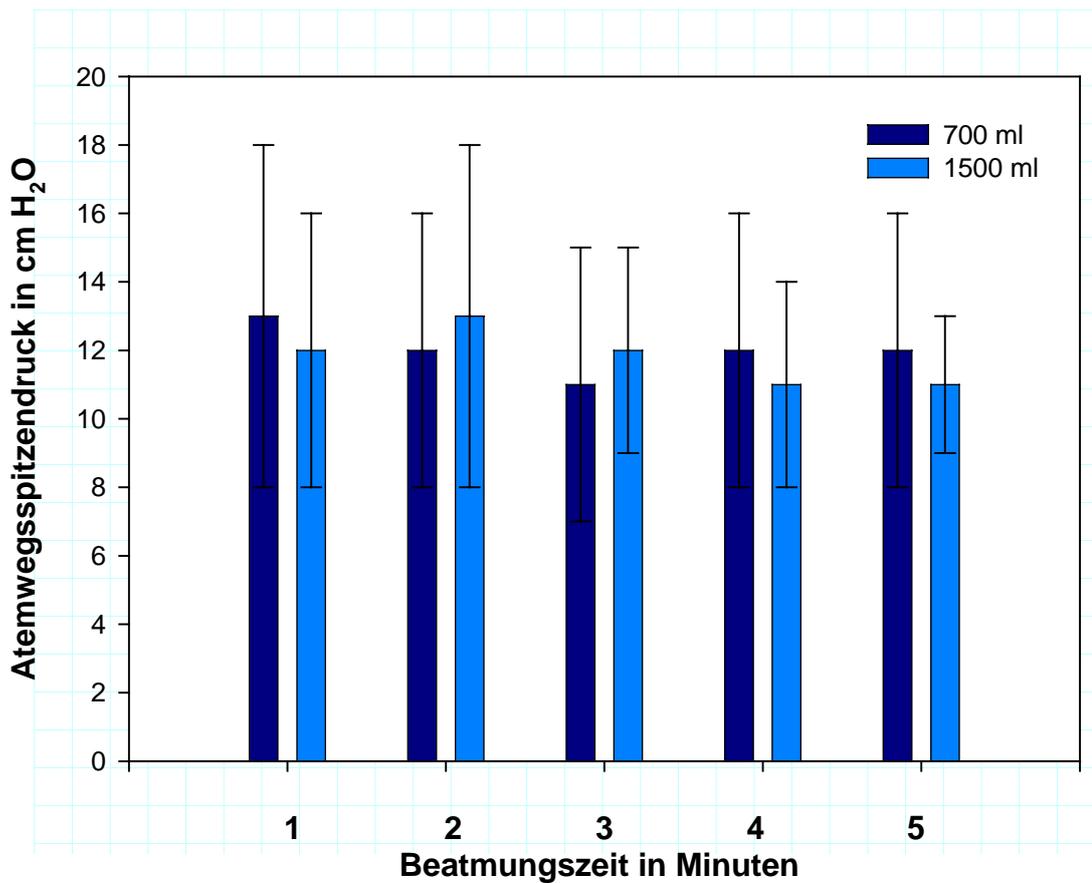
Im Vergleich mit dem Erwachsenenbeatmungsbeutel (1500 ml) ist mit dem Kinderbeatmungsbeutel (700 ml) ein signifikant geringeres expiratorisches Tidalvolumina gemessen worden ( $p = 0,001$ ). Bei Beatmung mit dem 1500 ml Beutel ist im Mittel 10,5 ml/kgKG, mit dem 700 ml Beutel ist im Mittel 6,2 ml/kgKG erreicht worden (Abb.11, siehe Anhang).



**Abb.11:** Expiratorische Tidalvolumina in ml unter Beutel-Maskenbeatmung mit einem Kinderbeatmungsbeutel (700 ml) und einem Erwachsenenbeatmungsbeutel (1500 ml) am narkotisierten, erwachsenen Patienten mit Raumluft. Die dargestellten Säulen entsprechen dem Mittelwert. Die Whisker entsprechen der Standardabweichung. \*  $p = 0,001$  vs. 1500 ml Beutel.

### 3.2.1.2. Atemwegsspitzenruck

Bei der Beutel-Maskenbeatmung des Modells mit einem Kinderbeatmungsbeutel (700 ml) und einem Erwachsenenbeatmungsbeutel (1500 ml) zeigte sich in bezug auf den applizierten Atemwegsspitzenruck kein signifikanter Unterschied. Der Mittelwert lag bei beiden Beutelgrößen bei 12 cmH<sub>2</sub>O (Abb.12, siehe Anhang).



**Abb.12:** Atemwegsspitzenruck in cmH<sub>2</sub>O unter Beutel-Maskenbeatmung mit einem Kinderbeatmungsbeutel (700 ml) und einem Erwachsenenbeatmungsbeutel (1500 ml) am narkotisierten, erwachsenen Patienten mit Raumluft. Die dargestellten Säulen entsprechen dem Mittelwert. Die Whisker entsprechen der Standardabweichung.

### **3.2.2. Messungen zur Hämodynamik**

#### **3.2.2.1. Mittlerer arterieller Blutdruck**

Der im Abstand von einer Minute gemessene systolische und diastolische Blutdruck (RR sys/dias) ist über nachstehende Formel in den mittleren arteriellen Blutdruck (MAD) umgewandelt worden.

$$\mathbf{MAD = RR\ dias + 1/3 (RR\ sys - RR\ dias)}$$

Der mittlere arterielle Blutdruck fiel nach Narkoseeinleitung signifikant ab (p = 0,01).

Zwischen dem Kinder- und dem Erwachsenenbeatmungsbeutel ergaben sich keine signifikanten Unterschiede (siehe Anhang).

#### **3.2.2.2. Herzfrequenz**

In beiden Gruppen fiel die Herzfrequenz nach Narkoseeinleitung leicht ab.

Im Vergleich der Gruppen ergab sich kein Unterschied (siehe Anhang).

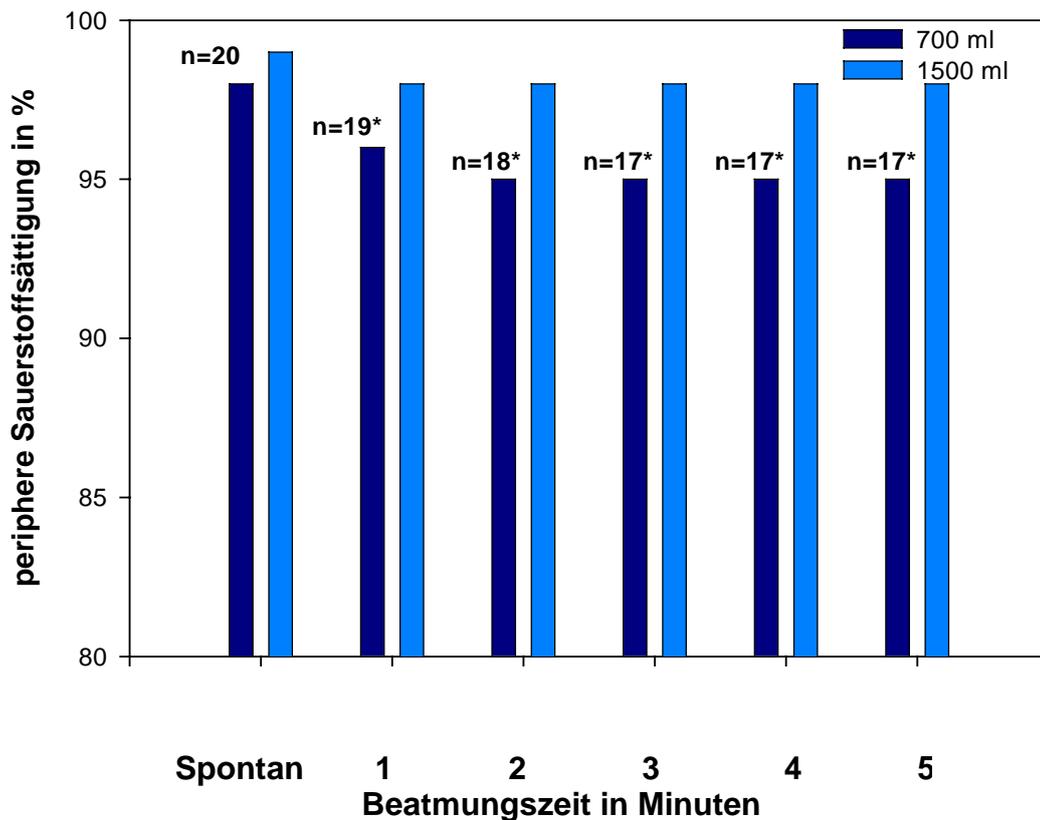
### 3.2.3. Messungen zu Sauerstoff- und Kohlendioxidgehalt

#### 3.2.3.1. Periphere Sauerstoffsättigung

Unter Raumlufbeatmung mit dem Kinderatemungsbeutel fiel bei drei von zwanzig Patienten die peripher gemessene Sauerstoffsättigung in den ersten drei Minuten auf unter 90% ab. Dies führte laut Versuchsprotokoll zum Abbruch des Versuchs (n=17).

Bei den übrigen Patienten fiel die periphere Sauerstoffsättigung im Laufe der fünf Minuten dauernden Ventilation signifikant von 98% auf 95% ab.

Bei der Beatmung mit dem 1500 ml Atemungsbeutel blieb die peripher gemessene Sauerstoffsättigung bei 98% (n=20) (Abb.13, siehe Anhang).



**Abb.13:** Periphere Sauerstoffsättigung in % unter Beutel-Maskenbeatmung mit Raumluf mit einem Kinderatemungsbeutel (700 ml) und einem Erwachsenenatemungsbeutel (1500 ml) vor und nach Narkoseeinleitung. Die dargestellten Säulen entsprechen dem Mittelwert.

\*  $p \leq 0,05$  vs. 700 ml vor Narkoseeinleitung.

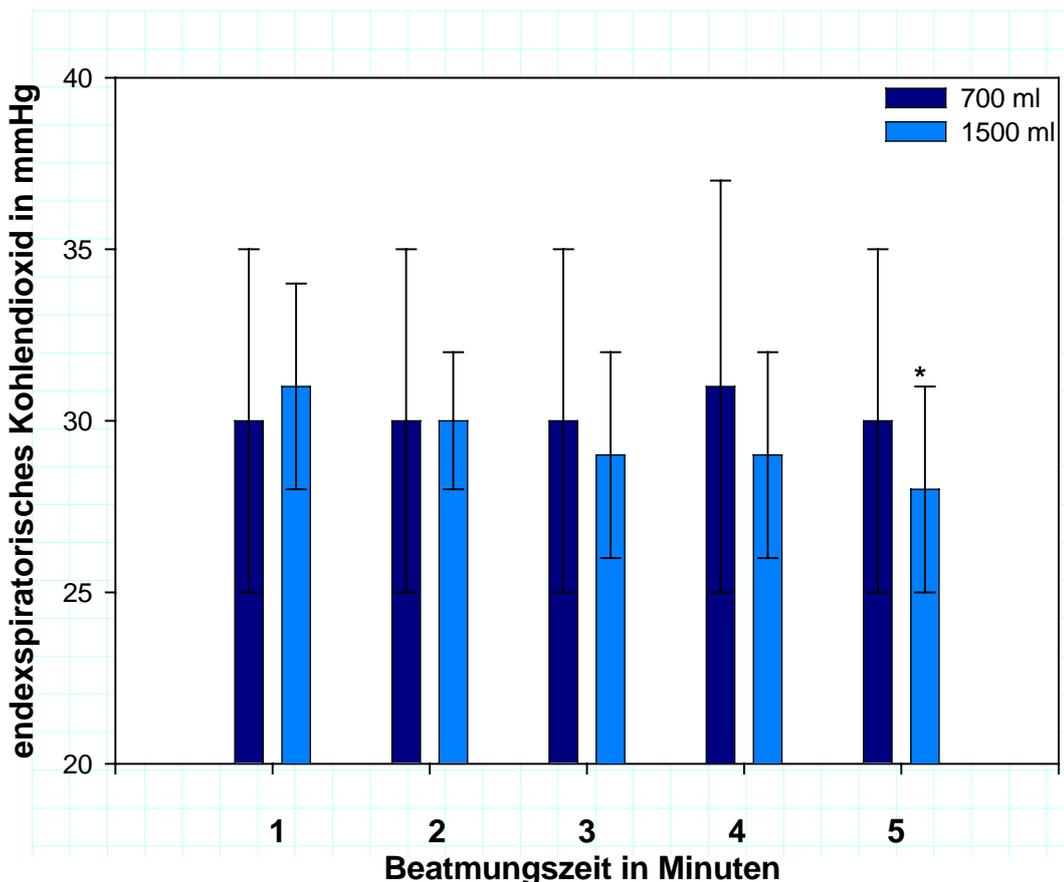
### 3.2.3.2. Endexpiratorischer Kohlendioxidgehalt

Bei der Beutel-Maskenbeatmung mit Raumluft mit dem Kinderbeatmungsbeutel (700 ml) ergab sich keine signifikante Veränderung des endexpiratorischen Kohlendioxidgehalts während der fünf Minuten dauernden Beatmungsphase.

Bei der Beatmung mit dem Erwachsenenbeatmungsbeutel (1500 ml) fiel der endtidale Kohlendioxidgehalt über fünf Minuten ab und war in der fünften Minute signifikant kleiner verglichen mit der ersten Minute nach Narkoseeinleitung.

Der Mittelwert lag für beide Beutelgrößen bei 29 mmHg.

Für den Beatmungszeitraum von fünf Minuten ergab sich zwischen beiden Beatmungsbeuteln kein signifikanter Unterschied (Abb.14, siehe Anhang).



**Abb.14:** Endexpiratorischer Kohlendioxidgehalt in mmHg unter Beutel-Maskenbeatmung mit einem Kinderbeatmungsbeutel (700 ml) und einem Erwachsenenbeatmungsbeutel (1500 ml) vor und nach Narkoseeinleitung mit Raumluft. Die dargestellten Säulen entsprechen dem Mittelwert. Die Whisker entsprechen der Standardabweichung.

\*  $p \leq 0,05$  vs. erste Beatmungsminute 1500 ml.

#### **3.2.4. Blutgasanalyse (Erste klinische Studie)**

Nach fünf Minuten Maskenbeatmung mit Raumluft mit dem Kinderbeatmungsbeutel (700 ml) kam es zu einem signifikanten Abfall der arteriell gemessenen Sauerstoffsättigung, des Sauerstoffpartialdrucks und des pH-Wertes.

Für den arteriell gemessenen Kohlendioxidpartialdruck, das Natriumbicarbonat und den Basenüberschuß konnten keine signifikanten Veränderungen über die Dauer der Beatmung nachgewiesen werden.

Nach fünf Minuten Raumluftbeatmung mit dem Erwachsenenbeatmungsbeutel blieben, bis auf den signifikant abfallenden Kohlendioxidpartialdruck, alle übrigen Messwerte nahezu konstant.

Im Vergleich mit dem 1500 ml Beatmungsbeutel fiel nach fünf Minuten Beatmung mit dem 700 ml Beutel die arteriell gemessenen Sauerstoffsättigung und der Sauerstoffpartialdruck signifikant ab (Tabelle 3).

**Tabelle 3 Blutgasanalyse aus erster klinischer Studie**

	vor Narkoseeinleitung		nach fünf Minuten Beatmung	
	1500 ml	700 ml	1500 ml	700 ml
<b>Anzahl</b>	n = 20	n = 20	n = 20	n = 17
<b>SaO<sub>2</sub> (%)</b>	96 ± 0,3	96 ± 0,3	96 ± 0,4	93 ± 1,0*#
<b>paO<sub>2</sub> (mmHg)</b>	85 ± 3	84 ± 2	87 ± 4	73 ± 4*#
<b>paCO<sub>2</sub> (mmHg)</b>	39 ± 1	38 ± 1	37 ± 1§	40 ± 2
<b>pH</b>	7,44 ± 0,0	7,45 ± 0,0	7,45 ± 0,0	7,41 ± 0,0#
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	25,8 ± 0	24,5 ± 1	25,1 ± 0	25,5 ± 0
<b>BE</b>	2 ± 0	2,3 ± 0	1,7 ± 0	2 ± 0

**Tabelle 3:** Mittelwert ± Standardabweichung, \* p ≤ 0,01 vs. nach fünf Minuten Beatmung mit einem 1500 ml Beutel, # p ≤ 0,01 vs. vor Narkoseeinleitung mit einem 700 ml Beutel, § p ≤ 0,05 vs. vor Narkoseeinleitung mit einem 1500 ml Beutel.

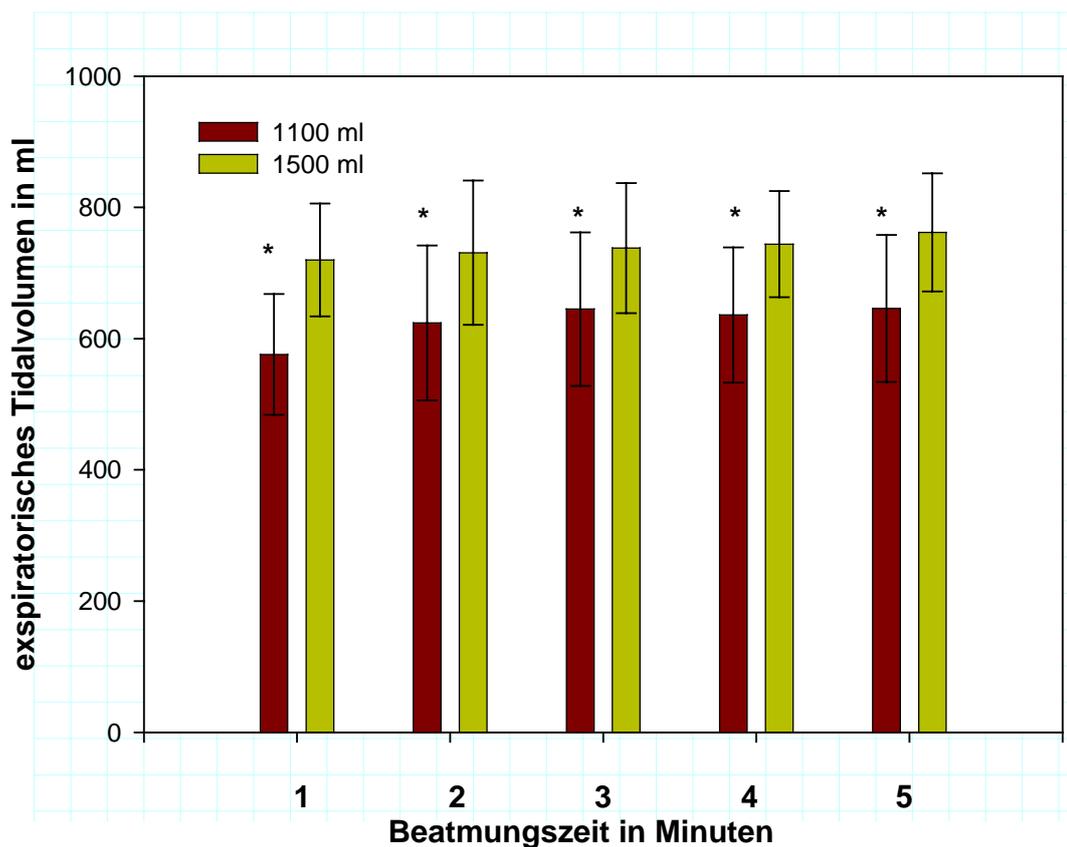
### 3.3. Ergebnisse der zweiten klinischen Studie

#### 3.3.1. Messungen zur Ventilation

##### 3.3.1.1. Expiratorisches Tidalvolumen

Mit dem neu entwickelten Beatmungsbeutel (1100 ml) wurden im Vergleich zu dem Erwachsenenbeatmungsbeutel (1500 ml) unter Raumluftbeatmung signifikant geringere expiratorische Tidalvolumina gemessen.

Im Mittel wurden 8,5 vs. 10,8 ml/kgKG gemessen (Abb.15, siehe Anhang).

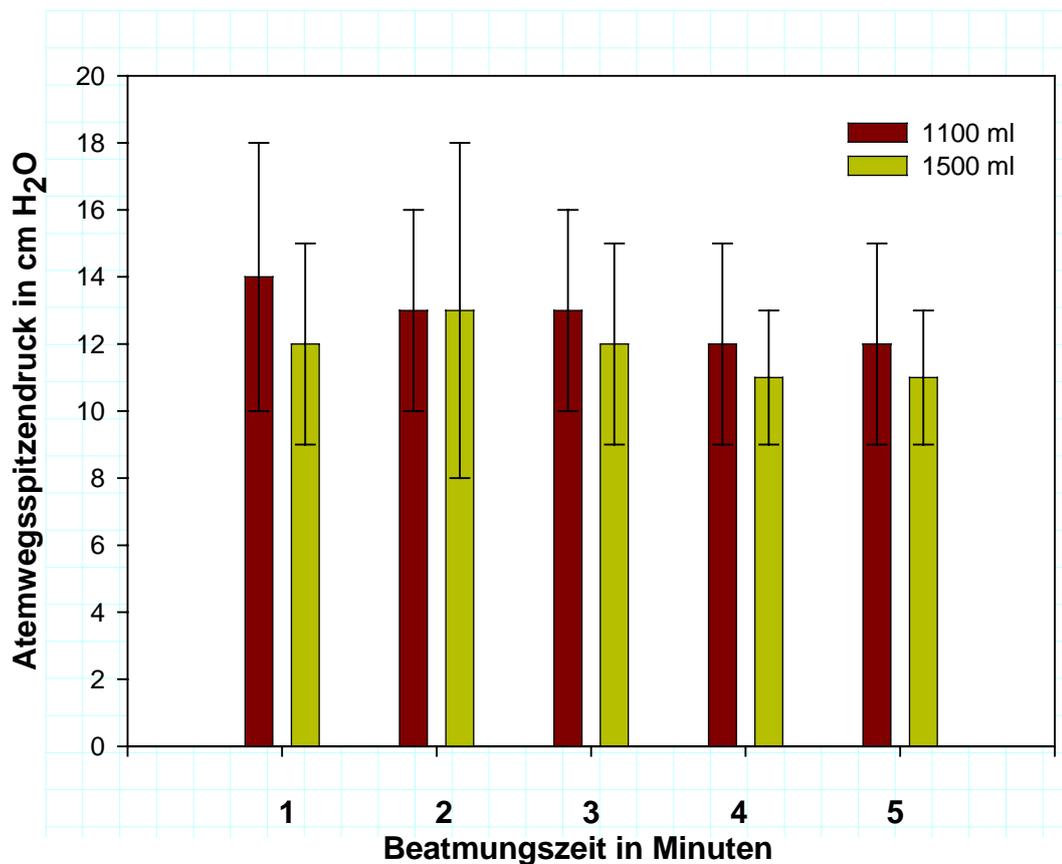


**Abb. 15:** Expiratorisches Tidalvolumen in ml unter Beutel-Maskenbeatmung mit einem neu entwickelten Beatmungsbeutel (1100 ml) und einem Erwachsenenbeatmungsbeutel (1500 ml) am narkotisierten, erwachsenen Patienten mit Raumluft. Die dargestellten Säulen entsprechen dem Mittelwert. Die Whisker entsprechen der Standardabweichung. \* p = 0,001 vs. 1500 ml Beutel.

### 3.3.1.2. Atemwegsspitzenruck

Bei der Beatmung mit dem 1100 ml und 1500 ml Beatmungsbeutel mit Raumluft wurden vergleichbare Beatmungsdrücke erreicht.

Die Atemwegsspitzenrücke blieben über den Beatmungszeitraum von fünf Minuten annähernd konstant (Abb.16, siehe Anhang).



**Abb.16:** Atemwegsspitzenruck in cmH<sub>2</sub>O unter Raumluftbeatmung mit einem neu entwickelten Beatmungsbeutel (1100 ml) und einem Erwachsenenbeatmungsbeutel (1500 ml) über einen fünfminütigen Beatmungszeitraum.  
Die dargestellten Säulen entsprechen dem Mittelwert.  
Die Whisker entsprechen der Standardabweichung.

### **3.3.2. Messungen zur Hämodynamik**

#### **3.3.2.1. Mittlerer arterieller Blutdruck**

Der mittlere arterielle Blutdruck fiel nach Narkoseeinleitung signifikant ab ( $p \leq 0,05$ ).

Im Vergleich beider Beutelgrößen in bezug auf den mittleren arteriellen Druck ergab sich für den Zeitraum der Spontanatmung bis fünf Minuten nach Intubation und Beatmung kein signifikanter Unterschied (siehe Anhang).

#### **3.3.2.2. Herzfrequenz**

Bei der Raumlufbeatmung sowohl mit dem 1100 ml Beutel als auch mit dem 1500 ml Beutel fiel die Herzfrequenz nach Narkoseinduktion ab.

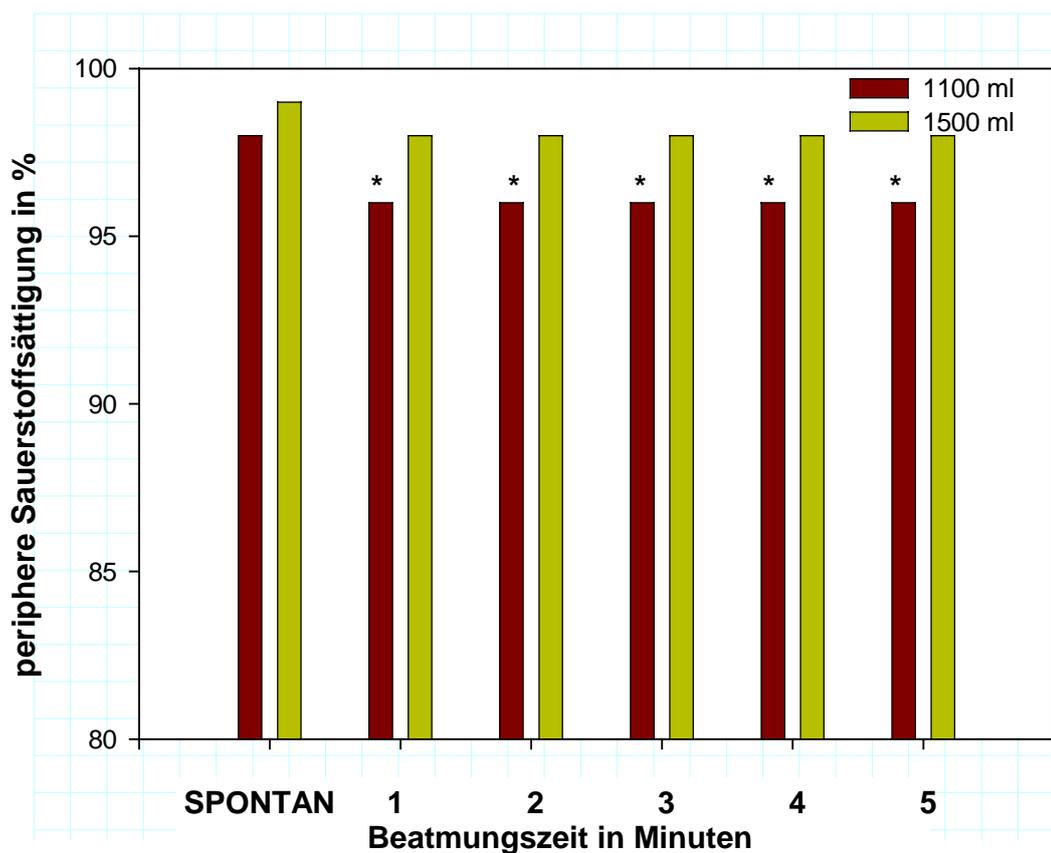
Im weiteren Verlauf der Beatmung ergab sich zwischen beiden Beutelgrößen kein signifikanter Unterschied (siehe Anhang).

### 3.3.3. Messungen zu Sauerstoff- und Kohlendioxidgehalt

#### 3.3.3.1. Periphere Sauerstoffsättigung

Bei Beatmung mit dem 1100 ml Beutel ergab sich ein signifikanter Abfall der peripher gemessenen Sauerstoffsättigung nach Narkoseinduktion im Mittel auf 96% (n = 25).

Bei Beatmung mit dem 1500 ml Beutel kam es im Verlauf zu keinem signifikanten Sättigungsabfall. Der Mittelwert lag hier nach fünf Minuten Beatmung bei 98% (n = 25). Im Vergleich zu dem Erwachsenenbeatmungsbeutel (1500 ml) wurden mit dem 1100 ml Beatmungsbeutel eine signifikant niedrigere periphere Sauerstoffsättigung gemessen (Abb.17, siehe Anhang).



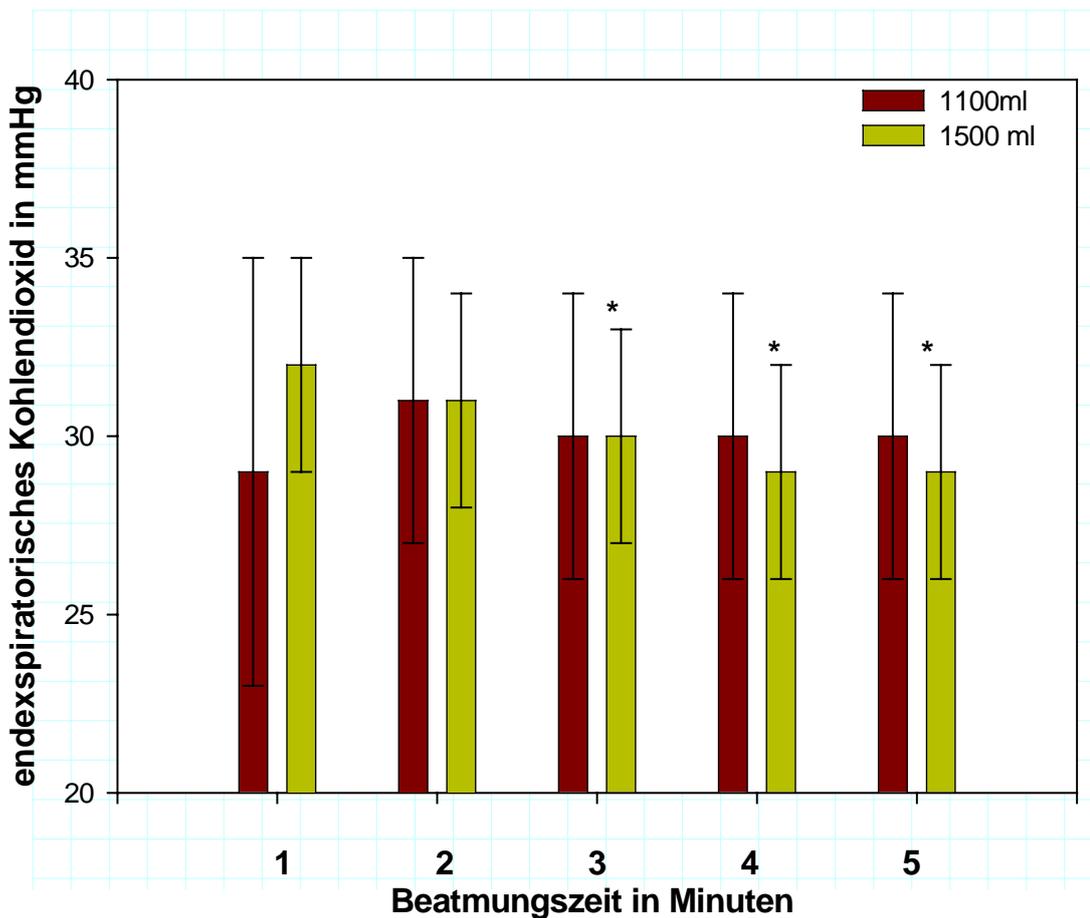
**Abb.17:** Periphere Sauerstoffsättigung in % unter Beutel-Maskenbeatmung mit Raumluft mit einem neu entwickelten Beatmungsbeutel (1100 ml) und einem Erwachsenenbeatmungsbeutel (1500 ml) vor und nach Narkoseeinleitung. Die dargestellten Säulen entsprechen dem Mittelwert.

\*  $p \leq 0,05$  vs. Spontanatmung, vs. 1500 ml.

### 3.3.3.2. Endexpiratorischer Kohlendioxidgehalt

Unter Raumlufbeatmung mit dem 1100 ml Beatmungsbeutel kam es im Mittel zu keinem signifikanten Abfall des endtidalen Kohlendioxidgehaltes während des Beatmungszeitraumes von fünf Minuten.

Bei der Beutel-Maskenbeatmung mit dem Erwachsenenbeatmungsbeutel nahm der endexpiratorische Kohlendioxidgehalt über den Zeitraum von fünf Minuten signifikant ab. Der Unterschied beider Beatmungsbeutel in bezug auf den endexpiratorischen Kohlendioxidgehalt über den Zeitraum der Beatmung war nicht signifikant. Der Mittelwert lag bei 30 mmHg (Abb.18, siehe Anhang).



**Abb.18:** Endexpiratorischer Kohlendioxidgehalt in mmHg unter Raumlufbeatmung mit einem neu entwickelten Beatmungsbeutel (1100 ml) und einem Erwachsenenbeatmungsbeutel (1500 ml) über fünf Minuten.

Die dargestellten Säulen entsprechen dem Mittelwert.

Die Whisker entsprechen der Standardabweichung,

\*  $p \leq 0,05$  vs. erster Beatmungsminute mit einem 1500 ml Beutel.

### **3.3.4. Blutgasanalyse (Zweite klinische Studie)**

Nach fünf Minuten Beatmung mit dem 1100 ml Beutel kam es im Vergleich zur Spontanatmung zu keinem signifikanten Abfall der arteriell gemessenen Sauerstoffsättigung und des Kohlendioxidpartialdrucks.

Nach fünf Minuten Beatmung mit dem 1500 ml Beutel war der arteriell gemessene Kohlendioxidpartialdruck signifikant gefallen.

Im Vergleich mit dem 1500 ml Beatmungsbeutel fiel nach fünfminütiger Beatmung mit dem 1100 ml Beutel der arteriell gemessene Sauerstoffpartialdruck signifikant ab (Tabelle 4).

**Tabelle 4 Blutgasanalyse aus zweiter klinischer Studie**

	vor Narkoseeinleitung		nach fünf Minuten Beatmung	
	1500 ml	1100 ml	1500 ml	1100 ml
<b>Anzahl</b>	n = 25	n = 25	n = 25	n = 25
<b>SaO<sub>2</sub> (%)</b>	96 ± 0,2	96 ± 0,3	96 ± 0,3	95 ± 0,4
<b>paO<sub>2</sub> (mmHg)</b>	85 ± 3	83 ± 2	87 ± 3	78 ± 3*
<b>paCO<sub>2</sub> (mmHg)</b>	39 ± 1	38 ± 1	37 ± 1§	37 ± 1
<b>pH</b>	7,44 ± 0,0	7,44 ± 0,0	7,45 ± 0,0	7,44 ± 0,0
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	25,9 ± 0,3	25,3 ± 0	25,2 ± 0,3	24,5 ± 0
<b>BE</b>	2,2 ± 0,3	1,7 ± 0	1,8 ± 0,3	1 ± 0

**Tabelle 4:** Mittelwert ± Standardabweichung, \* p < 0,05 vs. nach 5 Min. Beatmung mit einem 1500 ml Beatmungsbeutel, § p ≤ 0,05 vs. vor Narkoseeinleitung mit einem 1500 ml Beatmungsbeutel.

## 4. Diskussion

In den vergangenen 30 Jahren beruhten Angaben zu Beatmungsvolumina unter Reanimation auf einem Konsens aus klinischer Erfahrung und Überlieferung und führten zu unterschiedlichen Empfehlungen. Es gab keine wissenschaftlichen Untersuchungen, die diese Leitlinien an einem Modell und/oder an Patienten verifizieren konnten.

So empfahl die „Airway management working group“ des ERC in ihren 1998 ausgegebenen Richtlinien ein Atemzugvolumen von 500 ml, im Gegensatz zu den Richtlinien der AHA von 1992, die ein Atemzugvolumen von 800 - 1200 ml empfohlen hatten (48, 161). Zu gleicher Zeit diskutierten Experten, ob eine Beatmung während der Reanimation überhaupt stattfinden muss (36, 113, 131).

Unterschiedliche, auf Tierversuchen beruhende Aussagen bezüglich einer Notwendigkeit zur initialen Ventilation, machten unabhängig voneinander zwei amerikanische Arbeitsgruppen in den 1990er Jahren. Während sich die Gruppe um Idris in Florida für die initiale Beatmung aussprach, hielt die Gruppe um Berg aus Arizona die primäre Ventilation für nicht notwendig (13, 81). Die unterschiedlichen Aussagen lassen sich durch ein unterschiedliches Studiendesign der Großtierversuche erklären. Die Dauer des therapiefreien Intervalls im Kreislaufstillstand betrug in Florida sechs Minuten unter Vollrelaxierung der Versuchstiere. Die anschließende Beatmung im Rahmen des Basic Life Support erfolgte mit einem Sauerstoffanteil von 21%. Die Dauer des Kreislaufstillstandes der Versuchstiere in Arizona betrug dreißig Sekunden, der Sauerstoffanteil der anschließenden Beatmung 100%. Hierbei fand keine Relaxierung statt. Dadurch war das Ergebnis in dieser Untersuchung besser und führte die Autoren zu der Annahme, dass eine frühzeitige Beatmung während der Reanimation nicht notwendig sei (14, 15). Dazu muss jedoch bemerkt werden, dass der obere Respirationstrakt des Schweines in Rückenlage immer offen bleibt und eine Schnappatmung eine gewisse Ventilation ermöglicht. Der obere Luftweg des Menschen ist mit dem des Schweines nicht zu vergleichen, da er beim Menschen

um 90° abgewinkelt ist und bei Bewusstlosigkeit kollabiert und eine Atemwegsobstruktion nach sich zieht.

Damit ist eine Ventilation über den Mechanismus der Schnappatmung nahezu ausgeschlossen (174). Darüber hinaus weist etwa nur etwa die Hälfte aller Notfallpatienten mit Kreislaufstillstand eine Schnappatmung auf (42).

Unabhängig von einander stellen sowohl Dick als auch Döriges sowie Wenzel und auch weitere Arbeitsgruppen in ihren jeweiligen Positionspapieren eindeutig fest, dass die initiale Beatmung ein elementarer Bestandteil in der Laienreanimation ist (25, 31, 36, 42, 91).

Dick arbeitet in diesem Zusammenhang heraus, dass eine primär unterlassene Beatmung, sowie die Thoraxkompression die Entstehung von Atelektasen wahrscheinlicher machen (36). Dies und die progrediente intrapulmonale Shuntbildung mit erhöhter venöser Beimischung, beschleunige die pathophysiologischen Prozesse, die zur Verminderung der Lungencompliance sowie zur Erhöhung des Atemwegswiderstandes führen können (141, 142).

Der aktuelle Reanimationsalgorithmus des ERC sieht nach der Herzdruckmassage, der Erstbeatmung mit dem Beutel-Maskensystem und einer gegebenenfalls notwendigen Elektrotherapie, zum Beispiel bei Kammerflimmern oder pulsloser ventrikulärer Tachykardie, die endotracheale Intubation vor (115).

Dieses Verfahren gilt als Goldstandard des Notfall-Atemwegsmanagements, da es den höchsten Schutz vor pulmonaler Aspiration bietet (52, 116, 130, 155). Um die Phase der Reanimation ohne kardialen Auswurf so kurz wie möglich zu halten, sollte kein Intubationsversuch länger als 30 Sekunden dauern (46, 90). Gelingt eine sichere endotracheale Intubation in diesem Zeitraum nicht, empfehlen die aktuellen europäischen Reanimationsleitlinien die Rückkehr zur Beutel-Maskenbeatmung oder die Verwendung von supraglottischen Beatmungshilfen (16, 22, 43, 68, 115, 170).

Die notärztliche Versorgung wird hierzulande überwiegend von Anästhesisten, Chirurgen und Internisten sichergestellt, zu deren Routinetätigkeiten auch die Betreuung von Intensivstationen zählt. Darüber hinaus sind jedoch auch Kollegen im Notarzdienst tätig, die oftmals nicht über ausreichende Übung in der endotrachealen Intubation verfügen.

Der Mangel an inner- sowie außerklinischer Routine im Umgang mit dem schwierigen Atemweg birgt die Gefahr, die Sicherung der Atemwege nach dem Goldstandard nicht ausreichend schnell gewährleisten zu können (38, 158).

Das ERC fordert in diesem Zusammenhang in seinen aktuellen Leitlinien aus dem Jahr 2005, dass die endotracheale Intubation "nur durch erfahrenes Personal mit entsprechender Ausbildung und ständiger Übung im Umgang mit dieser Maßnahme" angewendet werden sollte (115).

Die Auswertung von circa 129.000 boden- und luftgebundenen Notarzteinsätzen sowie die prospektive Untersuchung mit circa 150 in der Bundesrepublik Deutschland tätigen Notärzten, zeigt eine Einsatzfrequenz von durchschnittlich sechzehn Einsätzen in drei Diensten (61). Diese Untersuchungen zeigten eine präklinische Intubationshäufigkeit für den bodengebundenen Notarzdienst von weniger als einmal, für die Luftrettung von 2,2 mal pro Monat und Notarzt. Dabei versorgt ein durchschnittlich eingesetzter Notarzt circa alle fünf Monate einen Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma, alle drei Monate einen polytraumatisierten Patienten, alle 2,5 Monate ein Kind und alle zwei Monate einen reanimationspflichtigen Patienten (62).

Aktuelle bundesdeutsche Untersuchungen berichten von weniger als zehn Notarzteinsätzen pro Monat (11). Nach Genzwürker et al. leistet jeder vierte Notarztstandort weniger als zwei Einsätze pro vierundzwanzig Stunden (56), hier liegt die Anzahl der präklinischen Intubationen entsprechend niedriger. Vor dem Hintergrund seltener, aber bisweilen anspruchsvoller Einsatzsituationen, wird aus Expertenkreisen regelmäßige Schulung und Übung und regelmäßige (klinische) Tätigkeit in Bereichen, in denen schwer erkrankte bzw. verletzte Patienten akut behandelt werden, als essentiell eingeschätzt und gefordert (60, 79).

Die häufigste Ursache für die schwierige Intubation ist die fehlende Visualisierung der Stimmbänder während der direkten Laryngoskopie. Korrektur der Kopfposition, Vertiefung der Narkose, Verwendung verschiedener Laryngoskopspatel oder externe Kehlkopfmanipulation (BURP-Manöver) führen nicht selten zu keiner ausreichenden Verbesserung der Sichtverhältnisse (144).

Untersuchungen, wie häufig die endotracheale Intubation geübt werden muss, bis sie sicher angewendet werden kann, liegen nur eingeschränkt vor; Garza et al.

wiesen jedoch nach, dass die Intubationserfolgsrate mit der Intubationserfahrung des Helfers korreliert (54).

Konrad et al. zeigten, dass selbst nach achtzig durchgeführten Intubationen noch circa 20% der Probanden Unterstützung von erfahrenen Kollegen benötigen (93). Obwohl die innerklinischen Voraussetzungen zur Intubation (Elektivität des Eingriffs, Ruhe, Nüchternheit, Prämedikationsvisite, bekannte und trainierte Assistenz) oftmals günstiger als in der präklinischen Situation sind, tritt eine schwierige Intubation durch einen Geübten in 1% - 4% der konventionellen Intubationen auf (12).

Thierbach et al. stellten 2004 in einer prospektiven Untersuchung an 598 Patienten, deren präklinische Atemwegssicherung von Notärzten aus dem Fachbereich Anästhesie sichergestellt wurde, eine hohe Erfolgs- bei niedriger Komplikationsrate fest. 98,5% der Patienten wurden hierbei in maximal drei Versuchen erfolgreich endotracheal intubiert. Bei neun Patienten war eine alternative Atemwegssicherung notwendig (162).

Eine kontrolliert, randomisierte Studie, die die präklinische endotracheale Intubation mit der Beutel-Maskenbeatmung vergleicht, wurde im Los Angeles County an Kindern durchgeführt. Sie zeigt keinen Unterschied im Überleben bei der Klinikentlassung, jedoch mehrere tödliche Komplikationen in der Intubationsgruppe aufgrund einer unerkannten Tubusdislokation oder einer primär ösophagealen Tubusfehlage, wobei 15 von 186 Kindern ösophageal intubiert wurden (55). Ähnlich katastrophale Ergebnisse liegen aus anderen Bereichen der präklinischen Notfallmedizin der USA vor (87). Eine unerkannte Tubusfehlage bei der Intubation präklinisch intubierter Erwachsener wird in 6% - 14% der Fälle beschrieben (83, 84, 129, 146).

Aktuelle Untersuchungen des Göttinger Luftrettungszentrums zeigten bei 150 Hubschraubernachforderungen bodengebundener Notarztsysteme zehn Tubusfehlagen, wovon acht deletär endeten (163). Ähnliche Zahlen liegen aus dem Innsbrucker Rettungsdienstbereich vor (168).

Neben der Diskussion der manuellen Fähigkeiten, besteht das Fundament zur Gewährleistung eines sicheren präklinischen Atemweges darüber hinaus aus umfangreicher klinischer Erfahrung.

So kann durch den Verzicht auf eine eventuell schwierige Intubation, z.B. bei akuter Epiglottitis oder Verletzung des Halsmarks eine lebensbedrohliche Verschlechterung verhindert werden (116).

Für die Teilnahme am Notarztdienst in der Bundesrepublik Deutschland ist neben der Approbation als Arzt, die Zusatzbezeichnung Notfallmedizin erforderlich. Hierfür ist eine zweijährige ärztliche, klinische Tätigkeit inklusive einer sechsmonatigen, ganztägigen Tätigkeit auf einer Intensivstation, ein achtzigstündiges von der jeweiligen Ärztekammer anerkanntes Seminar sowie fünfzig Einsätze unter Aufsicht eines erfahrenen Notarztes notwendig. In diesem Rahmen sollen spezielle Techniken der Notfallmedizin, wie z.B. Intubationsnarkosen und Anlegen von Thoraxdrainagen, erlernt werden. Eine präzise notwendige Anzahl von Intubationen, die eine erforderliche Sicherheit und Routine im Umgang mit einem schwierigen Atemweg in der präklinischen Situation zu gewährleisten vermag, läßt sich in der Literatur nicht sicher ausmachen. Bisweilen verfügt innerklinisch sowie präklinisch tätiges ärztliches und nichtärztliches Personal nicht über ausreichendes Intubationstraining, sodass bei Intubationsschwierigkeiten die Beutel-Maskenbeatmung angezeigt ist und sicher beherrscht werden muss (19, 34, 65, 162).

Beatmungsmasken sind in verschiedenen Größen erhältlich und sollten idealerweise der Schädelgröße und Gesichtsform des Patienten angepasst sein, um eine größtmögliche Dichtigkeit zu gewährleisten. Für die Beatmung von Säuglingen und (Klein)-kindern stehen sowohl totaumentreduzierende Rendell-Baker als auch spezielle runde -Gesichtsmasken zur Verfügung (95). Czarnecki hält die einfache Handhabung, schnelle Verfügbarkeit, universelle Passform, die physiologische Klimatisierung und Reinigung der Ventilationsgase in Verbindung mit jahrzehntelanger Erfahrung für Vorteile der Maskenbeatmung (32). Zu den Nachteilen und Komplikationsmöglichkeiten der Maskenbeatmung zählen jedoch der ungesicherte Luftweg und damit verbunden die Gefahr der Mageninsufflation mit konsekutiver Regurgitation und möglicher Aspiration. Gasleckage, ein mögliches Verletzungsrisiko für Haut, Augen und Nerven sowie die Gefahr der Hypoventilation und des Laryngospasmus stellen weitere Gefahren der Maskenbeatmung dar (26, 57, 139).

Das Entweichen des Atemgases zwischen Maske und Gesicht kann zur Applikation zu geringer Tidalvolumina führen. In deren Folge kann es zu gestörter Kohlendioxidelimination und/oder durch ein zu geringes Sauerstoffangebot zu einer Hypoxie kommen (82).

Brandl hält eine technisch einwandfreie Maskenbeatmung unter Vermeidung einer Überblähung des Magens über einen längeren Zeitraum für nur schwer durchführbar (19). Darüber hinaus ist ein Monitoring der die Beatmung betreffenden Parameter, wie Atemwegsspitzenndruck, expiratorisches Tidalvolumen oder Flussgeschwindigkeit des Atemgases im Notfall nur eingeschränkt möglich und somit auch die manuelle Beatmung schlecht steuerbar. Langeron untersuchte Gründe für die schwierige Maskenbeatmung und nennt im „New Haven Algorithm of the Unknown Airway“ klinische Prädiktoren wie Alter über 55, Body-Mass-Index > 26, Schnarchen in der Anamnese, Zahnlosigkeit und Bartwuchs (97, 135). Lierz erweiterte diesen Katalog um die drei weiteren Faktoren Makroglossie, erhöhter Mallampati Grad, geringe thyreomentale Distanz nach Patil (102, 103, 127).

Zur Beatmung des ungeschützten Luftweges ist es nötig, die Zunge sicher anzuheben (66). Dies ist durch das Einlegen eines Guedel- oder Wendl-Tubus` möglich (152). Stehen diese einfachen oropharyngealen Atemwegshilfen nicht zu Verfügung, kann der von Esmarch-Heidberg`sche-Handgriff angewendet werden. Dieses Manöver besteht aus diskreter Reklination des Kopfes, Öffnen des Mundes und Verschieben des Unterkiefers (Abb.19, siehe Anhang). Die Notwendigkeit der gleichzeitigen Durchführung dieses komplexen Manövers, in Verbindung mit dem dichten Anpressen der Beatmungsmaske und der gleichzeitigen kontinuierlichen Beatmung, ist mit einer hohen Fehlerrate wie Gasleckage, zu schnelles, zu langsames oder zu heftiges Beatmen verknüpft. Dörges und Wenzel sehen auch das Risiko zu geringer Tidalvolumina bei undichtem Sitz der Beatmungsmaske, weisen aber in diesem Zusammenhang darauf hin, dass ein größeres Atemzugvolumen eine Magenbelüftung wahrscheinlicher macht (41, 177).

Durch einen mit Daumen und Zeigefinger ausgeübten moderaten Druck auf den Ringknorpel des Patienten soll eine Regurgitation verhindert werden können.

Dieses, als Sellick'scher Handgriff bezeichnete Manöver, ist nach Brimacombe und Berry, sowohl während der endotrachealen Intubation als auch unter Beutel-Maskenbeatmung möglich und wird vom ERC in den aktuellen Leitlinien empfohlen (71, 115, 154).

Durch diese mechanische Okklusion der Speiseröhre von außen, besteht aber die Gefahr einer Ruptur im Falle eines spontanen Erbrechens (21), welche im Rahmen der Reanimation jedoch vernachlässigbar ist.

Die Magenbelüftung mit nachfolgender Regurgitation und Aspiration zählt zu den am meisten gefürchteten Komplikationen bei der Versorgung respiratorisch instabiler Patienten. Eine ausreichende Oxygenierung und Ventilation sowie das Vermeiden einer Aspiration stehen also im Mittelpunkt der Bemühungen bei der Herstellung eines gesicherten Luftweges (78, 94, 99, 125, 181).

Die Verteilung der Atemluft zwischen Lunge und Magen hängt zum einen vom Patienten und zum anderen von der Art und Weise, wie beatmet wird, ab.

Patientenabhängige Größen sind die Compliance der Lunge und des Thorax (Dehnbarkeit), die Resistance der Atemwege (Atemwegswiderstand), der untere Ösophagussphinkterdruck, aber auch physiognomonische Größen wie etwa der Leibesumfang und der intraabdominelle Druck, der die Zwerchfellexkursion, besonders in Rückenlage, beeinträchtigen kann (17, 33, 122, 143, 173, 176).

Die Gesamtcompliance der Lunge und des Thorax beträgt beim gesunden Erwachsenen ungefähr 100 ml/cmH<sub>2</sub>O (1-2 ml/mbar/kgKG). Sie ist bei Neugeborenen relativ zum Gewicht geringer und steigert sich bis zum Erwachsenenalter (120). Bei der Erhöhung des intrapulmonalen Drucks um 1 cmH<sub>2</sub>O, etwa durch künstliche Beatmung, fließen demnach 100 ml Luft in die Lunge.

Sinkt die Compliance, muss mehr Druck aufgewendet werden um die gleiche Menge Luft insufflieren zu können (111). Ein Absinken der Compliance hat vielerlei Ursachen. So kann beispielsweise die schmerzbedingte Schonhaltung bei Thoraxtrauma, eine Lungenkontusion, ein Lungengerüstumbau bei Lungenfibrose sowie Veränderungen am Gefäßbett im Alter, eine Narkose, die Verwendung bestimmter Opioiden und ein Kreislaufstillstand, insbesondere mit nachfolgend einsetzender Thoraxkompression, zum Elastizitätsverlust der Lunge und des Thorax führen (51, 109, 166).

Bei der Lungenkontusion führen plötzlich auftretende große Scherkräfte zu Gewebeerreißung mit der Folge sukzessiver Einlagerung von Flüssigkeit in Form von Lymphe und Blut, wodurch die Gasaustauschstrecke ebenfalls vergrößert wird (92).

Bei jeder Intubationsnarkose fällt die Compliance der Lunge ab. Die in der Narkose regelhaft stattfindende Überdruckbeatmung führt zu einer veränderten Zwerchfellexkursion. Dies verursacht eine verstärkte Atelektasebildung und ein vermehrtes Shuntvolumen. Die Compliance fällt im Vergleich zur Spontanatmung auf Werte zwischen 50-70 ml/cmH<sub>2</sub>O (140).

Ornato konstatierte auf Grund von Berechnungen an vorher erhobenen Druckkurven, dass die fehlende Pumpleistung des linken Herzens während des Kreislaufstillstandes zu einer Druckerhöhung in den Pulmonalgefäßen führt. Hieraus resultiert ein Flüssigkeitsübertritt zunächst in das Interstitium der Alveole, später in die Alveole selbst. Dadurch wird die Diffusionsstrecke vergrößert, Surfactant ausgespült und die Compliance seiner Ansicht nach bis auf 22 ml/cmH<sub>2</sub>O erniedrigt. Gelingt es nach erfolgreicher Reanimation einen Spontankreislauf zu etablieren, sinkt der intrapulmonale Druck, wobei die Compliance erneut steigt (122, 124).

Einschränkend muss in diesem Zusammenhang erwähnt werden, dass konkrete Aussagen über die intrapulmonalen Druckverhältnisse während einer Reanimation ein invasives, d.h. intravasales Messverfahren, wie etwa einen Pulmonalarterienkatheter (PAK) voraussetzen. Dieses aufwendige Verfahren ist nur in der Intensivmedizin oder etwa am Modell zu realisieren und aus ethisch nachvollziehbaren Gründen in einer präklinischen Reanimationssituation unmöglich. Andere Arbeitsgruppen, wie etwa die um Davis, erhoben ihre Daten, indem sie einen Pneumotachygraphen in das Beatmungssystem zur Reanimation integrierten. Hierbei ergaben sich Compliancewerte um 50 ml/cmH<sub>2</sub>O (33). Vergleichbare Werte erhob Wenzel am Ende der 1990er Jahre bei der Messung der Lungencompliance am Tiermodell (176).

Der Atemwegswiderstand ist eine zweite, entscheidende Größe für die Verteilung der Atemluft zwischen Magen und Lunge während der Beutel-Maskenbeatmung. Da der Luftstrom bei der Überdruckbeatmung des ungeschützten Luftweges dem

Weg des geringsten Widerstandes folgt, fließt bei stetig steigendem Atemwegswiderstand mehr Luft in den Magen.

Die Resistance wird definiert als das Verhältnis von Druckdifferenz zwischen Atmosphäre und Alveole und dem pro Zeiteinheit durchströmenden Gasvolumen. Sie beträgt beim gesunden Erwachsenen 1-3 mbar/l/s. Die Resistance ist eine dynamische Größe und hängt ihrerseits ab vom Lebensalter, von der den Atemweg betreffenden Erkrankung und der Geschwindigkeit, mit der das Atemgas den Respirationstrakt durchströmt. Aufgrund anatomischer und physiologischer Besonderheiten der kindlichen Atmungsorgane sind dort die Strömungswiderstände wesentlich höher. Während die Resistance eines Schulkindes der eines Erwachsenen entspricht, misst man bei Kleinkindern schon 20 mbar/l/s und bei Neugeborenen Werte bis 50 mbar/l/s (119).

Da der Strömungswiderstand dem Hagen-Poiseuille'schen Gesetz folgend umgekehrt proportional der vierten Potenz des Radius` ist, versechzehnfacht sich der Atemwegswiderstand bei der Abnahme des Atemwegdurchmessers um die Hälfte. Das Hagen-Poiseuille'sche Gesetz beschreibt das Verhalten laminarer, d.h. parallel fließender Gase (Atemluft), wie sie aber nur in einem geringen Anteil des menschlichen Respirationstraktes, nämlich den untersten Atemwegen, anzutreffen sind. Im überwiegenden Teil des Respirationstraktes (Bronchien, Trachea, Nasen-Rachenraum) strömt die Luft turbulent, also verwirbelt.

In diesen Bereichen steigt der Atemwegswiderstand zusätzlich mit dem Quadrat der Stömungsgeschwindigkeit an. Darüber hinaus ist der Atemwegswiderstand proportional abhängig von der Viskosität des (Atem)-gases und der Länge des Atemweges (119).

Teil- oder Kompletterlegungen der Atemwege können nicht nur auf dem Boden vorbestehender Erkrankungen, wie zum Beispiel Asthma bronchiale, Herzinsuffizienz mit Rückwärtsversagen oder Tumorstenose, entstehen. Sie bilden sich regelhaft, sowohl während des Herzstillstandes als interstitielles und alveoläres Ödem, als auch während der kardiopulmonalen Reanimation durch Kompression des Thorax aus (110). Auf Grund der zahlreichen, sich addierenden Einflüsse, die zur Zunahme der Resistance des ungeschützten Atemweges während der Notfallbeatmung unter Reanimationsmaßnahmen führen, steigt der

Atemwegswiderstand exponentiell an und erhöht die Gefahr des Abfließens des Beatmungsgases in den Magen.

Patientenabhängige Parameter sind unter Reanimation nur indirekt zu beeinflussen. Die vom Helfer angewendete Beatmung bestimmt den Erfolg der Ventilation und letztlich der Wiederbelebungsmaßnahmen (29).

Abhängig von der Hand des Beatmenden sind Kopfposition, Beatmungsfrequenz, Tidalvolumen, Atemwegsdruck, inspiratorische Flussgeschwindigkeit sowie das Inspirations-/ Expirationsverhältnis (118, 169, 176).

Liegt beispielsweise der vom Helfer applizierte Beatmungsdruck über dem Verschlussdruck des unteren Ösophagusphinkters, kann es zur Insufflation von Luft in den Magen kommen (137). Im weiteren Verlauf einer Reanimation mit Beutel-Maskenbeatmung kann dies zur Regurgitation (Rückfluss von Mageninhalt) und konsekutiver Aspiration (Eindringen von Mageninhalt in die Lunge) führen (173, 175, Abb.5). Im Modellversuch konnte hier gezeigt werden, dass bei zunehmender Größe des Beatmungsbeckens die Ventilation nicht verbessert wurde, sondern das Abfließen des Atemgases über einen bestimmten Beatmungsdruck zu einer signifikanten Blähung des Magens führte (Abb.9).

Dieser Pathomechanismus zieht eine Reihe schwerwiegender Veränderungen nach sich, die deletäre Folgen für den Patienten haben können. So bedingt eine Aspiration per se einen verlängerten Krankenhausaufenthalt mit intensivmedizinischer Behandlung und ist mit einer erhöhten Morbidität und einer Letalität von 4 - 5% verbunden (80, 121, 172). In der klinischen Anästhesie sind bis zu 20% der tödlichen Zwischenfälle Folge einer Aspiration. In der geburtshilflichen Anästhesie ereignen sich bis zu 37% aller maternalen Todesfälle auf dem Boden einer Aspiration (108). Gründe dafür sind nicht nur ein erhöhter intraabdomineller Druck, eine Veränderung der pharyngealen Mukosastruktur, die zu einer erschwerten Intubation führen kann, sondern auch ein erhöhter Progesteronspiegel, der relaxierend auf den unteren Ösophagusphinkter wirkt (72).

Der Verschlussdruck des unteren Ösophagusphinkters (UÖVD) ist eine dynamische Größe, die unter Reanimationsbedingungen aus ethischen Gründen nicht messbar ist. Beim wachen Erwachsenen liegt er zwischen 15 - 25 mmHg

(1 mmHg  $\approx$  1,36 cmH<sub>2</sub>O) und reicht in der Regel aus, um einen Rückfluss von Mageninhalt in die Speiseröhre in Rückenlage zu verhindern (165).

Am Tiermodell konnte jedoch bereits 1995 ein Absinken des unteren Ösophagusverschlussdruckes von 20 cmH<sub>2</sub>O auf 6 cmH<sub>2</sub>O nach fünfminütigem Kreislaufstillstand nachgewiesen werden. Nach Wiedereinsetzen eines Spontankreislaufs stieg dieser wieder an (17). Eine entsprechende Abnahme des unteren Ösophagusverschlussdrucks konnte auch beim Menschen nachgewiesen werden (53).

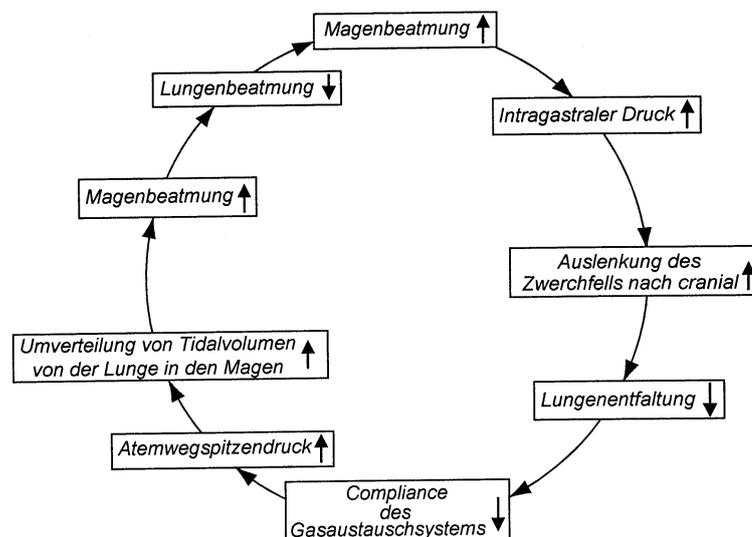
Das Herbeiführen einer Bewusstlosigkeit, unter Erhaltung eines spontanen Kreislaufs (Narkose), führt aufgrund der verwendeten Medikamente ebenfalls zu einer Abnahme des unteren Ösophagusverschlussdruckes. Barbiturate und Benzodiazepine, die regelhaft als Induktionshypnotika zum Einsatz kommen, erniedrigen den Muskeltonus. Depolarisierende Muskelrelaxantien bewirken neben einer Steigerung der Sekretproduktion eine Erhöhung des Druckes im Magen durch Muskelfaszikulationen und Parasympathikusstimulation, wodurch eine Regurgitation provoziert werden kann (27, 85).

Die Aspiration von Mageninhalt in den Respirationstrakt kann zur Verlegung der Atemwege führen. Eine nachfolgende Aspirationspneumonie, das sogenannten Mendelson-Syndrom, endet nicht selten tödlich (106). Das Einbringen stark saurer Substanzen, wie zum Beispiel aspirierter Magensäure (pH 0,8 - 1,5), setzt Zytokine frei (49). Aus einer nachfolgenden Entzündungsreaktion resultiert eine Permeabilitätsstörung an der alveolo - kapillären Membran mit konsekutivem Einstrom von Flüssigkeit in das Interstitium und die Alveole. Auf diese Weise entsteht ein toxisches Lungenödem beziehungsweise ARDS (178). Die dadurch entstandene Vergrößerung der Diffusionsstrecke behindert zunehmend den Gasaustausch. Ein Auswaschen des von den Pneumozyten Typ 2 gebildeten Surfactant führt zu einer weiteren Abnahme der Lungencompliance (118). Eine sich anschließende Ausbildung von Atelektasen (nicht ventilierte und minderperfundierte Lungenabschnitte) reduziert die maximal zur Verfügung stehende Lungenoberfläche und behindert somit die Ventilation. Wegen der Gefahr der Magenbeatmung kann ein Eröffnungsmanöver (Recruitment) zur Wiedereröffnung verschlossener Alveolen, wie es bei intubierten Patienten in

Narkose oder Langzeitbeatmeten auf einer Intensivstation möglich ist, nicht durchgeführt werden (67, 96).

Kennedy et al. machten am Modell der Ratte den pH-Wert der aspirierten Flüssigkeit für das Ausmaß der pulmonalen Schädigung verantwortlich (89). Raidoo et al. zeigten in ihren Untersuchungen jedoch, dass ein Aspirationsvolumen von 0,8 ml/kgKg mit einem pH = 1 an einem Primatenmodell zu einer letal endenden Pneumonie führte; Volumina von 0,4 oder 0,6 ml/kgKg jedoch nicht (132). Dies lässt zum einen den Schluss zu, dass sowohl die Menge als auch die Azidität des Aspirates für das Ausmaß der Lungenschädigung mitverantwortlich sind. Deshalb besteht die Forderung nach Reduzierung der aspirierbaren Menge Mageninhalt und in diesem Zusammenhang nach dem kleinstmöglichen insufflierten Luftvolumen.

Bei der Beatmung des ungeschützten Atemwegs strömt Luft wie durch ein Ventil in den Magen und bläht diesen auf, dadurch kommt es zur Erhöhung des intra-abdominellen Drucks. Dieser behindert das Zwerchfell in seiner Bewegung, wodurch die Gesamtcompliance reduziert wird (35, 74, 100). Um dies zu kompensieren, muss der Atemwegsdruck ansteigen, was zur weiteren Belüftung des Magens führt. Ein Teufelskreis entsteht (42, Abb.19).



**Abb.19:** Respiratorischer „Circulus vitiosus“ bei einem Patienten mit ungesichertem Luftweg nach Wenzel

Um die gastrale Insufflation zu minimieren wird über den Einsatz alternativer Beatmungshilfen und über die Verwendung kleinerer Tidalvolumina diskutiert (40, 104, 157).

Durch die Verwendung geringerer Tidalvolumina soll die maximale Flussrate und damit die gastrale Insufflation reduziert werden. Wenzel et al. konnten 1998 mit einem 700 ml Kinderbeatmungsbeutel eine ausreichende Ventilation an einem in-vitro-Modell bei gleichzeitiger Reduktion der Magenbelüftung erreichen (177).

Als Grundlage für unsere Untersuchungen übernahmen wir dieses Modell und modifizierten es in seinen Einstellungen analog einer Reanimationssituation. Zur Evaluierung der 1998 vom ERC herausgegebenen Leitlinien bei Erwachsenen ein Atemzugvolumen von circa 500 ml bei der Notfallbeatmung unter Raumluft zu applizieren (161), beatmeten wir dieses Modell mit einem 700 ml Kinderbeatmungsbeutel, 1500 ml Erwachsenenbeatmungsbeutel und einem eigens neu entwickelten 1100 ml Beatmungsbeutel.

An dem von uns erstmals nach den oben diskutierten pathophysiologischen Größen (LESP 6 cmH<sub>2</sub>O, Compliance 50 ml/cmH<sub>2</sub>O, Resistance 16 cmH<sub>2</sub>O/l/s) streng eingestellten Modell zeigte sich, dass mit keinem der drei verschieden großen Beatmungsbeutel eine den Leitlinien entsprechend ausreichende Ventilation unter Maskenbeatmung zu erreichen war. Entgegen der bisherigen Annahme, ließ sich mit dem 1500 ml Beatmungsbeutel, das vom ERC als gering eingestufte expiratorische Beatmungsvolumen von 500 ml, nicht erreichen. Dieser gilt als Standardbeatmungsbeutel für Erwachsene und wird seit mehr als vierzig Jahren verwendet (175). Während das mit allen drei Beatmungsbeuteln applizierte pulmonale Tidalvolumen zwischen 250 - 350 ml lag, war das mit dem 1500 ml Beutel im Vergleich zum 700 ml Beutel applizierte gastrale Beatmungsvolumen, fast doppelt so hoch. Dies macht deutlich, dass weder ein größerer Beatmungsbeutel, noch kräftigeres oder längeres Beatmen zu einer besseren Ventilation führen, sondern eine sofortige Magenblähung die Folge ist.

Die über den gesamten Zeitraum mit allen drei Beatmungsbeuteln gemessenen Beatmungsspitzen drücke von circa 12 cmH<sub>2</sub>O sind Ausdruck dafür, dass an einem

eine Reanimationssituation simulierenden, hart eingestellten Modell, mit entsprechend niedriger Compliance, hoher Resistance und niedrigem LESP, höhere Beatmungsdrücke nicht erreichbar scheinen. Demgegenüber kam die Arbeitsgruppe um Wenzel bei Beatmung des ungeschützten Luftwegs mit einem Beutel-Maskensystem am Modell auf Beatmungsspitzen drücke von 9 - 15 cmH<sub>2</sub>O mit dem Erwachsenenbeatmungsbeutel. Der dort verwendete Versuchsaufbau unterscheidet sich zu unserem Modell in einem niedrigeren Atemwegswiderstand und in einem variablen LESP. Wenzel konnte zeigen, dass die Senkung des LESP von 15 über 10 auf 5 cmH<sub>2</sub>O, auch bei physiologischem Atemwegswiderstand, zu einer massiven Mageninsufflation zu Ungunsten der pulmonalen Ventilation führt (177).

Die Versuchsteilnehmer unseres Modellversuchs schienen die deutlich unterschiedlichen pulmonalen und gastraln Beatmungsvolumina nicht wahrzunehmen, was sich in der subjektiven Beurteilung widerspiegelte. Es kann unterstellt werden, dass der Beatmende die Verteilung der Atemvolumina nicht wahrnehmen und damit nicht beeinflussen kann.

Die in unserem Modellversuch erhobenen Daten zusammen mit den Ergebnissen einer klinischen Studie aus dem Jahre 1998 (179), mit der Wenzel et al. eine ausreichende Oxygenierung bei Beatmung mit einem 700 ml Beatmungsbeutel mit einem Sauerstoffanteil von 40% zeigen konnte, veranlasste uns in einer ersten klinischen Studie einen 700 ml Beatmungsbeutel mit einem 1500 ml Beatmungsbeutel bei Beatmung mit Raumluft, wie sie im BLS lediglich zur Verfügung steht, zu untersuchen.

Dazu atmeten die Patienten vor Narkoseeinleitung Raumluft (inspiratorischer Sauerstoffanteil 21%) ein. Es wurde entgegen der üblichen klinischen Verfahren zur Narkoseinduktion weder präoxygeniert noch denitrogenisiert. Damit wurde ein Gasgemisch in der Lunge angestrebt, wie es allgemein zu Beginn eines Herzkreislaufstillstandes anzutreffen ist. Zum Erreichen einer gleichmäßigen Maskenbeatmung verging durchschnittlich eine Minute.

Unter klinischen Bedingungen lag das mit dem 700 ml Beatmungsbeutel applizierte mittlere expiratorische Tidalvolumen bei 6,2 ml/kgKG und damit

deutlich unter dem mit dem 1500 ml Beutel (10,5 ml/kgKG) gemessenen expiratorischen Tidalvolumen.

Bei Raumlufbeatmung mit dem Kinderbeatmungsbeutel fiel bei drei Patienten die peripher gemessene Sauerstoffsättigung innerhalb von drei Minuten unter 90% ab, sodass die Untersuchung zur Gewährleistung der Patientensicherheit zu diesem Zeitpunkt abgebrochen werden musste. Bei den verbleibenden siebzehn Patienten dieser Gruppe fielen nach fünfminütiger Beatmung die mittlere periphere Sauerstoffsättigung sowie die mittels BGA gemessene Sauerstoffsättigung, Sauerstoffpartialdruck und pH-Wert im Vergleich zum Zeitpunkt vor Narkoseeinleitung signifikant ab. Der endexpiratorische und arterielle CO<sub>2</sub> Gehalt zeigten eine ausreichende Ventilation. Nachdem deutlich wurde, dass eine ausreichende Oxygenierung eines in Narkose befindlichen Erwachsenen mit einem 700 ml Beatmungsbeutel mit Raumluf nicht möglich ist, entschlossen wir uns, in einer zweiten klinischen Studie einen neu entwickelten 1100 ml Beatmungsbeutel mit einem 1500 ml Erwachsenenbeatmungsbeutel unter Raumluf im Vergleich zu untersuchen.

Mit dem 1100 ml Beatmungsbeutel waren im Modellversuch bei vergleichbaren expiratorischen Tidalvolumina deutlich geringere gastrale Volumina gegenüber dem 1500 ml Beatmungsbeutel gemessen worden.

Bei Raumlufbeatmung mit dem 1100 ml Beatmungsbeutel in der zweiten klinischen Studie kam es zu einem diskreten Abfall der peripher gemessenen Sauerstoffsättigung auf 95%. Die Erniedrigung der Sauerstoffsättigung lag hier bei allen Patienten innerhalb der im Versuchsprotokoll festgelegten Toleranzen (> 90%), sodass es zu keinem Versuchsabbruch kam. In der BGA zeigte der 1100 ml Beatmungsbeutel über einen Zeitraum von fünf Minuten Beatmung eine mit dem 1500 ml Beatmungsbeutel vergleichbare konstante Oxygenierung und CO<sub>2</sub> Elimination.

Die Ergebnisse der zweiten klinischen Untersuchung legen nahe, dass der neu entwickelte 1100 ml Beatmungsbeutel (8,5 ml/kgKg  $\approx$  650ml) bei deutlich reduzierten, endexpiratorischen Tidalvolumina ebenso wie der 1500 ml Beatmungsbeutel in der Lage war, eine ausreichende Sauerstoffversorgung unter Raumlufbeatmung bei guter Ventilation sicherzustellen.

Bei beiden klinischen Untersuchungen war ein „steady state“ der untersuchten Parameter nach etwa zwei Minuten Beatmung erreicht. Ab diesem Zeitpunkt blieben die gemessenen Beatmungswerte bis zum Ende des fünf Minuten dauernden Beatmungszeitraumes nahezu konstant. Messungen aus der ersten Messminute waren nicht reproduzierbar und wurden deshalb in der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt. Die in beiden Untersuchungen regelmäßig gemessenen Abfälle von Blutdruck und Puls nach Narkoseeinleitung sind am ehesten auf die entsprechenden, bekannten Nebenwirkungen der verwendeten Anästhetika zurückzuführen (77). Wik et al. konnten in einer prospektiv, randomisierten Studie an präklinisch reanimationspflichtigen Patienten mittels BGA mittlerweile zeigen, dass die Oxygenierung bei Beatmung mit einem Tidalvolumen von 500 ml bei einem Sauerstoffanteil von 100% ausreichend ist (180).

Wie sehr die pulmonale Ventilation von Ösophagussphinkterdruck, Compliance und Resistance der Lunge abhängig ist, wird deutlich, wenn man die Ventilationsergebnisse, also endexpiratorische und gastrale Tidalvolumina von Modell (antizipierte Reanimationssituation) und Studien (Narkose) miteinander vergleicht. Aufgrund der Beobachtungen, dass die Beatmung mit dem 1100 ml Beatmungsbeutel unter Raumluft einerseits eine ausreichende Oxygenierung am narkotisierten Patienten sicherstellte, andererseits jedoch eine geringere Mageninsufflation als der 1500 ml Beatmungsbeutel am hart eingestellten Modell verursachte, scheint ein neu entwickelter 1100 ml Beutel für die Beatmung des ungeschützten Atemweges im BLS des Erwachsenen geeignet zu sein.

Einschränkend muss bezüglich des Modells erwähnt werden, dass ein unterer Ösophagusverschlussdruck von 6 cmH<sub>2</sub>O eine „harte“, statische Situation repräsentiert. Ebenso ist einschränkend zu bemerken, dass die während einer echten Reanimationssituation dynamische Änderung der pulmonalen Compliance, Resistance und LESP, in unserem Modell als feste Größe dargestellt war und reale Verhältnisse nur in Annäherung widerspiegelt. Eine in-vivo-Messung schließt sich jedoch aus ethischen sowie messtechnischen Gründen aus. Bezüglich der klinischen Untersuchungen ist einschränkend anzumerken, dass die Patienten ausschließlich ASA I-II klassifiziert waren, während reanimationspflichtige

Patienten häufig an ausgeprägten, insbesondere kardiopulmonalen Vorerkrankungen leiden. Die pulmonale Situation in Narkose ähnelt nur annähernd der in einer Reanimationssituation. Ein plötzlicher Abfall des unteren Ösophagus-sphinkterdruckes unter Reanimation kann in Narkose nicht simuliert werden, sodass davon ausgegangen werden muss, dass in der realen Wiederbelebungssituation ein geringerer Anteil des Atemzugvolumens für die Oxygenierung zur Verfügung steht, weil ein größerer Teil des Tidalvolumen zwangsläufig in den Magen insuffliert wird.

Gemeinsam mit den Untersuchungen von Wenzel et al. (177, 179) bildeten die Ergebnisse dieser Arbeit die Grundlage eines europäischen Expertenpapiers, das in die Vorbereitung der „International Evidence Evaluation Conference“ der American Heart Association im Oktober 1999 in Dallas, Texas zur Erstellung neuer Leitlinien zur Herz-Lungen-Wiederbelebung einfluss (114). In dem Bestreben, die Mageninsufflation mit allen ihren Nebenwirkungen zu reduzieren, wurden die Leitlinien zur Beatmung des ungeschützten Luftweges im Rahmen des BLS im Jahr 2000 entsprechend modifiziert und differenziert. Neben der Reduktion der Mageninsufflation liegt ein weiterer Schwerpunkt auf der frühestmöglichen Gabe von Sauerstoff bei der primären Beatmung in der HLW. Stand demnach Atemluft mit einem Sauerstoffanteil von mindestens 40% zur Verfügung, wurde ein Atemzugvolumen von 6 - 7 ml/kgKg (~ 400 - 500 ml bei 70 kgKg) empfohlen. Stand hingegen nur Raumluft mit einem Sauerstoffanteil von 21% zur Verfügung, wurde zur Notfallbeatmung ein Tidalvolumen von 10 ml/kgKG (~ 700 ml ) empfohlen (63, 64).

Um die Beatmung im BLS im Erwachsenenalter zu standardisieren und zu vereinfachen, wurde in den im Jahr 2005 modifizierten, aktuellen Leitlinien des ERC ein Atemzugvolumen empfohlen, das zum sichtbaren Heben und Senken des Brustkorbes führt. Diese Vorgabe, in Verbindung mit der Forderung nach frühestmöglicher Gabe von Sauerstoff, soll die Beatmung des ungeschützten Luftweges effizient und gleichzeitig so komplikationsarm wie möglich machen. Nach Expertenmeinung wird die angestrebte Thoraxexkursion mit einem Tidalvolumen von 500 - 600 ml beim Erwachsenen erreicht und entspricht damit weitestgehend den Leitlinien zur Beatmung im BLS aus dem Jahre 2000 (70, 75).

## 5. Zusammenfassung

Insbesondere in der Notfallmedizin dient die Sicherung der Atemwege zwei Zielen. Zum einen soll ein unbehinderter Gasstrom gewährleistet sein, zum anderen die Gefahr der Regurgitation und der Aspiration möglichst gering gehalten werden.

Diese beiden Anforderungen kann nur eine endotracheale Intubation gewährleisten, welche deshalb als Goldstandard empfohlen wird. Dies erfordert eine gründliche Ausbildung und ständiges Training.

Für die initiale Beatmung eines Notfallpatienten oder wenn eine sichere Intubation nicht zu gewährleisten ist, sehen aktuelle Leitlinien die Beatmung mit dem Beutel-Masken-System vor. Neben der weiten Verbreitung und prinzipiell einfachen Handhabung, weist diese Form der Beatmung des ungesicherten Luftwegs den Nachteil einer potentiell ungenügenden Oxygenierung und besonders die Gefahr der Magenbeatmung mit dem Risiko nachfolgender Regurgitation und Aspiration auf.

Mit den vorliegenden Untersuchungen sollte das zu applizierende Tidalvolumen eruiert werden, das eine ausreichende Oxygenierung und Ventilation bei gleichzeitig deutlicher Reduktion einer Mageninsufflation sicherstellt. In einer ersten Untersuchung wurde an einem etablierten Beatmungsmodell eines reanimationspflichtigen Patienten mit ungeschütztem Luftweg die Maskenbeatmung mit drei unterschiedlich großen Beatmungsbeuteln (700, 1100 und 1500 ml) durchgeführt.

Atemwegswiderstand (Resistance), Lungendehnbarkeit (Compliance) und unterer Ösophagussphinkterdruck (LESP) waren in diesem Modell entsprechend der aktuellen Literatur auf die pathophysiologischen Werte eines Kreislaufstillstandes justiert.

Es zeigte sich, dass mit keinem der drei verwendeten Beatmungsbeutel das zu dieser Zeit empfohlene Tidalvolumen von 500 ml erreicht werden konnte. Mit absteigender Beutelgröße ließ sich die Magenbeatmung jedoch deutlich reduzieren.

In der anschließenden ersten klinischen Studie an vierzig narkotisierten Patienten wurde der 700 ml Beatmungsbeutel mit dem 1500 ml Beatmungsbeutel im Hinblick auf eine ausreichende Oxygenierung unter Raumlufbeatmung verglichen. Im Gegensatz zur Beatmung mit dem 1500 ml Beatmungsbeutel, führte die Verwendung des 700 ml Beatmungsbeutel in Kombination mit Raumluf zu einem zum Teil kritischen Abfall der Sauerstoffsättigung.

Auf Grund dieser Ergebnisse verglichen wir in einer zweiten klinischen Untersuchung an fünfzig narkotisierten Patienten unter Raumlufbeatmung einen neu entwickelten 1100 ml Beatmungsbeutel mit dem 1500 ml Beatmungsbeutel.

Die Untersuchung zeigte, dass eine Raumlufbeatmung sowohl mit dem 1100 ml als auch mit dem 1500 ml Beatmungsbeutel eine ausreichende Oxygenierung ermöglichte.

Es kann geschlussfolgert werden, dass der neu entwickelte Beatmungsbeutel mit 1100 ml Inhalt eine ausreichende Oxygenierung bei Maskenbeatmung unter Raumluf gewährleistet und dabei die Gefahr der Mageninsufflation im Vergleich mit dem 1500 ml Beatmungsbeutel deutlich reduziert.

Die Ergebnisse flossen in die internationalen Leitlinien 2000 zur Herz-Lungen-Wiederbelebung ein.

Diese empfahlen ein Atemzugvolumen von 6 - 7 ml/kgKG (~ 500 ml), wenn für die Beatmung des ungeschützten Luftweges im Rahmen des Basic Life Support Sauerstoff ( $FiO_2 \geq 40\%$ ) zur Verfügung stand. War jedoch nur Raumluf ( $FiO_2 21\%$ ) verfügbar, wurde ein Atemzugvolumen von 10 ml/kgKG (~ 700 ml) empfohlen.

Um die Beatmung im Basic Life Support im Erwachsenenalter zu standardisieren und damit deutlich zu vereinfachen, wird in den im Jahr 2005 modifizierten Leitlinien des ERC ein Atemzugvolumen empfohlen, das zum sichtbaren Heben und Senken des Brustkorbes führt. Dies entspricht nach Expertenmeinung einem Tidalvolumen von 500 - 600 ml und korreliert damit mit der vorliegenden Untersuchung und den darauf beruhenden Empfehlungen des ERC zur Beatmung des ungeschützten Luftweges aus dem Jahre 2000.

## 6. Literaturverzeichnis

- 1 Die Bibel. 1. Buch Mose (Genesis) 2, Vers 7
- 2 Elisa verheißt den Sunamitern einen Sohn und erweckt das tote Kind.  
Die Bibel, 2. Buch der Könige 4, Vers 32-35
- 3 Airway and ventilation management working group of the European Resuscitation Council.  
Guidelines for the basic management of the airway and ventilation during CPR.  
Resuscitation 1996; 31: 187-200
- 4 Anonymous:  
Standards of cardiopulmonary resuscitation.  
CPR and emergency cardiac care.  
JAMA 1974; 227: 133-168
- 5 Anonymous:  
The use of the laryngeal mask airway by nurses during cardiopulmonary resuscitation. Results of a multicentre trial.  
Anaesthesia 1994; 49: 3-7
- 6 Asai T, Murao K, Shingu K:  
Efficacy of the laryngeal tube during intermittent positive-pressure-ventilation.  
Anaesthesia 2000; 55: 1099-1102
- 7 Baker AB:  
Artificial respiration, the history of an idea.  
Med History 1971; 15: 336-351
- 8 Baskett P, Nolan J, Parr M:  
Tidal volumes which are perceived to be adequate for resuscitation.  
Resuscitation 1996; 31: 231-234
- 9 Becker LB, Berg RA, Pepe PE, Idris AH, Aufderheide TP, Barnes TA, Stratton SJ, Chandra NC:  
A reappraisal of mouth-to-mouth ventilation during bystander-initiated cardiopulmonary resuscitation.  
A statement for healthcare professionals from the ventilation working group of the Basic Life Support and Pediatric Life Support Subcommittees, American Heart Association.  
Circulation 1997; 96: 2102-2112

- 10 Begin R, Racine T, Roy JC:  
Value of capillary blood gas analyses in the management of acute respiratory distress.  
Am Rev Dis 1975; 6: 879-881
- 11 Behrendt H, Schmiedel R:  
Die aktuellen Leistungen des Rettungsdienstes in der Bundesrepublik Deutschland im zeitlichen Vergleich (Teil II).  
Notfall und Rettungsmedizin 2004; 7: 56-70
- 12 Benumof JI:  
Management of the difficult airway.  
Anesthesiology 1991; 75: 1087-1110
- 13 Berg RA, Kern KB, Hilwig RW, Berg MD, Sanders AB, Otto CW, Ewy GA:  
Assisted ventilation does not improve outcome in a porcine model of single-rescuer bystander cardiopulmonary resuscitation.  
Circulation 1997; 95: 1635-1641
- 14 Berg RA, Kern KB, Sanders AB, Otto CW, Hilwig RW, Ewy GA:  
Bystander cardiopulmonary resuscitation: Is ventilation necessary?  
Circulation 1993; 88: 1907-1915
- 15 Berg RA, Wilcoxson D, Hilwig RW, Kern KB, Sanders AB, Otto CW, Eklund DK, Ewy GA:  
The need for ventilatory support during bystander CPR.  
Ann Emerg Med 1995; 27: 342-350
- 16 Blanda M, Gallo UE:  
Emergency airway management.  
Emerg Med Clin North Am 2003; 1: 1-26
- 17 Bowman FP, Menegazzi JJ, Check BD, Duckett TM:  
Lower esophageal sphinkter pressure during prolonged cardiac arrest and resuscitation.  
Ann Emerg Med 1995; 26: 215-219
- 18 Brain AI:  
The laryngeal mask- A new concept in airway management.  
Brit J Anaesth 1983; 55: 801-805
- 19 Brandl F:  
Maßnahmen bei respiratorischer Insuffizienz.  
Das NAW-Buch.  
Urban+Schwarzenberg Verlag, 1999, 2. Auflage,  
München, Wien, Baltimore, S. 170 ff

- 20 Brenner BE, Van DC, Cheng D, Lazar EJ:  
Determinants of reluctance to perform CPR among residents and applicants:  
The impact of experience on helping behavior.  
Resuscitation 1997; 35: 203-211
- 21 Brimacombe JR, Berry AM:  
Cricoid pressure.  
Can J Anesth 1997; 44: 414-425
- 22 Bundesärztekammer  
Reanimation- Empfehlung für die Wiederbelebung,  
Deutscher Ärzte Verlag 2000; Köln
- 23 Christian MD, Loufty M, Mc Donald LC:  
Possible SARS coronavirus transmission during cardiopulmonary  
resuscitation.  
Emerg Infect Dis 2004; 10: 287-293
- 24 Cobb LA, Eliastam M, Kerber RE, Melker R, Moss AJ, Newell L,  
Paraskos JA, Weaver WD, Weil M, Weisfeldt ML:  
Report of the American Heart Association task force on the future of  
cardiopulmonary resuscitation.  
Circulation 1992; 85: 2346-2355
- 25 Cobb LA, Hallstrom AP:  
Community based cardiopulmonary resuscitation: What we have learned.  
Ann NY Acad Sci 1982; 382: 330-342
- 26 Collins VJ (Hrsgb.):  
Principles of Anesthesiologie.  
Lea + Febiger, 1993, Philadelphia
- 27 Cotton BR, Smith G:  
The lower esophageal sphincter pressure and anesthesia.  
Br J Anaesth 1984; 56: 37-46
- 28 Crile GW, Dolley DH:  
An experimental research into the resuscitation of dogs killed by  
anesthetics and asphyxia.  
J Exp Med 1906; 8: 713-725
- 29 Crosby ET, Cooper RM, Douglas MJ, Doyle DJ, Hung OR, Labrecque P,  
Muir H, Murphy MF, Preston RP, Rose DK, Roy L:  
The unanticipated difficult airway with recommendations for management.  
Can J Anaesth 1998; 45: 757-776

- 30 Cummins RO:  
From concept to standard-of-care?  
Ann Emerg Med 1989; 18: 1269-1275
- 31 Cummins RO, Eisenberg MS:  
Prehospital cardiopulmonary resuscitation: Is it effective?  
J Amer Med Ass 1985; 253: 2408-2412
- 32 Czarnecki S:  
Maskenbeatmung.  
Airway-Management. Die Sicherung der Atemwege.  
Georg Thieme Verlag, 2001, Stuttgart, New York, S.74
- 33 Davies K Jr, Johannigman JA, Johnson RC Jr, Branson RD:  
Lung compliance following cardiac arrest.  
Acad Emerg Med 1995; 10: 855-856
- 34 Deakin CD, Peters R, Tomlinson P, Cassidy M:  
Securing the prehospital airway: A comparison of laryngeal mask  
insertion and endotracheal intubation by UK paramedics.  
Emerg Med J 2005; 22: 64-67
- 35 Dembinski R, Henzler D, Bensberg R, Schachtrupp A, Fackeldey V,  
Rossaint R, Kuhlen R:  
Beatmung bei erhöhtem intraabdomonellen Druck:  
Effekte erhaltener Spontanatmung auf Gasaustausch, Hämodynamik,  
und Lungenmechanik.  
Abstractband des Deutschen Anästhesiecongresses 2004.  
Diomed Verlag, Ebelsbach, S. 121,
- 36 Dick WF, Brambrink AM, Kern T:  
Kardiopulmonale Reanimation „oben ohne“?  
Soll die Herz - Lungen - Wiederbelebung künftig ohne Beatmung erfolgen?  
Anästhesist 1999; 48: 290-300
- 37 Döriges V:  
Atemwegsmanagement in der prä- und innerklinischen Notfallmedizin.  
Med. Habil. Lübeck, 2000
- 38 Döriges V, Ocker H, Neubert E, Schumann T, Wenzel V:  
Notfall-Atemwegs-Management - Eine vergleichende Untersuchung  
verschiedener Strategien bei ungesichertem Luftweg.  
Wiener Klinische Wochenschrift 2001; 113: 186-193
- 39 Döriges V, Ocker H, Wenzel V, Sauer C, Schmucker P:  
Emergency airway management by non-anaesthesia house officers-  
a comparison of three strategies.  
Emerg Med J 2001; 18: 90-94

- 40 Döriges V, Sauer C, Ocker H, Wenzel V, Schmucker P:  
Airway management during cardiopulmonary resuscitation. A comparison  
of bag-valve-mask, laryngeal mask and combitube.  
Resuscitation 1999; 41: 63-69
- 41 Döriges V, Sauer C, Ocker H, Wenzel V, Schmucker P:  
Smaller tidal volumes during cardiopulmonary resuscitation:  
Comparison of adult and paediatric self-inflatable bags with three  
different ventilatory devices.  
Resuscitation 1999; 43: 31-37
- 42 Döriges V, Wenzel V:  
Ventilation zur kardiopulmonalen Reanimation.  
Intensivmedizin 2001; 38: 576-589
- 43 Döriges V, Wenzel V, Knacke P, Gerlach K:  
Comparison of different airway management strategies to ventilate  
apneic, non preoxygenated patients.  
Crit Care Med 2003; 3: 800-804
- 44 Döriges V, Wenzel V, Neubert E, Ocker H, Schmucker P:  
Alternative Airway Devices- Beneficial during Basic Life Support (BLS)?  
Resuscitation 2000; 34: 109-112
- 45 DPA:  
Mehr Selbstmorde als Verkehrstote.  
Lübecker Nachrichten. 05.07.2000. Lübeck.
- 46 Eftestol T, Sunde K, Steen PA:  
Effects of interrupting precordial compressions on the calculated  
probability of defibrillation success during out-of-hospital cardiac  
arrest.  
Circulation 2001; 105: 2270-2273
- 47 Eisenberg et al.:  
Cardiac arrest and resuscitation: A tale of 29 cities.  
Ann Emerg Med 1990; 19: 176-186
- 48 Emergency cardiac care committee and subcommittees,  
American Heart Association  
Guideline for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiac care.  
Part 2: Adult basic life support.  
JAMA 1992; 268: 2184-2198
- 49 Folkesson HG, Matthay MA, Herbert CA, Broaddus VC:  
Acid aspiration-induced lung injury in rabbits is mediated by  
Interleukin-8-dependent mechanisms.  
J Klein Invest 1995; 96: 107-116

- 50 Frass M, Frenzer R, Rauscha F, Weber H, Pacher R, Leithner C:  
Evaluation of the esophageal tracheal combitube in cardiopulmonary resuscitation.  
Crit Care Med 1987; 15: 609-611
- 51 Freye E:  
Durch Opioide ausgelöste Muskelstarre.  
Freye E: Opioide in der Medizin.  
Springer Verlag, 1999, 4. Auflage, Berlin, S. 101ff
- 52 Gabbott DA, Baskett PJ:  
Management of the airway and ventilation during resuscitation.  
Br J Anaesth 1997; 79: 159-171
- 53 Gabrielli A, Wenzel V, Layon AJ, von Goedecke A, Verne NG, Idris AH:  
Lower esophageal sphincter pressure measurement during cardiac arrest in humans: Potential implications for ventilation of the unprotected airway.  
Anesthesiology 2005, 103 (4): 897-899
- 54 Garza AG, Gratton MC, Coontz D, Noble E, Ma OJ:  
Effect of paramedic experience on orotracheal intubation success rates.  
J Emerg Med 2003; 25: 251-256
- 55 Gausche M, Lewis RJ, Stratton SJ:  
Effect of out-of-hospital pediatric endotracheal intubation on survival and neurological outcome:  
A controlled clinical trial.  
JAMA 2000; 283: 783-790
- 56 Genzwürker H:  
Ausstattung von notarztbesetzten Rettungsmitteln in Baden-Württemberg.  
Anästhesist 2002; 51: 367-373
- 57 Glauber DT:  
Facial paralysis after general anesthesia.  
Anesthesiology 1986; 65: 516-517
- 58 Gorgaß B, Ahnefeld FW:  
Rettungsassistent und Rettungssanitäter.  
Springer Verlag, 1989, 2. Auflage, S.146
- 59 Greene DG:  
General considerations.  
Whittenberger JL: Artificial respiration: Theory and application.  
Hoeber, 1962, New York, S. 35-68

- 60 Gries A:  
Zukunft der präklinischen Notfallmedizin in Deutschland.  
Anästhesist 2003; 52: 718-724
- 61 Gries A, Bernhard M, Völkl A, Zink W, Böttiger BW:  
Einsatz Erfahrung von Notärzten.  
Abstractband des Deutschen Anästhesiecongresses 2004.  
Diomed Verlag, Ebelsbach, S. 67
- 62 Gries A, Zink W, Bernhard M, Messelken M, Schlechtriem T:  
Einsatzrealität im Notarztdienst.  
Notfall und Rettungsmedizin 2005; 8: 391-398
- 63 Guidelines 2000 for cardiopulmonary resuscitation and emergency  
cardiovascular care -An international consensus on science.  
Circulation 2000; 102: suppl.: I 22-59
- 64 Guidelines 2000 for cardiopulmonary resuscitation and emergency  
cardiovascular care. An international consensus on science. Part 3:  
Adult Basic Life Support.  
Resuscitation 2000; 46: 29-71
- 65 Guidelines 2000 for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency  
Cardiovascular Care -An international consensus on science.  
Adjuncts for oxygenation, ventilation and airway control.  
Resuscitation 2000; 46: 115-127
- 66 Guildner CW:  
Resuscitation -Opening the airway: A comparative study of techniques  
for opening an airway obstructed by the tongue.  
JACEP 1976; 5: 588
- 67 Gross M, Lehrbach G:  
Effektivität pulmonaler Rekrutierungsmanöver in der Therapie des  
akuten Lungenversagens.  
Intensivmedizin 2002; 39: 144-147
- 68 Hagberg CA:  
Special devices and techniques.  
Anesthesiol Clin North America 2002; 20: 907-932
- 69 Handley AJ:  
The 1998 European Resuscitation Council guidelines for adult single rescuer  
basic life support.  
Resuscitation 1998; 37: 67-80

- 70 Handley AJ, Koster R, Monsieurs K, Perkins GD, Davies S, Bossaert L:  
Lebensrettende Basismaßnahmen für Erwachsene und Verwendung  
automatisierter externer Defibrillatoren.  
Abschnitt 2 der Leitlinien zur Reanimation 2005 des European Resuscitation  
Council.  
Notfall und Rettungsmedizin 2006; 9: 10-25
- 71 Hartsilver EL, Vanner RG:  
Airway obstruction with cricoid pressure.  
Anaesthesia 2000; 55: 208-211
- 72 Hawkins LJ, Koonin LM, Palmer SK, Gibbs CP:  
Anesthesia related deaths during obstetric delivery in  
US 1979- 1990.  
Anesthesiology 1997; 86: 277-284
- 73 Heilmann KH, Muschenheim C:  
Primary cutaneous tuberculosis resulting from mouth-to-mouth  
respiration.  
N Engl J Med 1965; 273: 1035-1036
- 74 Herff H, Schlechtriem T, Altemeyer KH:  
Unterer Ösophagusphinkterverschlussdruck bei ungeschütztem Atemweg.  
Anästhesist 2005; 12: 1235-1236
- 75 Herff H, Schmittinger CA, Wenzel V, Lindner KH:  
Basismaßnahmen sind unabdingbare Grundlage der kardiopulmonalen  
Reanimation.  
Kliniker 2006; 35 (7): 270-275
- 76 Hew P, Brenner B, Kaufmann J:  
Reluctance of paramedics and emergency medical technicians to  
perform mouth-to-mouth resuscitation.  
J Emerg Med 1997; 15: 279-284
- 77 Hintzenstern von U, Olenik D, Plantiko P, Bauer N, Herrmann U:  
Notfallmedikamente.  
Notarztleitfaden.  
Urban und Fischer Verlag, 2001, 3. Auflage, München, S. 627 ff.
- 78 Ho-Tai LM, Devitt JH, Noel AG, O'Donnell MP:  
Gas leak and gastric insufflation during controlled ventilation:  
Face mask versus laryngeal mask airway.  
Can J Anaesth. 1998; 45: 206-211
- 79 Hübler M, Schmidt J, Möllemann A, Eberlein- Gonska M, Koch T:  
Klinikadaptierter Algorithmus für die unerwartet schwierige Intubation.  
Abstractband des Deutschen Anästhesiecongresses 2004.  
Diomed Verlag, Ebelsbach, S. 108

- 80 Hudson LD, Milberg JA, Anardi D, Maunder RJ:  
Clinical risks for development of the acute distress syndrome.  
Amer J Respir Crit Care 1995; 151: 293-301
- 81 Idris AH, Becker LB, Fuerst LS, Wenzel V, Rush WJ, Melker RJ, Orban DJ:  
Effect of ventilation on resuscitation in an animal model of cardiac arrest.  
Circulation 1994; 90: 3063-3069
- 82 Idris AH, Staples ED, O'Brien DJ, Melker RJ, Rush WJ, Del Duca KD,  
Falk JL:  
Effect of ventilation on acid-base balance and oxygenation in low  
blood-flow states.  
Crit Care Med 1994; 22: 1827-1834
- 83 Jemmet ME, Kendall KM, Fourre MW, Burton JH:  
Unrecognized misplacement of endotracheal tubes in a mixed urban  
to rural emergency medical services setting.  
Acad Emerg Med 2003; 10: 961-965
- 84 Jones JH, Murphy MP, Dickson RL, Sommerville GG, Brizendine EJ:  
Emergency physician-verified out-of-hospital intubation: Miss rates by  
paramedics.  
Acad Emerg Med 2004; 11: 707-709
- 85 Karow T, Lang R:  
Muskelrelaxantien.  
Allgemeine und spezielle Pharmakologie und Toxikologie.  
Eigenverlag, 2000, 8. Auflage, Köln, S. 363
- 86 Karpovich PV:  
Adventures in artificial respiration.  
Association Press, 1953, New York
- 87 Katz SH, Falk JL:  
Misplaced endotracheal tubes by paramedics in urban emergency service  
systems.  
Ann Emerg Med 2001; 37: 32-37
- 88 Keith A:  
Three hunterian lectures on the mechanism underlying the various methods  
of artificial respiration practiced since the foundation of the Royal Humane  
Society in 1774.  
Lancet 1909; 1: 745-749
- 89 Kennedy TP, Johnson KJ, Kunkel RG:  
Acute acid aspiration lung injury in the rat: Biphasic pathogenesis.  
Anesth Analg 1989; 69: 87

- 90 Kern KB, Hilwig RW, Berg RA, Sanders AB, Ewy GA:  
Importance of continuous chest compressions during cardiopulmonary resuscitation: Improved outcome during a simulated single layrescuer scenario.  
Circulation 2002; 105: 645-649
- 91 Kettler DJ, Bahr J, Juchems R:  
HLW in der Bundesrepublik Deutschland.  
Dtsch Ärztebl 1989, 86: 1976-1980
- 92 Klein U, Wiedemann K:  
Thoraxchirurgie.  
Kochs E, Krier C, Buzello W, Adams HA: Anästhesiologie.  
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, S. 1054
- 93 Konrad C, Schupfer G, Wietlisbach M, Gerber H:  
Learning manual skills in anesthesiology:  
Is there a recommended number of cases for anesthetic procedures?  
Anesth Analg 1998; 86: 635-639
- 94 Krischer JP, Fine EG, Davis JH, Nagel EL:  
Complications of cardiac resuscitation.  
Chest 1987; 92: 287-291
- 95 Kretz FJ (Hrsgb.):  
Anästhesie.  
Intensiv-und Notfallmedizin bei Kindern.  
Thieme Verlag, 1998, Stuttgart, S.38
- 96 Lachmann B:  
Open up the lung and keep the lung open.  
Intensive Care Medicine 1992; 18: 319-321
- 97 Langeron O, Masso E, Huraux C, Guggiari M, Bianchi A, Coriat P, Biou B:  
Prediction of difficult mask ventilation.  
Anesthesiology 2000; 92: 1229-1236
- 98 Larsen R:  
Anästhesie  
Urban + Fischer Verlag, 2002, 6. Auflage, München, Jena, S. 878
- 99 Lawes EG, Baskett PJ:  
Pulmonary aspiration during unsuccessful cardiopulmonary resuscitation.  
Intensive Care Med. 1987; 13: 379-382
- 100 Lawes EG, Campbell E, Mercer D:  
Inflation pressure, gastric insufflation and rapid sequence induction.  
Br J Anaesth 1987; 59: 315-318

- 101 Lee RV:  
Cardiopulmonary resuscitation in the eighteenth century. A historical perspective on present practice.  
J Hist Med 1972; 14: 418-433
- 102 Lierz P:  
Erkennen eines schwierigen Atemwegs.  
Döriges V, Paschen HR:  
Management des schwierigen Atemwegs.  
Springer Verlag 2004, S. 34
- 103 Mallampati SR, Gatt SP, Gugino LD, Desai SP, Waraksa B, Freiburger D, Liu PL:  
A clinical sign to predict clinical intubation: A prospective study.  
Canadian Anaesthetists Society Journal 1985; 32: 429-434
- 104 Martin PD, Cyna AM, Hunter WAH, Henry J, Ramayya GP:  
Training nursing staff in airway management: A clinical comparison of the face mask and the laryngeal mask.  
Anaesthesia 1993; 48: 33-37
- 105 Melker RJ, Banner MJ:  
Ventilation during CPR: Two-rescuer standards reappraised.  
Ann Emerg Med 1985; 14: 397-402
- 106 Mendelson CL:  
The aspiration of stomach contents into the lungs during obstetric anesthesia.  
An J Obstet Gynecol 1946; 52: 191
- 107 Morris N:  
The history of cardiac resuscitation.  
Stephenson HE: Cardiac arrest and resuscitation.  
Mosby 1958, St.Louis; S. 15-31
- 108 Müller E:  
Behandlung nach Aspiration von Mageninhalt.  
AINS 1996; 31: 265- 269
- 109 Muravchick S:  
The aging process: Anesthetic implications.  
Acta Anaesth Belg 1998; 49: 85- 90
- 110 Nagel EL, Fine EG, Krischer JP:  
Complications of CPR.  
Crit Care Med 1981; 9: 424

- 111 Nemes C:  
Lunge und Atmung.  
Niemer M, Nemes C, Lundsgaard- Hansen P, Blauhut B:  
Datenbuch Intensivmedizin,  
Gustav Fischer Verlag, 1992, 3. Auflage, Stuttgart, S. 58
- 112 Niemann JT, Criley JM, Rosborough JP, Niskanen RA, Alferness C:  
Predictive indices of successful cardiac resuscitation after prolonged  
arrest and experimental cardiopulmonary resuscitation.  
Ann Emerg Med 1985; 14: 521-528
- 113 Noc M, Weil MH, Tang W, Turner T, Fukui M:  
Mechanical ventilation maynot be essential for initial cardiopulmonary  
resuscitation.  
Chest 1995; 108: 821-827
- 114 Nolan, persönliche Mitteilung
- 115 Nolan JP, Deakin CD, Soar J, Böttiger BW, Smith G:  
Erweiterte Reanimationsmaßnahmen für Erwachsene (ALS).  
Abschnitt 4 der Leitlinien zur Reanimation 2005 des European  
Resuscitation Council  
Notfall und Rettungsmedizin 2006; 9: 38-80
- 116 Nolan JP, Parr MJA:  
Aspects of resuscitation in trauma.  
Br J Anaesth 1997; 79: 226-240
- 117 Ocker H, Wenzel V, Schmucker P, Dörges V:  
Effectiveness of various airway management techniques in a bench model  
simulating a cardiac arrest patient.  
J Emerg Med 2001; 20: 7-12
- 118 Oczenski W, Werba A, Andel H:  
Atmen- Atemhilfen.  
Blackwell Verlag, 2001, 5.Auflage, Berlin, S. 6
- 119 Oczenski W, Werba A, Andel H:  
Atmen- Atemhilfen  
Blackwell Verlag, 2001, 5.Auflage, Berlin, S. 19-20
- 120 Oczenski W, Werba A, Andel H:  
Atemmechanische Größen  
Atmen- Atemhilfen.  
Blackwell Verlag, 2001, 5. Auflage, Berlin, S. 29

- 121 Olsson GL, Haalen B, Hambraeus- Johnzon K:  
Aspiration during anaesthesia:  
A computer- aided study of 185.358 anaesthetics.  
Acta Anaesthesiol Scand 1986; 30: 84-92
- 122 Ornato JP, Bryson BL, Donovan PJ, Farquharson RR, Jaeger C:  
Measurement of ventilation during cardiopulmonary resuscitation.  
Crit Care Med 1983; 11: 79-82
- 123 Ornato JP, Hallagan LF, McMahan SB, Peeples EH, Rostafinski AG:  
Attitudes of BCLS instructors about mouth-to-mouth resuscitation  
during the AIDS epidemic.  
Ann Emerg Med 1990; 19: 151-156
- 124 Ornato JP, Ryschon TW, Gonzalez ER, Bredthauer JL:  
Rapid change in pulmonary vascular hemodynamics with  
pulmonary edema during cardiopulmonary resuscitation.  
Am J Emerg Med 1985; 3: 137-142
- 125 Osterwalder JJ, Schuhwerk W:  
Effectiveness of mask ventilation in a training manikin.  
A comparison of the oxylator EM 100 and the bag-valve device.  
Resuscitation 1998; 36: 23-27
- 126 Paraskos JA:  
Biblical accounts of resuscitation.  
J Hist Med Allied Sci 1992; 47: 310-321
- 127 Patil VU, Stehling LC, Zaunders HL:  
Fibre-optic endoscopy in anaesthesia.  
Year Book Medical Publishers 2000, z
- 128 Pearson JW:  
Historical and experimental approaches to modern resuscitation.  
Charles C.Thomas 1965, Springfield, IL., 1-93
- 129 Pelucio M, Halligan L, Dhindsa H:  
Out-of-hospital experience with the syringe esophageal detector device.  
Acad Emerg Med 1991; 4: 563-568
- 130 Pepe PE, Zachariah BS, Chandra NC:  
Invasive airway techniques in resuscitation.  
Ann Emerg Med 1993; 22: 393-403
- 131 Peter K:  
Ist weniger tatsächlich mehr? CPR künftig ohne Beatmung ?  
Anästhesist 1999; 48: 289

- 132 Raidoo DM, Rocke DA, Brocke- Utne JG:  
Critical volume for pulmonary acid aspiration reappraisal in a primate  
modell.  
Br J Anaesth 1990; 65: 248
- 133 Reed AP:  
Current concepts in airway management for cardiopulmonary resuscitation.  
Mayo Clin Proc 1995; 70: 1172-1184
- 134 Rinninger F, Greten H:  
Glucosestoffwechsel  
Innere Medizin: Schettler G, Greten H.  
Georg Thieme Verlag ,1998, 9.Auflage, Stuttgart, New York, S.30-32
- 135 Rosenblatt WH:  
The airway approach algorithm.  
J Clin Anesth 2004; 16: 312-316
- 136 Ruben H:  
Anaesthesia and resuscitation equipment I happened to be involved with.  
Anaesthesia Essays on its history.  
Hrsg.: Rureht et al.  
Springer Verlag, 1982,Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, S.65-68
- 137 Ruben H, Knudsen EJ, Carugati G:  
Gastric inflation in relation to airway pressure.  
Acta Anaesthesiol Scand 1961; 5: 107-114
- 138 Ruben H, Knudsen EJ, Winkel E, Hjorth A:  
Eine Narkosemethode, die auch in Katastrophensituationen gebraucht  
werden kann.  
Anästhesist 1958; 7: 161-163
- 139 Rumball CJ, MacDonald D:  
The PTL, Combitube, laryngeal mask and oral airway.  
A randomized prehospital comparative study of ventilation device  
effectiveness and costeffectiveness in 470 cases of cardiorespiratory  
arrest.  
Prehospital Emergency Care 1997; 1: 1-10
- 140 Sadra R:  
Monitoring und Diagnostik der Atmung und Beatmung.  
Scherer R: Anästhesiologie: Ein handlungorientiertes Lehrbuch.  
Georg Thieme Verlag, 2000, Stuttgart, S. 8-28
- 141 Safar P:  
Failure of manual respiration.  
J Appl Physiol 1959; 14: 84-88

- 142 Safar P, Brown TC, Holtey WY, Wilder RJ:  
Ventilation and circulation with closed-chest cardiac massage in man.  
JAMA 1961; 176: 574-576
- 143 Safar P, Agosto-Escarraga L:  
Compliance in anesthetized adults.  
Anesthesiology 1959; 20: 283-289
- 144 Samssoon GLT, Young JRB:  
Difficult Intubation: A retrospective study.  
Anaesthesia 1987; 42: 487- 490
- 145 Sauer C:  
Atemwegsmanagement in der prä- und innerklinischen Notfallmedizin.  
Med. Diss. Lübeck, 2002
- 146 Sayre MR, Sakles JC, Mistler AF, Evans JL, Kramer AT, Pancioli AM:  
Field trial of endotracheal intubation by basic EMTs.  
Ann Emerg Med 1998; 31: 228-233
- 147 Schinnerl A, Kroesen G, Baubin M, Benzer H:  
Ergebnis der präklinischen kardiopulmonalen Reanimation in den ersten  
Betriebsjahren eines NAW-Systems.  
Anästhesist 1990; 39: 469-474
- 148 Schmidt RF, Thews G:  
Physiologie des Menschen  
Springer Verlag, 1995, 26.Auflage, S. 636
- 149 Schneider et al.:  
Überlebenschance nach präklinischer Reanimation-  
Bedeutung des frühzeitigen Einsatzes von Ersthelfern.  
Notarzt 1990; 6: 166-171
- 150 Schüttler et al.:  
Effizienz der präklinischen kardiopulmonalen Reanimation:  
Welche Faktoren bestimmen den Erfolg?  
Anästh Intensivther Notfallmed 1990; 25: 340-347
- 151 Schulte am Esch et al.:  
Anästhesie und Intensivmedizin.  
Georg Thieme Verlag, 2000, Stuttgart, S. 289
- 152 Schulte am Esch et al.:  
Anästhesie und Intensivmedizin.  
Georg Thieme Verlag, 2000, Stuttgart, S. 292-296

- 153 Schulte am Esch J, Goerig M:  
The history of anaesthesia.  
Dräger Verlag, 1997, Lübeck, S. 48
- 154 Sellick BA:  
Cricoid pressure to control regurgitation of stomach contents during  
induction of anaesthesia.  
Lancet 1961, 2: 404- 406
- 155 Shearer V:  
Modern airway management for the trauma patient.  
Curr Opin Anaesthesiology 2000; 2: 135-139
- 156 Spiro SG, Dowdeswell IR:  
Arterialized ear lobe blood samples for blood gas tensions.  
Br J Dis Chest 1976; 4: 263-268
- 157 Staudinger T et al:  
Comparisation of the combitube with the endotracheal tube in  
cardiopulmonary resuscitation in the prehospital phase.  
Wiener Klinische Wochenschrift 1994; 106: 412- 415
- 158 Stauffer JL, Olsen DE, Petty TL:  
Complications and consequences of endotracheal intubation and  
tracheotomie.  
Am J Med 1981; 70: 65
- 159 Stone BJ, Chantler PJ, Baskett PJF:  
The incidence of regurgitation during cardiopulmonary resuscitation:  
A comparison between the bag valve mask and laryngeal mask airway.  
Resuscitation 1998; 38: 3-6
- 160 Sun D, Bennet RB, Archbald DW:  
Risk of acquiring AIDS from salivary exchange through cardiopulmonary  
resuscitation courses and mouth-to-mouth resuscitation.  
Semin Dermatol 1995; 14: 205-211
- 161 The 1998 European Resuscitation Council guidelines for adult advanced life  
support. A statement from the Working Group on advanced life support.  
Resuscitation 1998; 37: 81-90
- 162 Thierbach A, Piepho T, Wolcke B, Kuster S, Dick W:  
Prehospital emergency airway management procedures success rates  
and complications.  
Anästhesist 2004; 14: 317-324
- 163 Timmermann A et al:  
Anest Analg 2007, im Druck

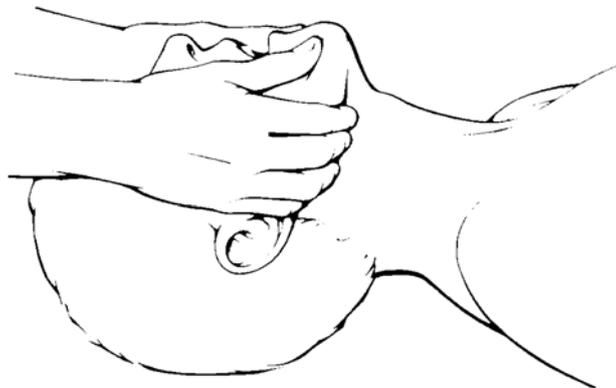
- 164 Varon J, Sternbach GL:  
Cardiopulmonary resuscitation: Lessons from the past.  
J Emerg Med 1991; 9: 503-507
- 165 Vaupel E, Ewe K:  
Funktionen des Magen-Darm-Kanals.  
Schmidt RF, Thews G: Physiologie des Menschen.  
Springer Verlag, 1995, 26. Auflage, Berlin, S. 817
- 166 Veering BT:  
Management of anaesthesia in elderly patients.  
Curr Opin Anaesthesiol 1999; 12: 333-336
- 167 Verghese C, Prior-Willeard PF, Baskett PJ:  
Immediate management of the airway during cardiopulmonary resuscitation  
in a hospital without a resident anaesthesiologist.  
Eur J Emerg Med 1994; 3: 123-125
- 168 von Goedecke A:  
Persönliche Mitteilung
- 169 von Goedecke A, Bowdwn K, Keller C, Voelckel WG, Jeske HC,  
Wenzel V:  
Verkürzte Inspirationszeit während der Beatmung eines ungeschützten  
Atemweges. Effekt auf die Magen und Lungenbeatmung im  
Simulationsmodell.  
Anästhesist 2005; 2: 117-122
- 170 von Goedecke A, Keller C, Voelckel WG, Dünser M, Paal P, Torgersen C,  
Wenzel V:  
Maskenbeatmung als Rückzugsstrategie zur endotrachealen Intubation.  
Anästhesist 2006; 1: 70-90
- 171 von Planta I, Weil MH, von Planta M, Gazmuri RJ, Duggal C:  
Hypercarbic acidosis reduces cardiac resuscitability.  
Crit Care Med 1991; 19: 1177-1182
- 172 Warner MA, Warner ME; Weber JG:  
Clinical significance of pulmonary aspiration during the perioperative  
period.  
Anesthesiology 1993; 78: 56-62
- 173 Weiler N, Heinrichs W, Dick W:  
Assessment of pulmonary mechanics and gastric inflation pressure during  
mask ventilation.  
Prehosp Disaster Med 1995; 10: 101-105

- 174 Wenzel V, Döriges V, Lindner KH:  
Spontanatmung - Schnappatmung - Beatmung?  
Notfall und Rettungsmedizin 2001; 4: 557-571
- 175 Wenzel V, Idris AH:  
The current status of ventilation strategies during cardiopulmonary resuscitation.  
Current Opinion Crit Care 1997; 3: 206-213
- 176 Wenzel V, Idris AH, Banner MJ, Kubilis PS, Band R, Williams JL, Lindner KH:  
Respiratory system compliance decreases after cardiopulmonary resuscitation and stomach inflation: Impact of large and small tidal volumes on calculated peak airway pressure.  
Resuscitation 1998; 38: 113-118
- 177 Wenzel V, Idris AH, Banner MJ, Kubilis PS, Williams JL:  
Influence of tidal volume on the distribution of gas between the lungs and the stomach in the notintubated patient receiving positive pressure ventilation.  
Crit Care Med 1998; 26: 364-368
- 178 Wenzel V, Idris AH, Lindner KH:  
Ventilation with an unprotected airway.  
Vincent J: Yearbook of intensive care and emergency medicine.  
Springer Verlag, 1997, Berlin, Heidelberg, S. 483-492
- 179 Wenzel V, Keller C, Idris AH, Doerges V, Lindner KH, Brimacombe JR:  
Effects of smaller tidal volumes during basic life support ventilation in patients with respiratory arrest: Good ventilation, less risk?  
Resuscitation 1999; 43: 25-29
- 180 Wik L et al.:  
Arterial blood-gases with 500 - versus 1000 ml tidal volumes during out-of-hospital CPR.  
Resuscitation 2000;45(1): 27-33
- 181 Zecha- Stallinger A, Wenzel V, Wagner- Berger HG, Von Goedecke A, Lindner KH, Hormann C:  
A strategy to optimise the performance of the mouth-to-bag resuscitator using small tidal volumes: Effects of lung and gastric ventilation in a bench modell of an unprotected airway.  
Resuscitation 2004; 1: 69-74

## 7. Anhang

### 7.1. Abbildungsverzeichnis

1: C-Griff	15
2: Selbstexpandierender Beatmungsbeutel, Maske, Guedeltubus	16
3: Schematischer Versuchsaufbau des Beatmungsmodells	18
4: Verbesserte Jackson Position	19
5: Mechanismus der Regurgitation nach Überdruckbeatmung	20
6: Meßprotokoll für das Beatmungsmodell	24
7: Meßprotokoll der OP- Studie	28
8 Platzierungszeit	29
9 Pulmonale- und gastrale Tidalvolumina am Modell	31
10: Pulmonale- und gastrale Spitzendrücke am Modell	32
11: Exspiratorische Tidalvolumina aus erster klin. Studie	35
12: Atemwegsspitzenrücke aus erster klin. Studie	36
13: Periphere Sauerstoffsättigung aus erster klin. Studie	38
14: Endexpiratorisches Kohlendioxid aus erster klin. Studie	39
15: Exspiratorische Tidalvolumina aus zweiter klin. Studie	42
16: Atemwegsspitzenrücke aus zweiter klin. Studie	43
17: Periphere Sauerstoffsättigung aus zweiter klin. Studie	45
18: Endexpiratorisches Kohlendioxid aus zweiter klin. Studie	46
19: Circulus vitiosus der Maskenbeatmung nach Wenzel	60
20: Von Esmarch-Heidberg`scher Handgriff	87



## 7.2. Tabellenverzeichnis

1: Objektive Beurteilung durch den Versuchsleiter	33
2: Subjektive Beurteilung durch die Versuchsteilnehmer	34
3: Blutgasanalyse aus erster klin. Studie	41
4: Blutgasanalyse aus zweiter klin. Studie	48
5: Ergebnisse 700 ml Beatmungsbeutel am Modell	90
6: Ergebnisse 1100 ml Beatmungsbeutel am Modell	90
7: Ergebnisse 1500 ml Beatmungsbeutel am Modell	90
8: Ergebnisse 700 ml Beatmungsbeutel aus erster klin. Studie	91
9: Ergebnisse 1500 ml Beatmungsbeutel aus erster klin. Studie	92
10: Patientenmerkmale der ersten klin. Studie	92
11: Ergebnisse 1100 ml Beatmungsbeutel aus zweiter klin. Studie	93
12: Ergebnisse 1500ml Beatmungsbeutel aus zweiter klin. Studie	94
13: Patientenmerkmale der zweiten klin. Studie	94

### 7.3. ASA-Risikoklassen

<b>ASA 1:</b>	gesunder Patient
<b>ASA 2:</b>	leichte bis mäßige Beeinträchtigung des Allgemeinbefindens
<b>ASA 3:</b>	schwere Störungen des Allgemeinbefindens
<b>ASA 4:</b>	schwere, lebensbedrohliche Allgemeinerkrankungen
<b>ASA 5:</b>	moribund, nur geringe Überlebenschancen

### 7.4. Lungenphysiologische Normalwerte

Cges	Gesamtcompliance	100 ml/mbar
R	Resistance	1-3 mbar/l/s
AF (Erw.)	Atemfrequenz	12-20/min

## 7.5. Referenzbereich der kapillären BGA

HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	aktuelles Bikarbonat	22-27 mmol
O <sub>2</sub> GE	Sauerstoffgehalt	18-22 ml/dl Blut
pCO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> - Partialdruck	33-45 mmHg
pH	neg. dekadischer Logarithmus der H <sup>+</sup> Ionenkonzentration	7,37-7,45
pO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> - Partialdruck	70-104 mmHg
SAET	Sauerstoffsättigung	92-96%
SBIC	Standardbikarbonat	22-27 mmol
SBUE	(Standard-) Basenüberschuss	-3 - + 3

## 7.6. Verhältnis physikalischer Größen

1 cmH <sub>2</sub> O	= 0,981 mbar	= 98,1 Pa
1 mmHg	= 1 Torr = 1,33 mbar	= 133,3 Pa
1 mbar	= 100 Pa	= 0,75 mmHg
1 kPa	= 7,5 mmHg	
1 cmH <sub>2</sub> O	= 0,74 mmHg	

## 7.7. Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse

### 7.7.1. Modellversuch

**Tabelle 5 Beatmungsbeutel für Kinder (700 ml)**

Anzahl	Parameter	Minimum	Maximum	Mittelwert
n = 26	Berufsjahre	1	4	2,2
n = 26	Platz.zeit in sec	4	107	24,8
n = 26	Platz.versuche	1	4	2,2
n = 26	Vt ex in ml	40	410	250
n = 26	Vt oes in ml	20	460	147
n = 26	Paw in cmH <sub>2</sub> O	8	21	12,4
n = 26	Poes in cmH <sub>2</sub> O	6	20	11,5

**Tabelle 6 Neu entwickelter Beatmungsbeutel (1100 ml)**

Anzahl	Parameter	Minimum	Maximum	Mittelwert
n = 26	Berufsjahre	1	4	1,7
n = 26	Platz.zeit in sec	5	38	15
n = 26	Platz.versuche	1	4	2,4
n = 26	Vt ex in ml	50	670	347
n = 26	Vt oes in ml	10	500	206
n = 26	Paw in cmH <sub>2</sub> O	8	21	13,5
n = 26	Poes in cmH <sub>2</sub> O	9	18	12

**Tabelle 7 Beatmungsbeutel für Erwachsene (1500 ml)**

Anzahl	Parameter	Minimum	Maximum	Mittelwert
n = 26	Berufsjahre	1	4	2,3
n = 26	Platz.zeit in sec	7	38	16,2
n = 26	Platz.versuche	1	4	2,7
n = 26	Vt ex in ml	50	750	281
n = 26	Vt oes in ml	100	530	267
n = 26	Paw in cmH <sub>2</sub> O	6	23	14
n = 26	Poes in cmH <sub>2</sub> O	8	20	12

### 7.7.2. Erste klinische Studie (700 ml vs. 1500 ml Beutel)

**Tabelle 8 Werte des 700 ml Beutels**

	Anzahl	vor Narkose	nach 1 min.	nach 2 min.	nach 3 min.	nach 4 min.	nach 5 min.
<b>MAD (mmHg)</b>	n = 17	94 ± 11	74 ± 13	69 ± 11	68 ± 12	70 ± 13	72 ± 13
<b>HF (min<sup>-1</sup>)</b>	n = 17	80 ± 14	81 ± 19	78 ± 19	77 ± 19	76 ± 20	76 ± 20
<b>Vtex (ml)</b>	n = 17		424 ± 89	455 ± 100	459 ± 138	471 ± 82	473 ± 96
<b>Paw (mbar)</b>	n = 17		13 ± 5	12 ± 4	11 ± 4	12 ± 4	12 ± 4
<b>etCO<sub>2</sub> (mmHg)</b>	n = 17		30 ± 5	30 ± 5	30 ± 5	31 ± 6	30 ± 5
<b>SpO<sub>2</sub> (%)</b>	n = 17	98 ± 1	96 ± 3	95 ± 3	95 ± 3	95 ± 3	95 ± 4

Mittelwert ± Standardabweichung

**Tabelle 9 Werte des 1500 ml Beutels**

	Anzahl	vor Narkose	nach 1 min.	nach 2 min.	nach 3 min.	nach 4 min.	nach 5 min.
<b>MAD (mmHg)</b>	n = 20	98 ± 12	76 ± 14	68 ± 10	67 ± 11	68 ± 12	69 ± 12
<b>HF (min<sup>-1</sup>)</b>	n = 20	79 ± 16	73 ± 11	71 ± 11	69 ± 12	68 ± 11	66 ± 11
<b>Vtex (ml)</b>	n = 20		717 ± 84	717 ± 110	720 ± 100	727 ± 74	745 ± 85
<b>Paw (mbar)</b>	n = 20		12 ± 4	13 ± 5	19 ± 3	11 ± 3	11 ± 2
<b>etCO<sub>2</sub> (mmHg)</b>	n = 20		31 ± 3	30 ± 2	29 ± 3	29 ± 3	28 ± 3
<b>SpO<sub>2</sub> (%)</b>	n = 20	99 ± 1	98 ± 3	98 ± 3	98 ± 2	98 ± 2	98 ± 2

Mittelwert ± Standardabweichung

**Tabelle 10 Patientenmerkmale der ersten klinischen Studie**

	1500 ml (n = 20)	700 ml (n = 20)	Signifikanz (p)
<b>Alter (Jahre)</b>	37 ± 3	36 ± 2	NS
<b>Gewicht (kg)</b>	70 ± 3	75 ± 3	NS
<b>Körperlänge (cm)</b>	171 ± 3	174 ± 3	NS

Mittelwert ± Standardabweichung; NS = Nicht signifikant

### 7.7.3. Zweite klinische Studie (1100 ml vs. 1500 ml Beutel)

**Tabelle 11 Werte des 1100 ml Beutels**

	Anzahl	vor Narkose	nach 1 min.	nach 2 min.	nach 3 min.	nach 4 min.	nach 5 min.
<b>MAD (mmHg)</b>	n = 25	105 ± 16	88 ± 18	78 ± 12	75 ± 12	73 ± 12	73 ± 10
<b>HF (min<sup>-1</sup>)</b>	n = 25	77 ± 11	74 ± 12	71 ± 11	70 ± 11	71 ± 12	70 ± 12
<b>Vtex (ml)</b>	n = 25		576 ± 92	624 ± 118	645 ± 117	636 ± 103	646 ± 112
<b>Paw (mbar)</b>	n = 25		14 ± 4	13 ± 3	13 ± 3	12 ± 3	12 ± 3
<b>etCO<sub>2</sub> (mmHg)</b>	n = 25		29 ± 6	31 ± 4	30 ± 4	30 ± 4	30 ± 3
<b>SpO<sub>2</sub> (%)</b>	n = 25	98 ± 2	96 ± 3	96 ± 3	96 ± 3	96 ± 3	96 ± 3

Mittelwert ± Standardabweichung

**Tabelle 12 Werte des 1500 ml Beutels**

	Anzahl	vor Narkose	nach 1 min.	nach 2 min.	nach 3 min.	nach 4 min.	nach 5 min.
<b>MAD (mmHg)</b>	n = 25	97 ± 11	75 ± 13	68 ± 10	66 ± 11	67 ± 12	68 ± 11
<b>HF (min<sup>-1</sup>)</b>	n = 25	78 ± 16	72 ± 11	70 ± 11	70 ± 11	68 ± 11	66 ± 10
<b>Vtex (ml)</b>	n = 25		720 ± 86	731 ± 110	738 ± 99	744 ± 81	762 ± 90
<b>Paw (mbar)</b>	n = 25		12 ± 3	13 ± 5	12 ± 3	11 ± 2	11 ± 22
<b>etCO2 (mmHg)</b>	n = 25		32 ± 3	31 ± 3	29 ± 3	29 ± 3	30 ± 3
<b>SpO2 (%)</b>	n = 25	99 ± 1	98 ± 3	98 ± 2	98 ± 2	98 ± 2	98 ± 2

Mittelwert ± Standardabweichung

**Tabelle 13 Patientenmerkmale der zweiten klinischen Studie**

	1500 ml (n = 25)	1100 ml (n = 25)	Signifikanz (p)
<b>Alter (Jahre)</b>	38 ± 3	41 ± 2	NS
<b>Gewicht (kg)</b>	71 ± 3	77 ± 3	NS
<b>Körperlänge (cm)</b>	170 ± 3	173 ± 3	NS

Mittelwert ± Standardfehler; NS = Nicht signifikant

## **8. Danksagung**

Mein persönlicher dank gilt allen voran Herrn Prof. Dr. med. V. Dörges für die Überlassung des Themas und die freundliche und hilfreiche Unterstützung.

Herrn Prof. Dr. med. P. Schmucker, Leiter der Klinik für Anästhesiologie, Universität Schleswig - Holstein, Campus Lübeck, für die Bereitstellung des Arbeitsplatzes und die Überlassung der Arbeitsmittel.

Herrn Priv. Doz. Dr. rer. nat. H.- J. Friedrich für die Unterstützung bei der statistischen Bearbeitung.

Ganz besonderer Dank gilt Frau S. Schwalbach, Dipl. Ing. A. Coppeneur und Dr. med. T. Schumann für Ihre Unterstützung und Zuspruch.

Ich danke besonders meiner Mutter, Christine Neubert, für Ihre Unterstützung.

Nicht zuletzt gilt mein Dank meiner Freundin Birgit für Ihren Beistand und ihre Geduld.

## 9. Curriculum vitae

Name: Eicke Michael Neubert

Geburtsdatum: 17.04.1967

Geburtsort: Bonn

Familienstand: ledig

Schulbildung: 1973 - 1977 Montessorigrundschule Bonn  
1977-1983 Städtische Realschule  
Bonn-Beuel, Mittlere Reife  
1983-1987 Ernst-Kalkuhl-Gymnasium Bonn,  
Abitur

Ausbildung: 1987 - 1990 Berufsausbildung zum  
Gas- und Wasserinstallateur,  
Gesellenbrief  
1990 - 1991 Zivildienst, Ausbildung  
zum Rettungssanitäter  
1992 - 1994 Hauptamtliche Tätigkeit im  
Rettungsdienst der Stadt Bonn  
1994 Ergänzungsprüfung im Fach Latein  
Seit 1994 Studium der Medizin an der  
Medizinischen Universität zu Lübeck

Ärztliche Prüfungen: Erster Abschnitt 1999

Zweiter Abschnitt 2000

Dritter Abschnitt 2002

Praktisches Jahr:

Klinik für Anästhesiologie  
der Medizinischen Universität zu Lübeck

Chirurgische Klinik I des  
Clemens-Hospitals, Münster

Medizinische Klinik I des  
Clemens-Hospitals, Münster

Arzt im Praktikum:

01.01.2003 bis 30.06.2004  
Abteilung für Anästhesie,  
Intensiv- und Rettungsmedizin des  
ev. Jung-Stilling-Krankenhauses, Siegen

Assistenzarzt:

Seit 01.07.2004 Abteilung für Anästhesie,  
Intensiv- und Rettungsmedizin des  
ev. Jung-Stilling-Krankenhauses, Siegen

## **10. Veröffentlichungsliste**

### **10.1. Originalarbeiten**

Döriges V, Ocker H, Neubert E, Schumann T, Wenzel V:  
Notfall- Atemwegs- Management-  
Eine vergleichende Untersuchung verschiedener Strategien  
bei ungesichertem Luftweg.  
Wien Klin Wochenschr 2001; 113: 186-193

Döriges V, Wenzel V, Schumann T, Neubert E, Ocker H, Gerlach K:  
Intubating laryngeal mask airway, laryngeal tube, 1100 ml  
Self-inflatig-bag - alternatives for Basic Life Support?  
Resuscitation 2001; 51: 185-191

Döriges V, Wenzel V, Neubert E, Schmucker P:  
Emergency airway management by intensive care unit nurses  
with the intubating laryngeal mask airway and the laryngeal tube.  
Crit Care 2001; 4: 369-376

Döriges V, Wenzel V, Neubert E, Ocker H, Schmucker P:  
Alternative Airway Devices- Beneficial during Basic Life Support (BLS)?  
Resuscitation 2000; 34:109-112

### **10.2. Poster**

Döriges V, Ocker H, Neubert E, Schumann T, Wenzel V:  
Notfall-Atemwegs-Management-  
Eine vergleichende Untersuchung verschiedener Strategien  
bei ungesichertem Luftweg.  
Deutscher Anästhesie Kongress DAK Wiesbaden 1999

Döriges V, Ocker H, Neubert E, Schumann T, Wenzel V:  
Notfall-Atemwegs-Management-  
Eine vergleichende Untersuchung verschiedener Strategien  
bei ungesichertem Luftweg.  
7<sup>th</sup> ESA Annual Meeting, Amsterdam 1999

Döriges V, Ocker H, Sauer C, Neubert E, Schmucker P:  
Smaller tidal volumes, laryngeal mask, combitube:  
Beneficial during basic life support?  
ACEP Research Forum, Las Vegas 1999

Sauer C, Hagelberg S, Neubert E, Döriges V:  
Notfallbeatmung mit Raumluft bei ungesichertem Luftweg-  
Optimierung des Tidalvolumens.  
Notfallsymposium der Arbeitsgemeinschaft der in Norddeutschland  
tätigen Notärzte AGNN (NOSTRA), Lübeck- Travemünde 2001

### **10.3. Veröffentlichte Kurzfassungen / Abstracts**

Döriges V, Ocker H, Sauer C, Neubert E, Schmucker P:  
Smaller Tidal Volumes, Laryngeal Mask, Combitube:  
Beneficial during Basic Life Support?  
Ann Emerg Med 1999; 34 (4), 87

Döriges V, Ocker H, Neubert E, Schmucker P:  
Intubating Laryngeal Mask Airway, Laryngeal Tube, 1100 ml bag –  
New strategies for Basic Life Support (BLS)?  
Crit Care Med 2000; 28: 12 (Suppl), 69

Sauer C, Hagelberg S, Neubert E, Döriges V:  
Notfallbeatmung mit Raumluft bei ungesichertem Luftweg-  
Optimierung des Tidalvolumens?  
Der Notarzt 2001; 17:87