

Aus der Klinik für Anästhesie und Intensivmedizin Marburg
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. med. H. Wulf
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg
in Zusammenarbeit mit dem
Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH, Standort Marburg



**„Einfluss verschiedener endexpiratorischer Drücke auf
den Gasaustausch von pädiatrischen und erwachsenen
Patienten unter Verwendung der ProSeal®-
Kehlkopfmaske für die kontrollierte Beatmung in der
Allgemeinanästhesie“**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung
des Doktorgrades der gesamten Humanmedizin

dem Fachbereich Medizin der
Philipps-Universität Marburg

vorgelegt

von

Christine Röttger aus Engelskirchen

Marburg, 2008

Angenommen vom Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg

am

30. Oktober 2008

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches

Dekan: Prof. Dr. Matthias Rothmund

Referent: PD Dr. Kai Goldmann

Korreferent: Prof. Dr. G. Geldner

**Gewidmet meinen Eltern
in Liebe und Dankbarkeit**

I Inhaltsübersicht:

1. Einleitung	6
1.1 Atemwegssicherung in der Anästhesie.....	6
1.2 Atemwegssicherung mit dem Endotrachealtubus.....	6
1.3 Beatmung mit der Gesichtsmaske	8
1.4 Die Larynxmaske als „Missing Link“ zwischen Endotrachealtubus und Gesichtsmaske	9
1.5 Der Gasaustausch unter Allgemeinanästhesie.....	11
1.6 Die ProSeal®-Larynxmaske.....	12
2. Fragestellung und Zielsetzung.....	14
3. Material und Methodik.....	16
3.1 Patienten	16
3.1.1 Studie 1: Untersuchung zum Einfluss eines PEEP von 5 cm H ₂ O im Vergleich zu keinem PEEP auf den Gasaustausch pädiatrischer Patienten unter Verwendung der ProSeal®-Larynxmaske.....	16
3.1.2 Studie 2: Untersuchung zum Einfluss eines PEEP von 5 cm H ₂ O versus einem PEEP von 8 cm H ₂ O im Vergleich zu keinem PEEP auf den Gasaustausch erwachsener Patienten unter Verwendung der ProSeal®-Larynxmaske.....	17
3.2. Material.....	18
3.2.1 Atemwegsmanagement.....	18
3.3 Studienablauf.....	20
4. Statistik.....	25
5. Ergebnisse	28
5.1 Studie 1 (pädiatrische Patienten).....	28
5.1.1 Demografische Daten	28
5.1.2 Atemwegsdaten	28
5.1.3 Narkosedaten	29
5.1.4 Oxygenierung	30
5.1.5 Intra- und postoperative Komplikationen.....	31
5.2 Studie 2 (erwachsene Patienten).....	32

5.2.1 Demografische Daten und anästhesierelevante Daten (Teil I und II)	32
5.2.2 Atemwegsdaten (Teil I und II)	33
5.2.2 Atemwegsdaten (Teil I und II)	34
5.2.3 Respiratordaten (Teil I)	36
5.2.4 BGA–Daten (Teil I).....	36
5.2.5 Respiratordaten (Teil II).....	38
5.2.6 BGA–Daten (Teil II)	40
5.2.7 Intra- und postoperative Komplikationen (Teil I und II).....	40
6. Diskussion	41
7. Schlussfolgerungen	45
8. Zusammenfassung	46
8.1 Hintergrund.....	46
8.2 Methoden.....	46
8.3 Ergebnisse.....	47
8.4 Schlussfolgerungen.....	48
9. Literaturverzeichnis	49
II. Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole	54
III. Abbildungs-, Tabellen- und Graphenverzeichnis	55
A. Abbildungen	55
B. Grafiken	56
C. Tabellen	56
IV. Anhang	57
1. Verzeichnis der akademischen Lehrer.....	57
2. Danksagung	58

1. Einleitung

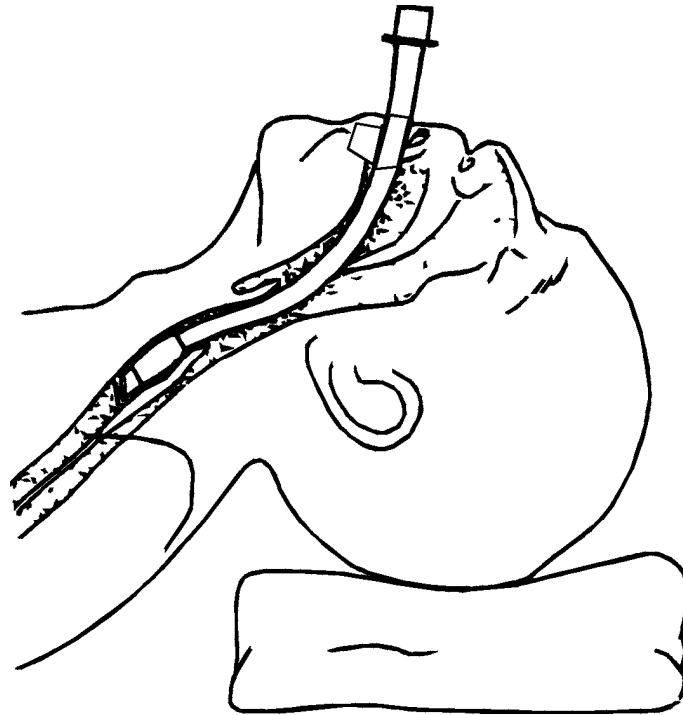
1.1 Atemwegssicherung in der Anästhesie

Als das „Geburtsdatum der modernen Anästhesiologie“ gilt der 16. Oktober 1846. Am so genannten „Bostoner Ethertag“ demonstrierte der amerikanische Zahnarzt William Thomas Green Morton im Massachusetts General Hospital die Ethernarkose. Zum ersten Mal konnte damals in Allgemeinanästhesie ein operativer Eingriff unter Ausschaltung von Bewusstsein und Schmerzempfinden durchgeführt werden. Allerdings hatte die neu gewonnene Schmerzlosigkeit einen Preis, der sich schon bald abzeichnete. Da unter Allgemeinanästhesie der Muskeltonus abnimmt, kommt es durch die Erschlaffung der Halsmuskulatur häufig zu einer Verlegung der oberen Atemwege. Dies hatte zur Folge, dass nach Einführung der Ethernarkose Patienten nicht selten an den Folgen einer Atemwegsobstruktion verstarben, quasi erstickten. Um diese Komplikation zu vermeiden, unternahm der britische Chirurg McEwen 1878 die erste Intubation durch den Mund-Rachen-Raum. Die endotracheale Intubation war aber damals nicht sonderlich verbreitet. Erst nach dem 2. Weltkrieg fand dieses Verfahren seinen standardisierten Einzug in die Medizin.

1.2 Atemwegssicherung mit dem Endotrachealtubus

Die endotracheale Intubation dient der Sicherung der Atemwege, da mithilfe des Endotrachealtubus (ETT) Respirations- und Gastrointestinaltrakt sicher voneinander getrennt werden können. Zunge, Sekrete, Blut und Fremdkörper können die Atemwege nicht mehr verlegen und der Patient wird zuverlässig vor Aspiration geschützt, da der geblockte Cuff des ETT *unterhalb der Glottis* eine Barriere für Flüssigkeiten darstellt.

Abbildung 1: Die korrekte Lage des Endotrachealtubus



Im Notfallmanagement hat sich der ETT unter anderem dadurch verdient gemacht, dass nach endotrachealer Intubation, im Gegensatz zur Maskenbeatmung, die Thoraxkompressionen nicht während der Beatmung pausiert werden müssen. Allerdings ist zu bedenken, dass zur endotrachealen Intubation die Schutzreflexe des Patienten (z. B. Husten und Schlucken) ausgeschaltet werden müssen. Der Patient ist deshalb stark aspirationsgefährdet. Auch körpereigene Schutzmechanismen, wie zum Beispiel Reinigung und Anfeuchtung der Atemluft durch die Nase, werden bei der endotrachealen Intubation umgangen. Durch den ETT, der letztlich ein Fremdkörper ist, können außerdem zahlreiche unerwünschte vegetative Reflexe ausgelöst werden, wie z. B. Laryngospasmus, Bronchospasmus und Bradykardie. Bei der Auflistung der Komplikationen des ETT darf auch nicht vergessen werden, dass durch den Intubationsvorgang Zahnschäden, Schleimhautverletzungen oder Verletzungen an den Stimmlippen verursacht werden können.

1.3 Beatmung mit der Gesichtsmaske

Nicht nur die endotracheale Intubation, sondern auch die Ventilation des Patienten mithilfe einer auf das Gesicht aufgesetzten Beatmungsmaske ist seit über einhundert Jahren fester Bestandteil der Allgemeinanästhesie. Durch die Verwendung einer Gesichtsmaske können in aller Regel Patienten suffizient beatmet werden, es findet aber keine „definitive Sicherung“ der Atemwege statt, so dass der natürliche Atemweg weiterhin obstruieren kann. Darüber hinaus ist für den Anästhesisten von Bedeutung, dass bei der Gesichtsmaskenbeatmung beide Hände gebunden sind (Abbildung 2).

Abbildung 2: Anwendung der Gesichtsmaske

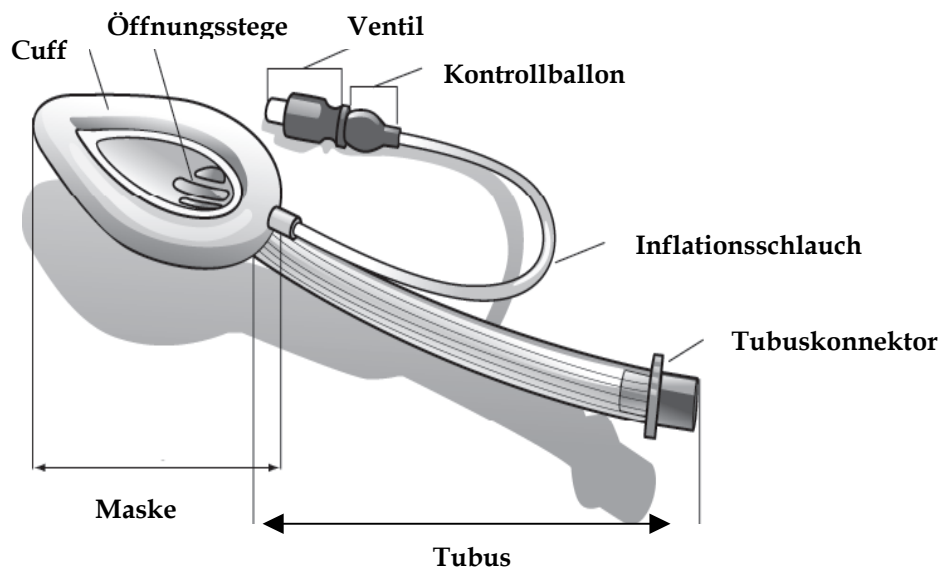


Des Weiteren besteht grundsätzlich die Gefahr einer Aspiration von Mageninhalt, da Gastrointestinaltrakt und Respirationstrakt nicht voneinander getrennt sind und somit im Falle einer Regurgitation von Magensaft dieser ungehindert in den Tracheobronchialbaum eintreten kann. So ist eine Beatmung unter Nutzung der Gesichtsmaske heute auf wenige Indikationen, wie z.B. die unmittelbare Narkoseeinleitung und sehr kurze Narkosen bei nüchternen Patienten, beschränkt.

1.4 Die Larynxmaske als „Missing Link“ zwischen Endotrachealtubus und Gesichtsmaske

1983 beschreibt der Brite Dr. A. I. J. Brain zum ersten Mal die klassische Larynxmaske (CLMA), welche konzeptionell die Lücke zwischen ETT und Gesichtsmaske schließt. Sie stellt ein Instrument dar, mit dem eine Atemwegssicherung *oberhalb der Glottis* erfolgt, indem mithilfe eines aufblasbaren Cuffs eine Abdichtung um den Kehlkopf herum erzeugt wird (4).

Abbildung 3: Die klassische Larynxmaske

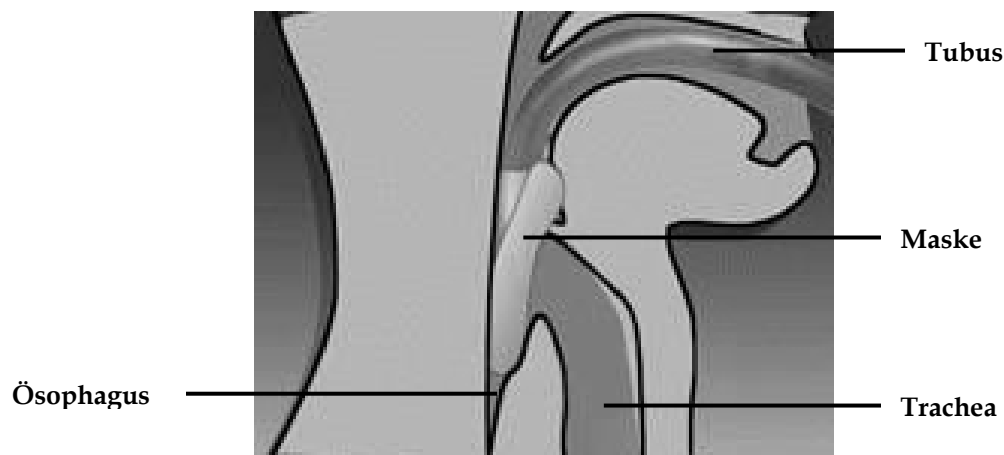


Die CLMA besteht aus drei Hauptkomponenten: Tubus, Cuff und einem Inflationsschlauch. Der Tubus ist ein großlumiger Schlauch mit einem 15-mm-Standardkonnektor zur Verbindung mit dem Beatmungssystem. Der Inflationsschlauch ist mit einem speziell geformten Cuff verbunden, der über ein Ventil am Ende des Schlauchs gefüllt und entlüftet werden kann. Die CLMA ist so geformt, dass sie den Konturen des Hypopharynx entspricht, wobei sich ihr Lumen in den Larynx öffnet. Die Entwicklung der CLMA stellte eine Neuerung im Atemwegsmanagement dar, da sie im Vergleich zum ETT einen supraglottischen Atemweg darstellt, der die Nachteile der endotrachealen Intubation, insbesondere die Auslösung vegetativer Atemwegsreflexe vermeidet (9), aber den-

noch eine Trennung von Gastrointestinaltrakt und Respirationstrakt ermöglicht und eine Verlegung der Atemwege durch den Zungengrund verhindert. Davon profitieren besonders Patienten mit pulmonalen Vorerkrankungen ⁽¹¹⁾.

Die CLMA wird durch den Mund eingeführt und gleitet aufgrund ihrer angepassten Form auf und hinter das knorpelige Kehlkopfskelett (Abbildung 4). Durch das Aufblasen des Cuffs kommt es in aller Regel zu einem funktionellen Abschluss zwischen natürlichem und künstlichem Atemweg; unter technischen Gesichtspunkten wird eine End-zu-End-Verbindung zwischen dem Kehlkopf und der CLMA hergestellt.

Abbildung 4: Die korrekte Lage der Larynxmaske im Hypopharynx



Das Einführen der CLMA erfolgt ohne Verwendung eines Laryngoskops, also ohne optische Kontrolle. Aufgrund dieser blinden Einführtechnik oder anatomischer Variationen vonseiten des Patienten wird nicht immer eine optimale Abdichtung des Cuffs um den Kehlkopf erreicht. Dies ist der Grund, warum grundsätzlich kein sicherer Aspirationsschutz gegeben ist und potenziell eine Aspiration von saurem Mageninhalt bei Regurgitation von Magensaft möglich ist. Ein weiteres Problem geringfügiger Undichtigkeiten zwischen CLMA und Kehlkopf besteht in einer Begrenzung der Atemwegsspitzen drücke, weil bei Überschreiten des Verschlussdruckes der CLMA Leckagen entstehen, über welche die Atemluft entweichen kann. Da hierdurch Beatmungsdrücke jenseits des

Leckagedruckes der CLMA nicht erzeugt werden können, muss im Einzelfall bei niedrigen Verschlussdrücken (P-leak) abgewogen werden, ob eine suffiziente Beatmung trotz geringfügiger Leckage möglich ist, oder ob die Maske replaziert bzw. durch einen ETT ersetzt werden muss. Die Tatsache, dass die Larynxmaske die Nachteile des ETT vermeidet, aber annähernd die gleichen Vorteile besitzt, hat dazu geführt, dass die Popularität der Larynxmaske innerhalb kurzer Zeit rapide zunahm und sie heutzutage nach dem ETT das am häufigsten verwendete Instrument zur Sicherung der Atemwege unter Allgemeinanästhesie ist.

1.5 Der Gasaustausch unter Allgemeinanästhesie

Es ist wissenschaftlich gut belegt, dass unter Allgemeinanästhesie und druckkontrollierter Beatmung ohne positiven endexpiratorischen Druck (PEEP) der pulmonale Gasaustausch aufgrund von kollabierten terminalen Bronchioli („small airways“) und Atelektasenbildung eingeschränkt ist ^{(16),(25)}. Ein Großteil der Erkenntnisse über den pulmonalen Gasaustausch unter Allgemeinanästhesie basiert auf Untersuchungen, die unter Verwendung des ETT durchgeführt worden sind. Faktoren, die zur Atelektasenbildung und dem Kollaps der kleinen Atemwege beitragen, sind hohes Alter, ein erhöhter BMI ⁽¹⁰⁾, regelmäßiger Nikotinkonsum und pulmonale Vorerkrankungen ⁽²¹⁾. Auch die Verwendung eines ETT als „Fremdkörper“ in den Atemwegen kann über vagale Reflexbögen zu Bronchokonstriktion und dadurch zur Verschlechterung des Gasaustausches führen.

In der täglichen Praxis wird eine Einschränkung des Gasaustausches unter Allgemeinanästhesie in der Regel durch die Applikation eines $\text{FiO}_2 \geq 0,3$ kompensiert und der Atelektasenbildung und dem Kollaps der „small airways“ bei Verwendung eines ETT durch die Applikation eines PEEP und Tidalvolumina von 8-10 ml/kgKG entgegengewirkt ⁽³¹⁾. Hat man früher einen PEEP von 5 cm H₂O für ausreichend gehalten, der Atelektasenbildung und dem Kollaps

der „small airways“ unter Allgemeinanästhesie entgegenzuwirken, so weiß man inzwischen, dass bei bestimmten Patienten, z. B. adipösen Patienten oder Patienten mit Atemwegserkrankungen, ein höherer PEEP ⁽¹⁵⁾,⁽²⁹⁾ oder bestimmte „Recruitment“-Manöver notwendig sind, um kollabierte Lungenareale wieder zu eröffnen bzw. offenzuhalten ⁽³³⁾. Unter Verwendung des ETT ist die Applikation eines PEEP jeglicher Höhe sowie bestimmter „Recruitment“-Manöver problemlos möglich.

Bei Verwendung der CLMA können niedrige P-leak dort, wo eine kontrollierte Beatmung eines Patienten mit PEEP notwendig ist, der Grund sein, die CLMA nicht zu verwenden. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die für eine Normoventilation benötigten Spitzendrücke (Peak-Paw) über dem jeweiligen P-leak liegen, weil dann eine ausreichende Ventilation nicht sicher gewährleistet werden kann, da ein zu großer Anteil des vom Beatmungsgerät applizierten Atemzugvolumens über das entstehende Leck in den Oropharynx entweicht. Um grundsätzlich ein Überschreiten des P-leak durch hohe Peak-Paw zu vermeiden, wird beim Einsatz der CLMA empfohlen, die Tidalvolumina auf 6-8 ml/kgKG zu limitieren und keinen PEEP zu applizieren ⁽¹⁷⁾. In Anbetracht der zunehmenden Zahl operativer Eingriffe an alten oder übergewichtigen Patienten, die nachweislich von der Anwendung eines PEEPs profitieren, erscheint die generelle Applikation eines PEEP auch bei der Verwendung der CLMA wünschenswert.

1.6 Die ProSeal[®]-Larynxmaske

Seit 2000 ist eine modifizierte Version der Larynxmaske im Handel erhältlich. Diese ProSeal[®]-Larynxmaske (PLMA) stellt genau wie die CLMA einen supraglottischen Atemweg dar, hat aber einige Veränderungen im Aufbau erfahren ⁽³⁾. (Siehe Abbildungen 5 und 6 auf Seite 18)

Die Maske besteht ähnlich wie die CLMA aus einem Cuff, der sich als Verschluss um die Larynxöffnung legt. Allerdings wurde dieser um einen dorsalen

Anteil erweitert, der zur Verstärkung des Verschlusses dient und an der Pharynxhinterwand anliegt. Somit wird über einen erhöhten Anpressdruck die Dichtigkeit der End-zu-End-Verbindung zwischen Larynxmaske und Kehlkopf erhöht. In verschiedenen randomisierten Studien konnte gezeigt werden, dass diese bessere Abdichtung im Vergleich zur CLMA zu höheren P-leak führt und dadurch in der Regel eine uneingeschränkte kontrollierte Beatmung selbst mit hohen Atemwegsspitzen drücken, die z. T. weit unter den P-leak der verwendeten PLMA liegen (7), (8), (12), (13), (14) möglich ist. Somit könnte die generelle Verwendung eines PEEP beim Einsatz der PLMA möglich sein, ohne befürchten zu müssen, dass der P-leak von den applizierten Atemwegsspitzen drücken überschritten werden würde. Eine weitere Neuerung ist ein Drainagekanal, der eine funktionelle Trennung von Gastrointestinaltrakt und Respirationstrakt ermöglicht (3). Beide Merkmale – erhöhter Leckagedruck und funktionelle Trennung von Gastrointestinal- und Respirationstrakt – tragen dazu bei, dass die PLMA im Vergleich zur CLMA einen verbesserten Aspirationsschutz bietet, was neben der Anwendbarkeit erhöhter P-leak eine wichtige Voraussetzung zur Ausweitung ihrer Anwendung in Bezug auf invasive Beatmungsverfahren und bestimmte Patientenpopulationen darstellt.

Für den Fall, dass gezeigt werden kann, dass die Applikation unterschiedlich hoher positiver endexpiratorischer Drücke zuverlässig möglich ist, könnte der Einsatz der PLMA auch bei Patienten erfolgen, die aufgrund ihres Alters, ihrer Konstitution oder pulmonaler Vorerkrankungen eines PEEP zur druckkontrollierten Beatmung unter Allgemeinanästhesie bedürfen.

2. Fragestellung und Zielsetzung

Mithilfe dieser Studie wurde untersucht, ob die höheren P-leak beim Einsatz der PLMA es zuverlässig ermöglichen, einen PEEP und im Speziellen einen erhöhten PEEP von 8 cm H₂O anzuwenden. Da sämtliche bisherigen Untersuchungen zu den Auswirkungen einer PEEP-Applikation auf den pulmonalen Gasaustausch unter Verwendung des ETT durchgeführt worden sind und aus diesem Grund keine wissenschaftlichen Daten zu den Auswirkungen einer PEEP Applikation unter Einsatz eines supraglottischen Atemweges, wie der Kehlkopfmaske, zur Verfügung stehen, wurde im Rahmen dieser Studie untersucht, welche Auswirkungen der Einsatz bzw. Nicht-Einsatz eines PEEP auf den arteriellen Sauerstoffgehalt (PaO₂) lungengesunder Patienten ohne Risikofaktoren für die Einschränkung des pulmonalen Gasaustausches hat.

Gerade pädiatrische Patienten verfügen im Gegensatz zu erwachsenen Patienten über eine relativ große Verschlusskapazität (closing-capacity), die oberhalb der funktionellen Residualkapazität liegt. Somit fallen die kleinen Atemwege schon am Ende einer normalen Expiration zusammen. Damit einhergehend kommt es gerade bei pädiatrischen Patienten zu einer Beeinträchtigung des pulmonalen Gasaustausches. Da sich pädiatrische Patienten somit grundsätzlich in der Lungenphysiologie von erwachsenen Patienten unterscheiden, wurde die Untersuchung sowohl an erwachsenen als auch an pädiatrischen Patienten durchgeführt.

Bei einer Untersuchung an Kindern konnte mithilfe von CT-Bildgebung gezeigt werden, dass durch den Einsatz eines PEEP von 5 cm H₂O eine Dystelektasenbildung komplett aufgehoben werden kann ⁽²⁸⁾. Hierauf beruhend untersuchte die erste Studie den Einfluss eines PEEP von 5 cm H₂O im Vergleich zu keinem PEEP auf den Gasaustausch pädiatrischer Patienten unter Verwendung der PLMA.

Bei erwachsenen Patienten stellt sich die Situation anders dar. In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass der Einsatz eines PEEP > 5 cm H₂O nicht ausreicht um eine Verbesserung des Gasaustausches zu bewirken oder sogar zu einer Verschlechterung des Gasaustausches führen kann ⁽²⁴⁾, ⁽³²⁾. Daher wurde in der zweiten Studie an erwachsenen Patienten der Einfluss eines PEEP von 5 cm H₂O bzw. eines PEEP von 8 cm H₂O im Vergleich zu keinem PEEP auf den Gasaustausch erwachsener Patienten unter Verwendung der PLMA untersucht um Aufschluss darüber zu geben, ob man unter Einsatz der PLMA eine vergleichbare Beeinflussung des PaO₂ findet.

3. Material und Methodik

3.1 Patienten

3.1.1 Studie 1: Untersuchung zum Einfluss eines PEEP von 5 cm H₂O im Vergleich zu keinem PEEP auf den Gasaustausch pädiatrischer Patienten unter Verwendung der ProSeal®-Larynxmaske

Nach Genehmigung der Studie durch die Ethikkommission der Philipps-Universität Marburg wurden 20 Patienten, welche zu einem elektiven urologischen, orthopädischen oder traumatologischen operativen Eingriff von mindestens 30 Minuten OP-Dauer unter Allgemeinanästhesie anstanden, rekrutiert. Die Eltern der Kinder wurden präoperativ oder im Rahmen der Anästhesieaufklärung in mündlicher und schriftlicher Form über den Ablauf, die Risiken, den potenziellen Nutzen und die Bedeutung der Studie durch die Prüferärzte aufgeklärt. Es wurden nur Kinder mit einem Körpergewicht zwischen 10 und 30 kg und einem physischen Status ASA I-III in die Studie eingeschlossen.

Ausschlusskriterien waren notfallmäßige Eingriffe, zu erwartende schwierige Intubationsbedingungen bzw. schwierige Maskenbeatmung, eine Mundöffnung von weniger als 1,5 cm, Erkrankungen des Rachens oder des Ösophagus, eine Infektion der Atemwege, pulmonale Grunderkrankungen oder ein erhöhtes Aspirationsrisiko. Patienten, bei welchen es unmöglich war, die Larynxmaske in zwei Versuchen zu platzieren oder durch eine singuläre Punktion arterielles Blut zu gewinnen, wurden von der Studie ausgeschlossen.

3.1.2 Studie 2: Untersuchung zum Einfluss eines PEEP von 5 cm H₂O versus einem PEEP von 8 cm H₂O im Vergleich zu keinem PEEP auf den Gasaustausch erwachsener Patienten unter Verwendung der ProSeal®-Larynxmaske

Nach Genehmigung durch die Ethikkommission der Philipps-Universität wurden 74 volljährige Patienten mit einem physischen Status ASA I-III, die zu einem elektiven operativen, urologischen, traumatologischen oder orthopädischen Eingriff von mindestens 30 Minuten OP-Dauer anstanden, rekrutiert. Ausschlusskriterien waren notfallmäßige Eingriffe, zu erwartende schwierige Intubationsbedingungen bzw. schwierige Maskenbeatmung, eine Mundöffnung von weniger als 2 cm, Erkrankungen des Rachens oder des Ösophagus, eine Infektion der Atemwege, pulmonale Grunderkrankungen, ein erhöhtes Aspirationsrisiko, ein Body-Mass-Index > 35, Alter > 65 Jahre oder Nikotinabusus. Die einwilligungsfähigen Patienten wurden präoperativ über den Ablauf, den potenziellen Nutzen, die Risiken und die Bedeutung der Studie von den teilnehmenden Prüfarzten in mündlicher und schriftlicher Form aufgeklärt. Patienten, bei welchen es unmöglich war, die Larynxmaske in zwei Versuchen zu platzieren oder durch eine singuläre Punktion arterielles Blut zu gewinnen, wurden von der Studie ausgeschlossen.

3.2. Material

3.2.1 Atemwegsmanagement

LMA ProSeal®

LMA® Deutschland GmbH, Bonn; Deutschland

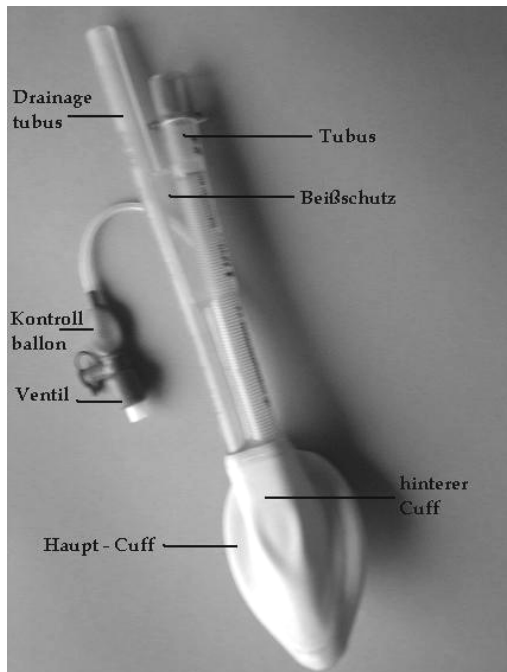


Abbildung 5: PLMA von dorsal

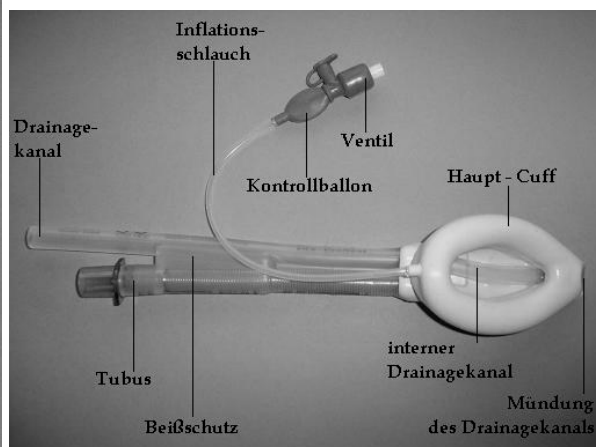


Abbildung 6: PLMA von ventral

Aufbau

Die ProSeal®-Larynxmaske (PLMA) ist eine Weiterentwicklung der LMA Classic®. Sie besteht aus vier Hauptbestandteilen: Cuff, Inflationsschlauch mit Kontrollballon, Tubus und Drainagekanal (Abbildungen 5 und 6). Die Maske ist so geformt, dass sie den Konturen des Hypopharynx entspricht, wobei sich ihr Lumen in den Larynx öffnet. Die Masken der Größen 3, 4 und 5 für adulte Patienten bestehen aus einem Haupt-Cuff, der sich als Verschluss um die Larynxöffnung legt, sowie einem dorsalen Cuff-Anteil, der zur Verstärkung des Verschlusses dient und an der Pharynxhinterwand anliegt. Die pädiatrischen ProSeal®-Larynxmasken beinhalten nur den Haupt-Cuff. Der dorsale Cuff-Anteil fehlt, um die Maske den anatomischen Gegebenheiten pädiatrischer Patienten

besser anzupassen. An der Maske ist ein Inflationsschlauch zum Befüllen des Cuffs angebracht, an dessen Ende ein Kontrollballon und ein Ventil zum Blocken und Entblocken des Cuffs befestigt sind. Ein Drainagekanal verläuft seitlich zum Tubus und quer durch den Cuff der Maske. Seine Öffnung liegt im Bereich der Maskenspitze, die idealerweise im Bereich des oberen Ösophagussphinkters zum Liegen kommt. Der Tubus ist drahtverstärkt, um ein Kollabieren zu verhindern. Tubus und Drainagekanal sind zur Verhinderung von Atemwegsobstruktion und Tubusbeschädigung durch einen integrierten Beißschutz verbunden.

Indikationen:

Die PLMA kann in der Anästhesie bei Routine- und Notfallmaßnahmen zur Sicherung des Atemweges eingesetzt werden. Sie ist zur Sicherung der Atemwege bei schwierigen Atemwegssituationen anwendbar.

Kontraindikationen:

Bei nicht nüchternen und stark adipösen Patienten wird von der Anwendung der PLMA abgeraten, da die Datenlage über mögliche Aspirationen noch unklar ist.

3.3 Studienablauf

Alle Patienten wurden mit 0,4–0,5 mg/kgKG Midazolam prämediziert. 45 Minuten vor Beginn der Narkoseeinleitung wurde bei den pädiatrischen Patienten EMLA®-Creme (Astra Zeneca AG, Zug; Deutschland) auf beide Handrücken aufgetragen. Nach Eintreffen der Patienten in dem Einleitungsraum wurde das Standard-Monitoring, bestehend aus kontinuierlicher 3-Kanal-EKG-Überwachung, automatischer nicht-invasiver Blutdruckmessung im Abstand von 5 Minuten, kontinuierlicher Pulsoxymetrie und kontinuierlicher Kapnometrie, angeschlossen. Im Rahmen der Untersuchung an den Kindern wurde das Monitoring um ein präkordiales Stethoskop und eine kontinuierliche rektale Temperaturmessung erweitert. Ein intravenöser Zugang wurde nach Entfernung der EMLA® Creme gelegt. Die Ausgangswerte aller Vitalparameter wurden dokumentiert. Anschließend wurde eine dreiminütige Präoxygenierung mit 100 % Sauerstoff und einem Frischgasfluss von 10 l/min durchgeführt. Im Anschluss wurde allen pädiatrischen Patienten zur Anästhesieinduktion 0,02 mg/kgKG Alfentanil, gefolgt von 3–5 mg/kgKG Propofol intravenös appliziert. Die Anästhesie-Induktion der Erwachsenen erfolgte durch die intravenöse Gabe von 0,01–0,05 mg/kgKG Fentanyl und 1,7–4,3 mg/kgKG Propofol. Im weiteren Verlauf wurde die Narkose mittels kontinuierlicher Infusion von 0,1–0,15 mg/kgKG/min Propofol und 0,01–0,03 mg/kgKG/min Remifentanil aufrechterhalten.

Nach Sistieren der Spontanatmung wurden die Patienten mithilfe einer Gesichtsmaske für weitere zwei Minuten mit 100 % Sauerstoff beatmet. Die PLMA wurde, wie von Dr. A. Brain (6) empfohlen, in Standard-Technik platziert. Für Patienten < 20 kg wurde eine PLMA Größe 2, für Patienten > 20 kg eine PLMA Größe 2 ½ gewählt, bei allen erwachsenen männlichen Patienten erfolgte die Atemwegssicherung durch die PLMA der Größe 5, bei allen erwachsenen weiblichen Patienten durch die PLMA der Größe 4. Nach Blocken der PLMA und Anschluss an das Kreissystem des Narkosegerätes (PRIMUS® der Firma Draeger, Lübeck; Deutschland) wurden die Patienten manuell mit 100 % Sauerstoff

ventiliert und die optimale Position der Larynxmaske durch Auskultation des Larynx und des Epigastriums ermittelt. Im Anschluss wurde die PLMA entsprechend der Empfehlung von Dr. A.I.J. Brain (6) fixiert. Der Cuffdruck der PLMA wurde auf einen Druck von 60 cm H₂O mit dem Cuffdruckmesser eingestellt. Der Schwierigkeitsgrad der PLMA-Insertion wurde anhand einer Skala von 0 – 10 (0 = Einführen ohne Widerstand; 10 = Einführen nicht möglich) beurteilt. Auch die Qualität der initialen Atemwegssicherung während der manuellen Beatmung wurde klassifiziert. Ein „exzellenter“ Atemweg lag vor, wenn im Rahmen der Beatmung keine Leckage und auch keine Obstruktion der Atemwege vorlag. Ein „guter“ Atemweg war durch eine minimale Leckage bei hohen Beatmungsdrücken oder eine geringgradige Obstruktion definiert. Für einen „akzeptablen“ Atemweg musste trotz Obstruktion oder Leckage eine suffiziente Beatmung möglich sein. „Nicht akzeptabel“ waren Atemwege mit einer massiven Leckage oder einer deutlichen Obstruktion, welche keine suffiziente Beatmung ermöglichten. Nach Abschluss des Atemwegsmanagements erfolgte eine erneute Dokumentation der Vitalparameter. Zum Erkennen einer Luft-Leckage über den Drainagetubus wurde bei allen Patienten ein Drainage-Tubus-Leckagetest (DTT), wie in der Bedienungsanleitung der PLMA empfohlen (19), durchgeführt. Hierzu wurde eine kleine Menge Endos-Gel® (FarcoPharma GmbH, Köln; Deutschland) 2-3 cm tief in den Drainagetubus appliziert. Eine dezente atemsynchrone Ab- und Aufwärtsbewegung des Gel-Pfropfens bewies die korrekte Lage des Drainagetubus im proximalen Ende des Ösophagus. Zur Verifizierung einer gleich bleibenden Narkosetiefe wurden erneut die Vitalparameter erfasst. Bei einer Abweichung von mehr als 20 % zu den Vorwerten wurde die Infusionsgeschwindigkeit des Narkotikums bzw. Analgetikums entsprechend angepasst.

Die Patienten wurden mithilfe eines flexiblen Kopfringes so gelagert, dass sich der Kopf in Neutralstellung befand. Bei einem kontinuierlichen Frischgasfluss von 3 l/min Sauerstoff wurde, wie in der Literatur beschrieben (20), der Leckagedruck der PLMA ermittelt. Als maximaler Druck wurde ein Peak-Paw von 40 cm H₂O zugelassen. Während der Leckagedruckmessung wurde erneut das Epigastrium auskultiert, um eine Gasinsufflation zu erkennen. Im Anschluss

wurde die Lage der PLMA mithilfe eines fiberoptischen Bronchoskops (Fiberoptik 2,8 mm flexibel; Karl Storz, Tuttlingen; Deutschland) kontrolliert und anhand der von Dr. J. Brimacombe entwickelten Klassifikation (5) dokumentiert:

1 = Stimmlippen sind nicht sichtbar.

2 = Stimmlippen und vordere Epiglottis sind sichtbar.

3 = Stimmlippen und hintere Epiglottis sind sichtbar.

4 = Stimmlippen sind komplett sichtbar, vordere und hintere Epiglottis liegen außerhalb des Sichtfeldes.

Schließlich wurde eine Magensonde (12 French) über den Drainagetubus der PLMA im Magen der Patienten platziert und der Mageninhalt mithilfe einer Blasenspritze aspiriert. Die Sekretmenge wurde dokumentiert. Nach der Leckagedruckmessung und der fiberoptischen Lagekontrolle der PLMA wurden alle Patienten für die weitere Narkosedauer druckkontrolliert (PCV) beatmet und die Vitalparameter erneut dokumentiert. Je nach Randomisierung wurde entweder ein endexpiratorischer Druck von 0 cm H₂O, 5 cm H₂O oder bei erwachsenen Patienten auch 8 cm H₂O appliziert. Die Randomisierung erfolgte vor Beginn der Studie durch einen nicht an der Studie beteiligten Mitarbeiter der Klinik für Anästhesie und Intensivmedizin der Philipps-Universität Marburg unter Zuhilfenahme des StatView® Computer Programms (SAS Institute, Cary, NC; USA). In verschlossenen Umschlägen wurde dann die jeweils folgende Information zur Zuordnung der Patienten genannt:

Studie 1 (pädiatrische Patienten):

Gruppe I = PLMA mit ZEEP (Zero End Expiratory Pressure ; 0 cm H₂O)

Gruppe II = PLMA mit PEEP 5 (Positive End Expiratory Pressure; 5 cm H₂O)

Studie 2 (erwachsene Patienten) Teil 1:

Gruppe I = PLMA mit ZEEP (Zero End Expiratory Pressure ; 0 cm H₂O)

Gruppe II = PLMA mit PEEP 5 (Positive End Expiratory Pressure; 5 cm H₂O)

Studie 2 (erwachsene Patienten) Teil 2:

Gruppe III = PLMA mit PEEP 5 (Positive End Expiratory Pressure; 5 cm H₂O)

Gruppe IV = PLMA mit PEEP 8 (Positive End Expiratory Pressure; 8 cm H₂O)

Die Umschläge waren fortlaufend nummeriert und wurden den Patienten in der Reihenfolge der Rekrutierung zugeordnet. Das Öffnen der Umschläge und die Einschleusung der Patienten in die jeweilige Gruppe erfolgten vor Beginn der Narkoseeinleitung.

Abgesehen von den unterschiedlichen endexpiratorischen Drücken waren für alle Studiengruppen die Respiratoreinstellungen identisch. Alle Patienten wurden mit einem Tidalvolumen von 8-10 ml/kgKG während der Narkosezeit beatmet. Das Verhältnis von Inspiration zu Expiration war mit 1:1 festgesetzt. Die Atemfrequenz wurde so gewählt, dass alle Patienten einen endexpiratorischen PCO₂ von 36-38 mmHg aufwiesen. Bei einem Flow von 50 l/min wurde ein Frischgasfluss von 2 l/min verwendet. 20 Minuten nach Beginn der Präoxygenierung wurde der FiO₂ von 1,0 auf 0,3 herunterreguliert und die Patienten wurden in den Operationssaal gebracht. In der folgenden OP-Zeit wurden alle 5 Minuten die Vitalzeichen und Respiratoreinstellungen überprüft und dokumentiert.

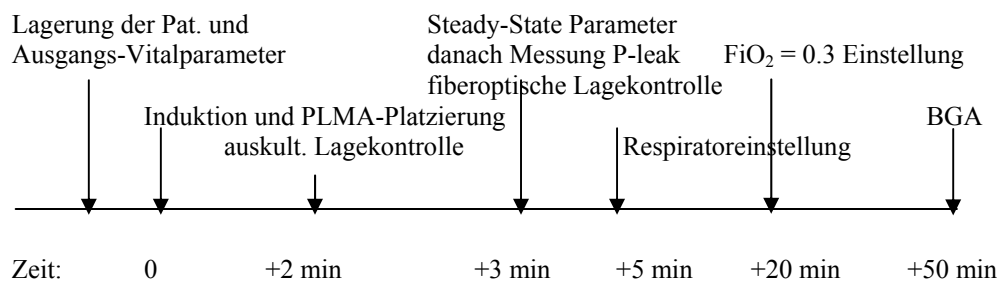
50 Minuten nach Beginn der Narkoseeinleitung wurde bei einem FiO₂ von 0,3 und einem endexpiratorischen PCO₂ von 36-38 mmHg bei jedem der Patienten im Rahmen einer einmaligen Punktion unter sterilen Bedingungen 1 ml Blut aus der Arteria radialis entnommen. Diese Blutprobe wurde sofort an einem Blutgasgerät („Radiometer ABL-System 625“ Radiometer, Kopenhagen; Dänemark) des Zentral-OPs analysiert und die ermittelten Parameter wie PaO₂, PaCO₂, pH, Hb, HCO₃ und Hkt wurden im Studienprotokoll dokumentiert. Die aktuellen Vitalparameter und Respiratoreinstellungen zur Zeit der BGA wurden ebenfalls erfasst. Mit Abnahme des Blutes endeten die studienbezogenen

Handlungen. Die Anästhesie erfolgte von nun an nicht standardisiert. Am Ende des operativen Eingriffs wurde die Zufuhr von Propofol und Remifentanyl gestoppt. Die PLMA wurde entfernt, wenn die Patienten selbstständig und regelmäßig atmeten und die Schutzreflexe wieder funktionierten.

Jedes intraoperative Problem (Obstruktion, Stridor, Trauma, Broncho- oder Laryngospasmus, Regurgitation, Aspiration, Hypoxämie oder Hyperkapnie), welches mit der Narkoseführung und Beatmung zusammenhing, wurde im Studienprotokoll dokumentiert.

6-8 Stunden postoperativ wurden alle Patienten visitiert und das Befinden beurteilt. Es wurde nach postoperativer Übelkeit und Erbrechen, Verletzungen von Pharynx sowie Larynx, Halsschmerzen und Beeinträchtigung der Sensibilität der Zunge gefragt.

Grafik 1: Schematische Darstellung des Studienablaufes



4. Statistik

Primärer Outcome-Parameter war die arterielle Oxygenierung, gemessen am PaO₂. Andere Variablen, wie z. B. die Anzahl an Patienten, bei denen die Verwendung eines PEEP = 5 cm H₂O oder eines PEEP = 8 cm H₂O zu einer Beeinträchtigung der Normoventilation im Sinne eines Überschreitens des P-leak führte, der P-leak, der Peak-Paw, das Tidalvolumen, die Atemfrequenz, der intraoperative Verlauf der Herzfrequenz und der intraoperative SpO₂-Verlauf wurden deskriptiv analysiert.

Bisher sind keine Studien zu den PaO₂-Werten lungengesunder pädiatrischer Patienten unter Verwendung von Larynxmasken bei druckkontrollierter Beatmung und einem FiO₂ von 0,3 beschrieben. Es ist allerdings bekannt, dass der mittlere PaO₂ lungengesunder pädiatrischer und auch erwachsener Patienten unter Raumluft (FiO₂ = 0,21) etwa bei 95 ± 5 mmHg liegt⁽³⁰⁾. Unter Allgemeinanästhesie sind aufgrund der Beimischung von Shuntblut aus nicht ventilierten Arealen um 5 mmHg niedrigere Werte, also im unteren Normbereich liegende Werte (90 ± 5 mmHg), zu erwarten.

Der Berechnung der Probandenzahlen lag eine Untersuchung von Serafini et al.⁽¹¹⁾ zugrunde, welche zeigen konnte, dass unter Verwendung eines ETT für PCV die gesamten basalen Anteile des Lungengewebes, also etwa 20 % des gesamten Lungengewebes, ohne Anwendung eines PEEP kollabiert sind. Unter der Annahme, dass der O₂-Gasaustausch in etwa gleichem Maße beeinträchtigt wird, würde der PaO₂ eines gesunden Patienten unter Raumluft bei ca. 76 mmHg (95 mmHg-19 mmHg) liegen.

Eine klinische Relevanz wurde angenommen, wenn dieser PaO₂ Abfall zu einem großen Teil verhindert werden konnte. Daher wurde ein messbarer Unterschied des PaO₂ von 10 % als klinisch relevant angesehen. Wenn ein solcher Unterschied mit einer 90%igen Wahrscheinlichkeit erkannt werden sollte, mussten im Rahmen der ersten Studie (pädiatrische Patienten) bei einem Alphafehler von 5 % insgesamt 12 Patienten, also 6 Patienten pro Gruppe, untersucht werden. Da nicht sicher auszuschließen war, dass die Standardabweichungen des PaO₂ unter PEEP und keinem PEEP nicht exakt 5 mmHg betragen,

sondern breiter gestreut sind, wurde die Fallzahl vorsichtshalber erhöht. Aus diesem Grund wurden pro Gruppe mindestens 9 Patienten untersucht. Unter Berücksichtigung der zuvor genannten Voraussetzungen und einem anzunehmenden „Drop-out“ von ca. 10 % der Patienten, erschien eine Probandenzahl von 10 Patienten pro Gruppe, also insgesamt 20 Patienten, sinnvoll. Daraus ergab sich folgende Gruppenzuteilung:

Studie 1:

Gruppe 1: ZEEP = 0 cm H₂O: 10 Patienten

Gruppe 2: PEPP = 5 cm H₂O: 10 Patienten

Eine klinische Relevanz für den 1. Teil der 2. Studie (erwachsene Patienten) wurde angenommen, wenn der zuvor genannte PaO₂-Abfall zu einem Großteil durch die Applikation eines PEEP = 5 cm H₂O verhindert werden konnte. Daher wurde ein messbarer Unterschied des PaO₂ von 10 % für die Anwendung dieses Standard-PEEP als klinisch relevant bewertet.

Als klinisch relevant für den 2. Teil der 2. Studie (erwachsene Patienten) wurde angenommen, wenn durch die Applikation eines PEEP = 8 cm H₂O der PaO₂-Abfall nahezu ganz verhindert werden konnte. Daher wurde ein zusätzlicher messbarer Unterschied des PaO₂ von weiteren 5 % für die Anwendung des PEEP = 8 cm H₂O als klinisch relevant angesehen.

Um solche Unterschiede mit einer 90%igen Wahrscheinlichkeit zu erkennen, müssten bei einem Alphafehler von 2,5 % mindestens 12 Patienten, also pro Gruppe 6 Patienten, für den 1. Teil der Untersuchung und mindestens 39 Patienten, also pro Gruppe 20 Patienten, für den 2. Teil der Untersuchung untersucht werden.

Da nicht sicher auszuschließen ist, dass die Standardabweichungen des PaO₂ unter PEEP und ZEEP nicht exakt 5 mmHg sind, sollten für den 1. Teil der Untersuchung pro Gruppe 9 Patienten und für den 2. Teil der Untersuchung 28 Patienten untersucht werden.

Somit erschien unter den oben genannten Voraussetzungen und einem anzunehmenden „Dropout“ von ca. 10 % der Patienten eine Gesamt-Probandenzahl von mindestens 18 Patienten für den 1. Teil der Untersuchung und 56 Patienten für den 2. Teil der Untersuchung notwendig.

Daraus ergab sich, dass die Patienten zu folgenden Gruppen zugeordnet wurden:

Studie 2, Teil 1:

Gruppe Ia: ZEEP = 0 cm H₂O: 9 Patienten

Gruppe Ib: PEPP = 5 cm H₂O: 9 Patienten

Studie 2, Teil 2:

Gruppe IIa: PEEP = 5 cm H₂O: 28 Patienten

Gruppe IIb: PEEP = 8 cm H₂O: 28 Patienten

Die statistische Auswertung erfolgte unter der Annahme der zu erwartenden Normalverteilung der Daten. Die Verifizierung, dass die Daten einer Normalverteilung entsprachen, verdeutlichte der Kolmogorov-Smirnov-Test. Zur statistischen Berechnung des Signifikanzniveaus der Unterschiede der PaO₂-Werte in den verschiedenen Studiengruppen fand der t-Test für ungepaarte Werte Anwendung. Andere, als Begleitgrößen erfasste Variablen wurden ausschließlich deskriptiv unter Angabe der 95 %-Konfidenzintervalle analysiert. Die Daten wurden entweder als Mittelwert ± Standardabweichung oder als Median [Spannweite] angegeben. Für die grafische Darstellung der PaO₂-Werte wurden Box-Plott-Diagramme gewählt.

5. Ergebnisse

5.1 Studie 1 (pädiatrische Patienten)

5.1.1 Demografische Daten

Es wurden sechzehn männliche und vier weibliche Patienten in die Studie aufgenommen. Ein Patient der Gruppe 1 (PLMA ohne PEEP) musste von der Auswertung der Ergebnisse ausgeschlossen werden, da nach Narkoseeinleitung versehentlich ein PEEP von 5 cm H₂O appliziert wurde. Das durchschnittliche Alter aller Patienten betrug 58 ± 21 Monate. Die Patienten waren im Durchschnitt 111 ± 11 cm groß und 18 ± 3 kg schwer. Beide Patientengruppen waren in Bezug auf die demografischen Daten vergleichbar (Tabelle 1).

5.1.2 Atemwegsdaten

Die PLMA der Größe 2 wurde in zwölf Fällen angewandt und problemlos platziert. Eine Insertion der PLMA der Größe 2½ war in sieben Fällen im ersten Versuch möglich. In sieben Fällen wurde die initiale Qualität der Atemwegssicherung als exzellent bewertet, in zwölf Fällen wurde sie als gut klassifiziert. Der Leckagedruck der PLMA betrug 23 ± 5 cm H₂O. Zwischen den beiden Gruppen bestanden keine signifikanten Unterschiede (21 ± 5 cm H₂O vs. 24 ± 5 cmH₂O). Luftinsufflation in den Magen war in keinem Fall feststellbar. Die fiberoptische Untersuchung zeigte die korrekte Positionierung der PLMA in allen Fällen. Bei einem positiven Drainagetubustest in 14 Fällen und einem negativen Drainagetubustest in 5 Fällen war es in allen Fällen möglich, die Magensonde über den Drainagekanal einzuführen. Es konnten 0-24 ml Sekret über die Magensonde aspiriert werden (Tabelle 1).

Tabelle 1: Demografische Daten und Atemwegsdaten; Studie 1

	Gruppe 1 (EEP = 0 cm H₂O)	Gruppe 2 (EEP = 5 cm H₂O)
Alter [Monate]	52 ± 14	66 ± 25
Größe [cm]	106 ± 10	115 ± 10
Gewicht [kg]	17 ± 3	19 ± 3
männlich : weiblich [n]	6 : 3	9 : 1
PLMA Größe 2 : Größe 2½ [n]	7 : 2	5 : 5
Leckagedruck [cmH ₂ O]	21 ± 5	24 ± 5

5.1.3 Narkosedaten

Alle Patienten konnten normokapnisch ventiliert werden, ohne dass die Atemwegsspitzen drücke die Leckagedrücke überschritten. Der PEEP von 5 cm H₂O konnte bei allen Patienten der Gruppe 2 problemlos appliziert werden.

Das durchschnittliche Tidalvolumen betrug $8,8 \pm 0,6$ ml/kgKG bei einer Atemfrequenz von 27 ± 6 Atemzügen pro Minute. Die Patienten erhielten ein durchschnittliches Atemminutenvolumen von $4,2 \pm 1,0$ Litern pro Minute.

Tabelle 2: Respiratordaten; Studie 1

	Gruppe 1 (EEP = 0 cm H₂O)	Gruppe 2 (EEP = 5 cm H₂O)
Tidalvolumen [ml/kgKG]	8,8 ± 0,6	8,9 ± 0,7
Atemfrequenz [Atemzüge/min]	28 ± 7	25 ± 4
Atemminutenvolumen [l/min]	4,3 ± 1,4	4,2 ± 0,4
FiO ₂ bei BGA [%]	30 ± 0,6	30 ± 0,7
PCO ₂ et bei BGA [mmHg]	37 ± 2	36 ± 2

5.1.4 Oxygenierung

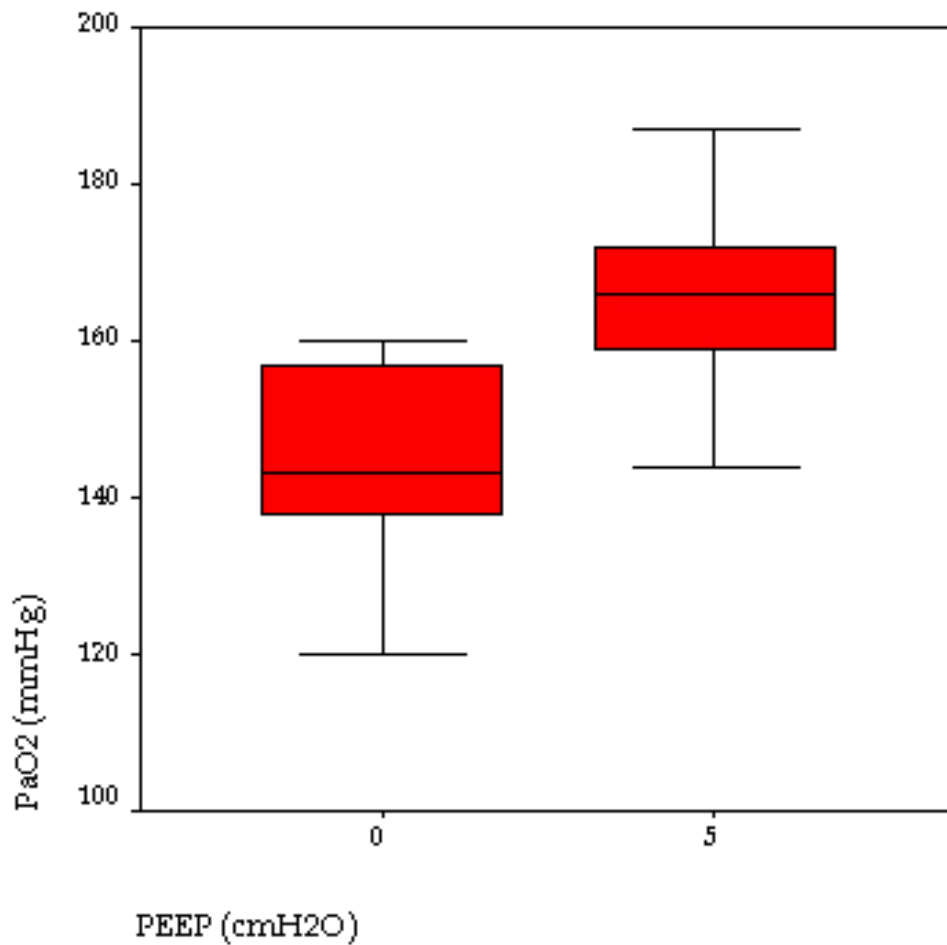
Zum Zeitpunkt der Blutgasentnahme lag der FiO_2 bei allen Patienten bei $30 \pm 0,6$ und der am Respiратор gemessene PCO_2 betrug 37 ± 2 mmHg (Tabelle 2). Die Oxygenierung aller Patienten war zu jeder Zeit normal bis supranormal. Entsprechend lagen die Werte der Sauerstoffsättigung zwischen 96 und 100 %.

Hinsichtlich des PaO_2 und PaCO_2 zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen Gruppe 1 und 2 (Tabelle 3; Grafik 2).

Tabelle 3: BGA-Daten; Studie 1

	Gruppe 1 (EEP = 0 cm H₂O)	Gruppe 2 (EEP = 5 cm H₂O)	Signifikanz
PaO₂ [mmHg]	143 ± 13 [120-160]	166 ± 12 [144-187]	P = 0,001
PaCO₂ [mmHg]	40 ± 2 [38-45]	37 ± 3 [33-41]	P = 0,016
Arterieller pH	7,39 ± 0,03 [7,33-7,43]	7,37 ± 0,03 [7,33-7,40]	
Oxygenierungsindex nach Horovitz	477 mmHg	550 mmHg	

Grafik 2: Darstellung der PaO₂-Werte; Studie 1, Gruppen 1 und 2



5.1.5 Intra- und postoperative Komplikationen

Bei einem Patienten trat intraoperativ eine Atemwegsobstruktion auf, die durch sofortige Vertiefung der Anästhesie effektiv behandelt werden konnte. Bei der postoperativen Visite klagten drei Patienten über diskrete Halsschmerzen.

5.2 Studie 2 (erwachsene Patienten)

5.2.1 Demografische Daten und anästhesierelevante Daten (Teil I und II)

Insgesamt wurden 43 männliche und 31 weibliche Patienten im Alter von 38 [18-65] Jahren mit einem Körpergewicht von 76 [49-98] kg in die Studie eingeschlossen. Drei Patienten wurden wegen einer klinisch relevanten Atemwegsobstruktion in der Messperiode (1x) bzw. einer Verletzung des Studienprotokolls (2x, BMI ≥ 31 kg/m²) ausgeschlossen. Die einzelnen Gruppen unterschieden sich nicht hinsichtlich ihrer demografischen und anästhesierelevanten Daten (Tabelle 4).

Die durchschnittliche Narkosedauer betrug 105 ± 36 Minuten. Zur Erfassung der Narkosetiefe wurden die Vitalparameter regelmäßig kontrolliert. Ein Vergleich der Abnahme der Herzfrequenzen beider Gruppen intraoperativ ließ indirekt auf eine ausreichende Narkosetiefe schließen. Die durchschnittliche Herzfrequenzreduktion betrug 18 ± 13 Schläge.

Tabelle 4: Demografische Daten und anästhesierelevante Daten; Studie 2

	Gruppe Ia (EEP = 0 cm H ₂ O) (n=9)	Gruppe Ib (EEP = 5cm H ₂ O) (n=9)	Gruppe IIa (EEP = 5cm H ₂ O) (n=27)	Gruppe IIb (EEP = 8cm H ₂ O) (n=26)
Alter [Jahre]	34 [18-47]	36 [22-65]	36 [20-65]	38 [18-65]
Körpergröße [m]	1,80 [1,69-1,91]	1,71 [1,57-1,90]	1,78 [1,58-1,90]	1,72 [1,53-1,90]
Körpergewicht [kg]	77 [52-90]	74 [49-95]	77 [53-98]	72 [53-90]
Body-Mass-Index [kg m⁻²]	23 ± 3	24 ± 3	25 ± 3	25 ± 3
SpO₂ bei FiO₂=0,21 (präop) [%]	100 [99-100]	99 [95-100]	98 [96-100]	99 [95-100]
Anästhesiedauer [min]	95 ± 36	120 ± 34	106 ± 42	102 ± 31

5.2.2 Atemwegsdaten (Teil I und II)

Die PLMA ließ sich mit maximal drei Versuchen und die Magensonde mit maximal zwei Versuchen bei allen Patienten platzieren. Die fiberoptische Lagekontrolle zeigte bei allen Patienten, dass der Cuff der PLMA den Kehlkopf umschloss und die Spitze der Maske im Hypopharynx lag.

In der Qualität des Atemwegs ließen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Studiengruppen feststellen (Tabelle 5). Der Leckagedruck betrug durchschnittlich 26 ± 5 cmH₂O. Luftinsufflation in den Magen war in keinem Fall feststellbar. Bei einem positiven Drainagetubustest in 59 Fällen, einem nicht eindeutigen Ergebnis in sieben Fällen und einem negativen Test in vier Fällen, war es bei allen Patienten möglich, die Magensonde über den Drainagekanal zu platzieren.

Tabelle 5: Atemwegsdaten; Studie 2

	Gruppe Ia (EEP = 0 cm H ₂ O) (n=9)	Gruppe Ib (EEP = 5cm H ₂ O) (n=9)	Gruppe IIa (EEP = 5cm H ₂ O) (n=27)	Gruppe IIb (EEP = 8cm H ₂ O) (n=26)
Atemweg excellent : gut [n]	7 : 2	8 : 1	23 : 0	18 : 3 (1 Angabe fehlt)
Leckagedruck [cm H ₂ O]	24 ± 4	28 ± 6	26 ± 6	25 ± 6
DTT positiv	9	7	22	21

5.2.3 Respiratordaten (Teil I)

Alle Patienten konnten normokapnisch ventilert werden, ohne dass die Peak-Paw die Pleak überschritten (Tabelle 5; Tabelle 6). Der PEEP von 5 cm H₂O konnte bei allen Patienten der Gruppe Ib problemlos appliziert werden.

Das durchschnittliche Tidalvolumen betrug 7 ± 1 ml/kgKG bei einer Atemfrequenz von 8 ± 12 Atemzügen pro Minute. Die Patienten erhielten ein durchschnittliches Atemminutenvolumen von $4,4 \pm 1,1$ Litern pro Minute. (Tabelle 6)

Tabelle 6 : Respiratordaten; Studie 2, Gruppen Ia und Ib

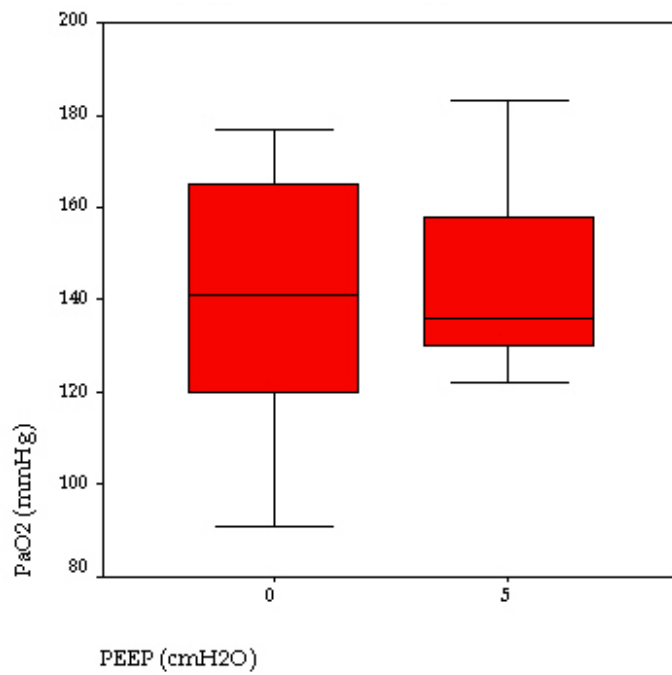
	Gruppe Ia (EEP = 0 cm H ₂ O)	Gruppe Ib (EEP = 5cm H ₂ O)
Tidalvolumen [ml/kgKG]	7 ± 1	7 ± 1
Atemfrequenz [Atemzüge/min]	8 ± 2	8 ± 2
Atemwegsspitzenndruck [cm H ₂ O]	12 ± 1	16 ± 2
Atemminutenvolumen [l/min]	$4,5 \pm 1,2$	$4,3 \pm 1,0$

5.2.4 BGA-Daten (Teil I)

Zum Zeitpunkt der Blutgasentnahme lag der inspiratorische Sauerstoffanteil bei allen Patienten bei $0,3 \pm 0,02$ und der am Respiator gemessene PCO₂ betrug 36 ± 2 mmHg (Tabelle 7). Beide Gruppen waren in Bezug auf die Sauerstoffsättigungen bei jeder Vitalzeichenkontrolle und zum Zeitpunkt der BGA vergleichbar.

Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede im Vergleich der PaO₂-Werte (Tabelle 7; Grafik 3) und der PaCO₂-Werte (Tabelle 7; Grafik 4).

Graphik 3: Darstellung der PaO₂-Werte; Studie 2, Gruppen Ia und Ib



Grafik 4: Darstellung der PaCO₂-Werte; Studie 2, Gruppen Ia und Ib

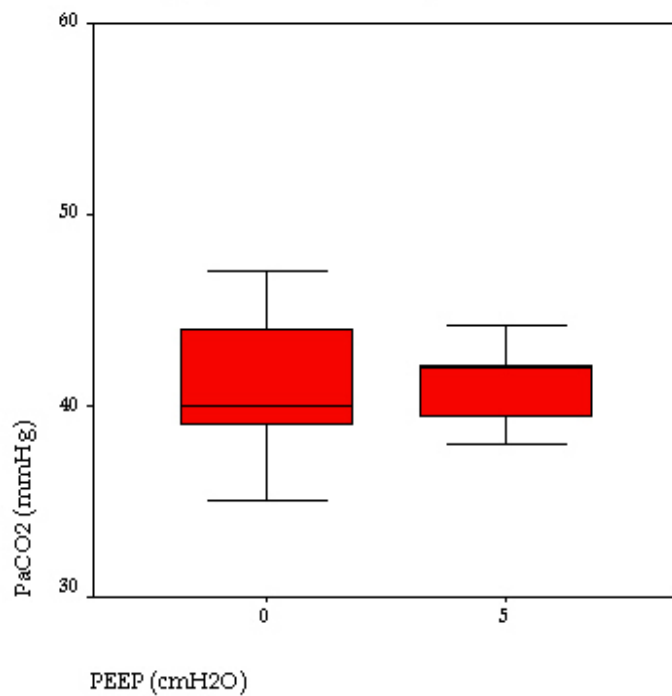


Tabelle 7: BGA-Daten; Studie 2, Gruppen Ia und Ib

	Gruppe Ia (EEP = 0 cm H₂O)	Gruppe Ib (EEP = 5cm H₂O)	Signifikanz
PaO₂ [mmHg]	139 ± 28	141 ± 21	P > 0,05
PaCO₂ [mmHg]	42 ± 5	41 ± 2	
Arterieller pH	7,40 ± 0,04	7,40 ± 0,02	
Endtidales CO₂ [mmHg]	36 ± 2	36 ± 2	
FiO₂ bei BGA [%]	30 ± 1	30 ± 3	

5.2.5 Respiratordaten (Teil II)

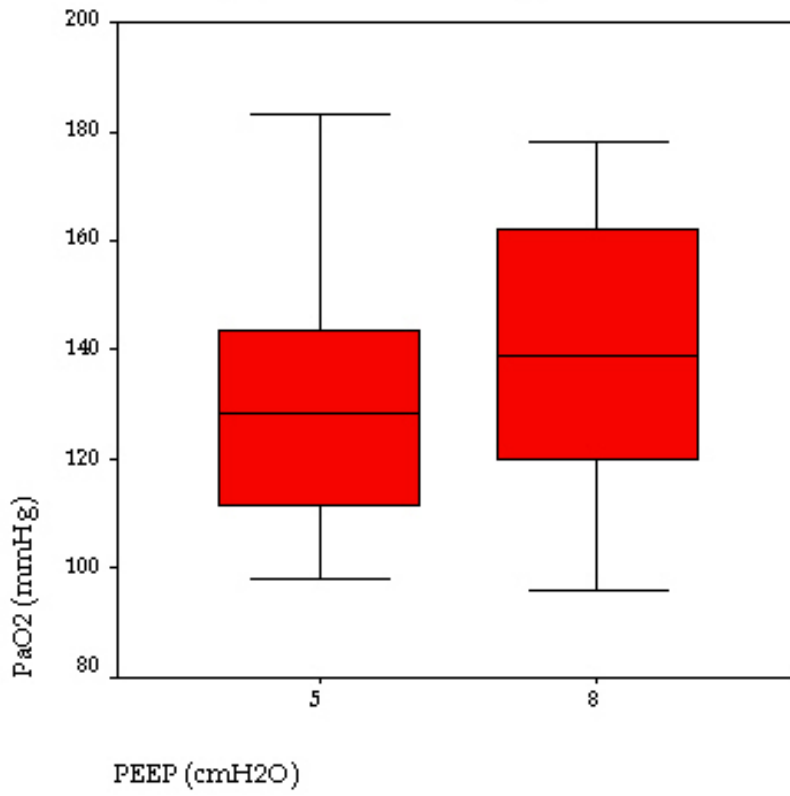
Alle Patienten konnten normokapnisch ventiliert werden, ohne dass die Peak-Paw die Pleak überschritten (Tabelle 5; Tabelle 8). Der PEEP von 8 cm H₂O konnte bei allen Patienten der Gruppe IIb problemlos appliziert werden.

Das durchschnittliche Tidalvolumen betrug 8 ± 1 ml/kgKG bei einer Atemfrequenz von 9 ± 2 Atemzügen pro Minute. Die Patienten erhielten ein durchschnittliches Atemminutenvolumen von $4,9 \pm 1,0$ Litern pro Minute. (Tabelle 8)

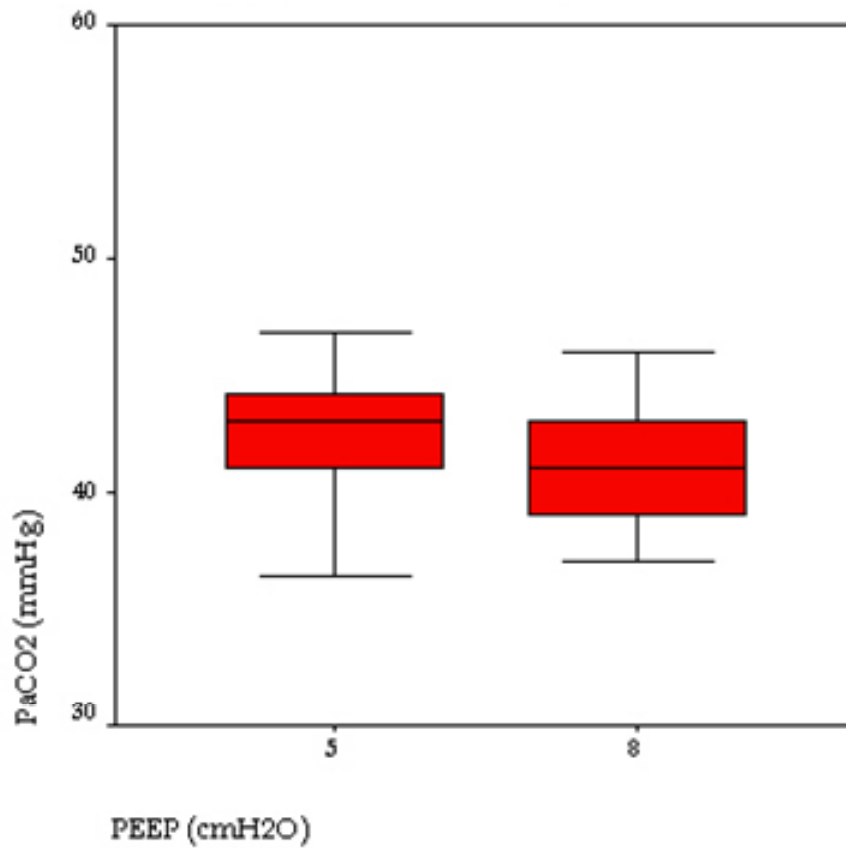
Tabelle 8 : Respiratordaten; Studie 2, Gruppen IIa und IIb

	Gruppe IIa (EEP = 5cm H₂O)	Gruppe IIb (EEP = 8cm H₂O)
Tidalvolumen [ml/kgKG]	8 ± 1	8 ± 1
Atemfrequenz [Atemzüge/min]	8 ± 2	9 ± 2
Atemwegsspitzenndruck [cm H₂O]	15 ± 2	18 ± 2
Atemminutenvolumen [l/min]	4,9 ± 0,9	5,0 ± 1,0

Grafik 5: Darstellung der PaO₂-Werte; Studie 2, Gruppen IIa und IIb



Grafik 6: Darstellung der PaCO₂-Werte; Studie 2, Gruppen IIa und IIb



5.2.6 BGA-Daten (Teil II)

Zum Zeitpunkt der Blutgasentnahme lag der FiO_2 bei allen Patienten bei $0,3 \pm 0,01$ und der am Respirator gemessene PCO_2 betrug 36 ± 2 mmHg (Tabelle 8). Beide Gruppen waren in Bezug auf die Sauerstoffsättigungen bei jeder Vitalzeichenkontrolle und zum Zeitpunkt der BGA vergleichbar.

Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede im Vergleich der PaO_2 -Werte (Tabelle 9; Grafik 5) und der PaCO_2 -Werte (Tabelle 9; Grafik 6).

Tabelle 9: BGA-Daten; Studie 2, Gruppe IIa und IIb

	Gruppe IIa (EEP = 5cm H ₂ O)	Gruppe IIb (EEP = 8cm H ₂ O)	Signifikanz
PaO₂ [mmHg]	127 ± 24	134 ± 26	P > 0,05
PaCO₂ [mmHg]	43 ± 3	41 ± 3	
Arterieller pH	7,39 ± 0,03	7,39 ± 0,03	
Endtidales CO₂ [mmHg]	37 ± 1	37 ± 2	
FiO₂ bei BGA [%]	30 ± 1	30 ± 1	

5.2.7 Intra- und postoperative Komplikationen (Teil I und II)

Es traten während der Narkose aller 74 Patienten keine Komplikationen auf. Bei sieben Patienten wurden die Lippen im Rahmen des Atemwegsmanagements leicht verletzt. Die PLMA wurde in allen Fällen intakt entfernt und war in drei Fällen blutig tingiert.

In der postoperativen Visite klagten fünf Patienten über ein Taubheitsgefühl der Zungenspitze, welches bis zu vier Tage anhielt. Sieben Patienten klagten über postoperative Übelkeit und Erbrechen und drei Patienten klagten über Halsschmerzen.

6. Diskussion

Mithilfe der vorliegenden Studien konnte gezeigt werden, dass der erhöhte Leckagedruck und die damit verbesserte Dichtigkeit der PLMA dazu genutzt werden kann, sowohl bei pädiatrischen als auch bei erwachsenen Patienten regelmäßig einen PEEP von 5 bzw. 8 cmH₂O im Rahmen einer druckkontrollierten Beatmung zu applizieren. Die im Rahmen dieser Studie gefundenen Leckagedrücke sind dabei sowohl in der pädiatrischen Untersuchung als auch in der Studie an erwachsenen Patienten innerhalb der miteinander verglichenen Gruppen vergleichbar. Bei keinem der Patienten, die aufgrund der Randomisierung mit einem PEEP von 5 bzw. 8 cmH₂O beatmet wurden, führte dies zu einer Überschreitung der Leckagedrücke oder in irgendeiner anderen Form zu einer Beeinträchtigung der Ventilation. Diese Erkenntnisse zeigen, dass durch die PLMA in der Tat ein Instrument geschaffen wurde, das für den Einsatz im Rahmen der druckkontrollierten Beatmung besser geeignet ist als die Vorgängerversion, die CLMA. Allerdings ist zu beachten, dass es sich bei den untersuchten Patienten um ein unselektiertes Patientengut ohne Risikofaktoren für eine Einschränkung des pulmonalen Gasaustausches, sei es aufgrund ihrer Konstitution oder aufgrund von pulmonalen Vorerkrankungen, handelte. Da bei solchen Patienten, z. B. aufgrund eines erhöhten BMI oder aufgrund eines erhöhten Atemwegswiderstandes, im Rahmen einer druckkontrollierten Beatmung häufig erhöhte Atemwegsspitzen drücke benötigt werden, könnte es sein, dass möglicherweise die bei den Patienten benötigten Atemwegsspitzen drücke über dem Leckagedruck der PLMA liegen. Dieser Sachverhalt sollte somit in zukünftigen Untersuchungen an selektierten Patientengruppen, wie z. B. Patienten mit einem erhöhten BMI oder aber an Patienten mit chronisch obstruktiver Lungenerkrankung, geklärt werden.

Die Applikation eines PEEP-Niveaus von 5 cmH₂O bei pädiatrischen Patienten im Rahmen unserer ersten Studie erbrachte signifikant erhöhte PaO₂-Werte gegenüber der Gruppe, die ohne positiven endexpiratorischen Druck beatmet wurde. So hatten die Kinder, welche mit einem PEEP beatmet wurden, im

Schnitt einen um 23 mmHg gesteigerten PaO₂. Auch der Oxygenierungsindex nach Horowitz, welcher sich aus dem Quotient von appliziertem FiO₂ zum erreichten PaO₂ berechnen lässt, stieg um 73 mmHg, von 477 mmHg auf 550 mmHg an, und bestätigte somit die Verbesserung der Oxygenierung. Dies zeigt, dass pädiatrische Patienten von der Applikation eines PEEP beim Einsatz der PLMA profitieren.

Kinder haben instabile Lungen; die elastischen Fasern, welche die Atemwege offen halten, sind erst in der Adoleszenz vollkommen entwickelt. Die „closing-capacity“, d. h. das Lungenvolumen, bei dem ein Kollaps der kleinen Atemwege auftritt, ist sehr groß und liegt häufig über der funktionellen Residualkapazität. So können eine kurzfristig erschwerte Maskenbeatmung oder auch nur kleine Atemzugvolumina zur Atelektasenbildung führen. Der daraus resultierenden Beeinträchtigung des Gasaustausches kann durch ein Offenhalten der kleinen Atemwege mithilfe eines applizierten PEEP entgegengewirkt werden. Die in die vorliegende Studie eingeschlossenen Kinder stellten eine homogene Patientengruppe dar, welche einen recht niedrigen BMI von 14,5 kg/m² und eine altersbedingte geringe Inzidenz noch nicht diagnostizierter pulmonaler Erkrankungen aufwies. Somit wurden die Ergebnisse nicht durch zusätzliche Faktoren, welche eine vermehrte Atelektasenbildung verursachen und infolge die Oxygenierung beeinträchtigen, beeinflusst.

Mit der zweiten Studie an lungengesunden, normalgewichtigen erwachsenen Patienten konnten wir zeigen, dass sowohl die Applikation eines PEEP von 5 cm H₂O als auch die Applikation eines High PEEP von 8 cm H₂O den Gasaustausch, gemessen am arteriellen Sauerstoffpartialdruck, weder signifikant verbesserten noch verschlechterten. Schon 1964 haben Benedixen und Kollegen ein Konzept zur Wiedereröffnung kollabierter Lungenareale empfohlen ⁽¹⁾. Dieses Konzept beruht auf der intermittierenden Verwendung unphysiologisch hoher inspiratorischer Spitzendrücke. Dieses Konzept ist heutzutage unter den Begriffen „Blähen“ oder „Recruitment-Manöver“ bekannt und findet breite Anwendung in der klinischen Routine. Hierbei soll über die wiederholte, ca. 15 Sekunden dauernde Applikation von ansteigenden, supranormalen Atem-

wegsdrücken bis zu 40 cm H₂O, die Lunge gebläht werden und somit eine Wiedereröffnung kollabierter Lungenareale erreicht werden. In einer CT-kontrollierten Studie unter Verwendung eines ETT konnte allerdings gezeigt werden, dass Atemwegsdrücke unter 30 cmH₂O nur zu einer inkompletten Eröffnung von Atelektasen führten ⁽²⁶⁾ und eine Verbesserung der Oxygenierung nicht erreicht wurde ^{(1), (23)}. In allen vier Studiengruppen wurden Verschlussdruckmessungen, beruhend auf dem Prinzip des Recruitment-Manövers, durchgeführt. Durchschnittliche Verschlussdrücke von 24 cm H₂O bei Gruppe 1, 27 cm H₂O bei Gruppen 2 und 3 und 25 cm H₂O bei Gruppe 4 wurden erreicht. In insgesamt 14 Fällen wurden Atemwegsdrücke von 30-40 cm H₂O erreicht. So ist es auch in dieser Studie möglich, dass die Atelektasen nur inkomplett eröffnet wurden und aus diesem Grund die Oxygenierung nicht verbessert wurde. Bei genauer Betrachtung der erreichten Verschlussdrücke und der erzielten PaO₂-Werte fällt auf, dass unter Verwendung der PLMA kein Zusammenhang zwischen dem im Blähmanöver erreichten Atemwegsdruck und der Oxygenierung besteht. Verschlussdrücke unter 30 cm H₂O führten nicht zu einer schlechteren Oxygenierung, gemessen am PaO₂, verglichen mit der Oxygenierung nach Atemwegsdrücken größer 30 cm H₂O. Dies könnte an der geringeren Invasivität der PLMA liegen, welche bekanntermaßen zu weniger reflektorischen pulmonalen Veränderungen, wie Bronchospasmen, führt ⁽¹⁸⁾. So könnten schon geringere Atemwegsdrücke ausreichen, die atelektatischen Areale der Lunge zu rekrutieren. Da in der vorliegenden Studie keine radiologische Kontrolle der Lunge erfolgte, lässt sich dies allerdings nicht beweisen.

Neumann und Kollegen konnten 1999 zeigen, dass ein Recruitment-Manöver unter Allgemeinanästhesie und einem hohen FiO₂ nur dauerhaften Erfolg verspricht, wenn anschließend ein PEEP appliziert wird. Erfolgt dies nicht, kommt es innerhalb von 5 Minuten zu einem erneuten Kollaps der Alveolen und zu Atelektasenbildung ⁽²²⁾. In unserer Studie wurde nach der Verschlussdruckmessung die fiberoptische Lagekontrolle der PLMA durchgeführt, bevor die PLMA mit dem Kreissystem des Respirators verbunden und der Patient, je nach Randomisierung mit ZEEP, PEEP von 5 cm H₂O oder High-PEEP von 8 cm H₂O, beatmet wurde. Für die fiberoptische Untersuchung wurden im

Durchschnitt 1-2 Minuten benötigt, sodass dies von geringer Bedeutung in Bezug auf die erneute Ausbildung von Atelektasen sein dürfte.

Es ist bekannt, dass die Applikation eines PEEP infolge eines „Recruitment-Manövers“ zu einer Stabilisierung kollabierter Areale und einer Vermeidung von Resorptionsatelektasen führt. Allerdings weiß man auch, dass es durch den hohen endexpiratorischen Druck zu einer Beeinträchtigung des Herzzeitvolumens und des venösen Rückflusses zum Herzen kommt. Pelosi und Kollegen konnten zeigen, dass der Effekt eines hohen PEEP bei adipösen Patienten zu einer Verbesserung der Oxygenierung, sichtbar an einer Erhöhung des PaO₂, führte. Bei normalgewichtigen Patienten hingegen blieb eine Verbesserung der Oxygenierung aus und der PaO₂-Wert veränderte sich nicht (24). Als Grund für die fehlende Auswirkung auf die Oxygenierung bei normalgewichtigen Patienten werden die Beeinträchtigung des Herzzeitvolumens und eine Verschlechterung des Ventilations-Perfusionsverhältnisses aufgrund der physikalischen Wirkung der intrathorakalen Druckerhöhung angesehen. Dies führt zu einer Aufhebung des Effekts, der durch die Wiedereröffnung atelektatischer Bereiche erzielt wurde (2), (32). Somit kann dies als Erklärungsansatz auch für die Ergebnisse dieser Studie dienen, welche keine signifikanten Veränderungen der arteriell gemessenen Sauerstoffpartialdrücke unter Applikation eines PEEP von 5 cm H₂O sowie eines PEEP von 8 cm H₂O erkennen ließ. Die Rekrutierung kollabierter Areale ist bei adipösen Patienten so ausgeprägt, dass sie trotz der Einschränkung der hämodynamischen Situation immer noch eine Verbesserung des Gasaustausches bewirken kann (27).

7. Schlussfolgerungen

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bei allen pädiatrischen Patienten unter Verwendung der PLMA Größe 2 und 2 ½ die Applikation eines PEEP von 5 cm H₂O im Rahmen einer PCV problemlos möglich war. Im Vergleich zur PCV ohne PEEP führte dies zu einer Verbesserung des Gasaustausches, gemessen am PaO₂.

Auch bei Erwachsenen war die Applikation eines PEEP von bis zu 8 cm H₂O im Rahmen einer PCV problemlos bei lungengesunden und normalgewichtigen Patienten unter der Verwendung einer PLMA Größe 3, 4, und 5 möglich. Dies führt allerdings zu keiner Verbesserung der Oxygenierung. Dem könnte einerseits zugrunde liegen, dass es mithilfe der PLMA, trotz ihrer verbesserten Dichtigkeit, nicht möglich ist, ausreichend hohe Atemwegsdrücke für eine vollständige Rekrutierung aller atelektatischen Lungenareale zu erzielen. Unter der Annahme, dass aufgrund der geringeren Invasivität auch geringere Atemwegsdrücke zum Recruitment nötig sind, und somit verbliebene Atelektasen nicht die Ursache der mangelnden Effektivität des PEEP sind, könnte andererseits die durch den PEEP bewirkte Verminderung des Herzzeitvolumens eine messbare Erhöhung des arteriellen Sauerstoffpartialdrucks verhindert haben.

Es bleibt zu erforschen, ob auch bei lungenkranken oder adipösen pädiatrischen Patienten die Anwendung eines PEEP möglich ist. Des Weiteren sind Studien nötig, um zu erforschen, wie sich die neuen Erkenntnisse auf lungenkranke Patienten auswirken.

Weiterer Bedarf besteht auch an Studien zur Erforschung der Effektivität eines Recruitment-Manövers unter Verwendung einer PLMA. Des Weiteren bleibt zu prüfen, ob bei lungenkranken oder adipösen Patienten der Einsatz einer druckkontrollierten Beatmung mit PEEP unter Verwendung der PLMA möglich ist und welche Auswirkungen dies auf den Gasaustausch solcher Patienten hat.

8. Zusammenfassung

8.1 Hintergrund

Es ist bekannt, dass unter Allgemeinanästhesie und druckkontrollierter Beatmung ohne PEEP der pulmonale Gasaustausch aufgrund von kollabierten terminalen Bronchioli und Atelektasenbildung eingeschränkt ist ⁽¹⁶⁾, ⁽²⁵⁾. Es konnte gezeigt werden, dass bei bestimmten Patienten ein „Recruitment“-Manöver und ein moderater PEEP notwendig sind, um kollabierte Lungenareale wieder zu eröffnen bzw. offenzuhalten ⁽¹⁵⁾, ⁽²⁹⁾, ⁽³³⁾. Diese Erkenntnisse beruhen ausschließlich auf Studien mit dem Endotracheal-Tubus (ETT).

Seit 2000 ist die ProSeal[®]-Larynxmaske (PLMA) als supraglottischer Atemweg mit einer optimierten anatomischen Passform, die zu einer höheren Dichtigkeit führt, im Handel erhältlich ⁽³⁾, ⁽⁷⁾, ⁽⁸⁾. Der höhere P-leak macht es eventuell möglich, einen PEEP von 5 cm H₂O oder sogar einen erhöhten PEEP von 8 cm H₂O zu applizieren. Dies könnte bei Einsatz der Larynxmaske genutzt werden, um eine messbare Verbesserung des pulmonalen Gasaustausches, gemessen am PaO₂, im Vergleich zur Beatmung ohne PEEP zu erreichen.

8.2 Methoden

Um diesen Sachverhalt zu untersuchen, wurden 20 pädiatrische Patienten im Alter von 55 (27-89) Monaten, mit einem Gewicht von 18 (13-24) kg, ohne Vorerkrankungen, im Rahmen eines elektiven operativen Eingriffs unter Verwendung der ProSeal[®]-Larynxmaske entweder ohne PEEP oder mit einem PEEP von 5 cm H₂O druckkontrolliert beatmet. Sämtliche übliche Respiratoreinstellungen und die Narkoseverfahren (Propofol, Remifentanyl, keine Muskelrelaxantien) waren standardisiert. Für eine Dauer von 20 Minuten wurde ein FiO₂ von 1,0 angewandt. 60 Minuten nach der Einleitung wurde allen Patienten unter einem FiO₂ von 0,3 eine arterielle BGA entnommen.

Im Anschluss wurden 74 erwachsene, anästhesierte Patienten, ohne Nikotin-anamnese, im Alter von 37 Jahren [18-69] mit einem BMI von 24 [14-30] unter Verwendung der ProSeal®-Larynxmaske ohne PEEP, mit einem PEEP von 5 cm H₂O oder mit einem erhöhten PEEP von 8 cm H₂O druckkontrolliert be-atmet. Narkose- und Respiratorverfahren waren in gleicher Weise standardi-siert. 50 Minuten nach Anästhesieeinleitung wurde allen Patienten bei einem FiO₂ von 0,3 eine arterielle BGA entnommen.

8.3 Ergebnisse

Alle Studiengruppen waren in Bezug auf die demografischen Daten, das Anäs-thesieverfahren und die Beatmungsparameter untereinander vergleichbar. Bei allen Patienten konnte der durch Randomisierung festgelegte endexpiratori-sche Druck (EEP) appliziert werden, ohne dass der Atemwegsspitzen-druck den Leckagedruck überschritt.

In der Untersuchung an pädiatrischen Patienten lag der PaO₂ der mit einem PEEP von 5 cm H₂O beatmeten Patienten signifikant höher (p=0,001) als der PaO₂ der ohne PEEP beatmeten Patienten:

	EEP	PaO ₂
	[cm H ₂ O]	[mmHg]
Gruppe 1 (n = 10)	0	166 ± 12
Gruppe 2 (n = 10)	5	143 ± 13

Alle Patienten konnten unter Erhalt normokapnischer PaCO₂-Werte ventiliert werden.

Bezüglich des PaO₂ und PaCO₂ fanden sich im Rahmen der Untersuchung an erwachsenen Patienten keine signifikanten Unterschiede:

	EEP	PaO ₂	PaCO ₂
	[cm H ₂ O]	[mmHg]	[mmHg]
Gruppe 1 (n = 9)	0	139 ± 28	42 ± 5
Gruppe 2 (n = 9)	5	145 ± 21	41 ± 2
Gruppe 3 (n = 23)	5	131 ± 24	43 ± 3
Gruppe 4 (n = 22)	8	139 ± 24	41 ± 3

8.4 Schlussfolgerungen

Die ProSeal®-Larynxmaske lässt sich zur zuverlässigen Applikation von PEEP-Werten bis zu 5 cm H₂O bei lungengesunden und normalgewichtigen pädiatrischen Patienten und bis zu 8 cm H₂O bei lungengesunden und normalgewichtigen erwachsenen Patienten unter druckkontrollierter Beatmung im Rahmen der Allgemeinanästhesie verwenden. Bei pädiatrischen Patienten, aber nicht bei erwachsenen Patienten, führt der Einsatz eines PEEP zu einer Verbesserung des pulmonalen Gasaustausches, gemessen an PaO₂ und PaCO₂.

9. Literaturverzeichnis

1. Benedixen HH, Bullwinkel B, Hedley White J, Laver MB: Atelectasis and shunting during spontaneous ventilation in anaesthetized patients. *Anesthesiology* 1964; 25: 297-301
2. Bindslev L, Hedenstierna G, Santesson J, Gottlieb I, Carvallhas A: Ventilation-perfusion distribution during inhalation anaesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand* 1981; 25: 360-371
3. Brain AIJ, Verghese C, Strube PJ: The LMA "ProSeal" – a laryngeal mask with an oesophageal vent. *Br J Anaesth* 2000; 84 (5): 650-654
4. Brain AIJ. The laryngeal mask – a new concept in airway management. *Br J Anaesth* 1983; 55: 801-805
5. Brimacombe J, Berry A: A proposed fiber-optic scoring system to standardize the assessment of the laryngeal mask airway position. *Anesth Analg* 1993; 76: 457
6. Brimacombe J, Brain AIJ, Berry AM : Anesthetic management, *The Laryngeal Mask Airway: A review and practical guide*, 1st edition. Edited by Brimacombe JR, Brain AIJ, Berry AM. London, W.B. Saunders, 1997, pp 65-105
7. Brimacombe J, Keller C: The ProSeal laryngeal mask airway. A randomised, crossover study with the standard laryngeal mask airway in paralysed, anaesthetized patients. *Anesthesiology* 2000; 93: 104-109
8. Cook TM, Nolan JP, Verghese C, Strube PJ, Lees M, Millar JM, Baskett PJF: A randomized crossover comparison of the ProSeal with the classic laryn-

geal mask airway in unparalysed anaesthetized patients. *Br J Anaesth* 2002; 88: 527-33

9. Cork RC, Depa RM, Standen JR: Prospective comparison of use of the laryngeal mask airway and the endotracheal tube for ambulatory surgery. *Anesth Analg* 1994; 79: 719-727
10. Eichenberger AS, Proietti S, Frascarolo P, Suter M, Spahn DR, Magnusson L: Morbid Obesity and Postoperative Pulmonary Atelectasis: An Underestimated Problem. *Anesth Analg* 2002; 95: 1788-1792
11. Ferri LR, Goudsouzian NG: The use of the laryngeal mask airway in children with bronchopulmonary dysplasia. *Anesth Analg* 1995; 81: 310-313
12. Goldmann K, Jakob C: Randomized crossover comparison of the size 2 ½ LMA-ProSeal versus LMA-Classic in pediatric patients. *Anesth Analg* 2005; 100: 1605-1610
13. Goldmann K, Jakob C: Size 2 ProSeal laryngeal mask airway: a randomized, crossover investigation with the standard laryngeal mask airway in paediatric patients. *Br J Anaesth* 2005; 94: 385-389
14. Goldmann K, Röttger C: Einsatz der ProSeal®-Kehlkopfmaske Größe 3 bei Kindern: Ergebnisse einer randomisierten Cross-over Untersuchung mit der Classic®-Kehlkopfmaske. *Anästhesist* 2005; 55: 148-153
15. Gunnarsson L, Tokics L, Gustavson H, Hedenstierna G: Influence of age on atelectasis formation and gas exchange impairment during general anaesthesia. *Br J Anaesth* 1991; 66: 423-32

16. Hedenstierna G: Airway closure, atelectasis and gas exchange during anaesthesia. *Minerva Anesthesiol* 2002; 68: 332-336
17. Keller C, Brimacombe J: Spontaneous versus controlled respiration with the laryngeal mask. A review. *Anaesthesist* 2001; 50: 187-91
18. Kim ES, Bishop MJ: Endotracheal Intubation, but Not Laryngeal Mask Airway Insertion Produces Reversible Bronchokonstriction. *Anesthesiology* 1999; 90(2): 391-394
19. LMA North America Inc.: LMA-ProSeal Instruction Manual. San Diego, LMA North America Inc., 2002
20. Lopez-Gil M, Brimacombe J, Keller C: A comparison of four methods for assessing oropharyngeal leak pressure with the laryngeal mask airway (LMA™) in paediatric patients. *Br J Anaesth* 1999; 82: 286-287
21. Max M, Dembinski R: Pulmonaler Gasaustausch in Narkose. *Anaesthesist* 2000; 49: 771-783
22. Neumann P, Rothen HU, Berglund JE, Magnusson A, Hedenstierna G: Positive end-expiratory pressure prevents atelectasis during general anaesthesia even in the presence of a high inspired oxygen concentration. *Acta Anaesthesiol Scand* 1999; 43: 295-301
23. Nunn JF, Bergmann NA, Coleman AJ: Factors influencing the arterial oxygen tension during anaesthesia with artificial ventilation. *Br J Anaesth* 1965; 37: 157-167
24. Pelosi P, Ravagnan I, Giurati G, Panigada M, Bottino N, Tredici S, Eccher G, Gattinoni L: Positive end-expiratory pressure improves respiratory

function in obese, but not in normal subjects during anesthesia and paralysis. *Anaesthesiology* 1999; 91: 1221-1231

25. Rothen HU, Sporre B, Engberg G, Wegenius G, Hedenstierna G: Airway closure, atelectasis and gas exchange during general anaesthesia. *Br J Anaesth* 1998; 81: 681-686
26. Rothen HU, Sporre B, Engberg G, Wegenius G, Hedenstierna G: Re-expansion of atelectasis during general anaesthesia: a computed tomography study. *Br J Anaesth* 1993; 71: 788-795
27. Santesson J: Oxygen transport and venous admixture in the extremely obese: Influence of anaesthesia and artificial ventilation with and without positive end-expiratory pressure. *Acta Anaesthesiol Scand* 1976; 20: 387-394
28. Serafini G, Cornara G, Caalloro F, Mori A, Dore R, Marraro G, Braschi A: Pulmonary atelectasis during paediatric anesthesia: CT scan evaluation and effect of positive end expiratory pressure (PEEP). *Paediatr Anaesth* 1999; 9: 225-228
29. Strandberg Å, Tokics L, Lundquist H, Hedenstierna G: Constitutional factors promoting development of atelectasis during anesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand* 1987; 31: 21-4
30. Thews K. Lungenatmung. In Schmidt, Thews (Herausgeber): *Physiologie des Menschen*, 23. Auflage, Berlin 1986: 574-610
31. Thornsteinsson A, Werner O, Jonmarker C, Larsson A: Airway closure in anesthetized infants and children: influence of inspiratory pressure and volumes. *Acta Anaesthesiol Scand* 2002; 46: 529-536

32. Tokics L, Hedenstierna G, Strandberg A, Brismar B, Lundquist H: Lung collapse and gas exchange during general anaesthesia: effects of spontaneous breathing, muscle paralysis, and positive end-expiratory pressure. *Anaesthesiology* 1987; 66: 157-167

33. Tusman G, Böhm SH, Vazquez de Anda GF, do Campo JL, Lachmann B: Alveolar recruitment strategies improves arterial oxygenation during general anaesthesia. *Br J Anaesth* 1999; 82: 8-13

II. Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole

A. =	Arteria
ASA =	American Society of Anesthesiologists
CLMA =	Classic®-Larynxmaske
EEP =	endexpiratorischer Druck
ETT =	Endotrachealtubus
FiO ₂ =	inspiratorischer Sauerstoffgehalt
Hb =	Hämoglobin
HCO ₃ =	Bikarbonat
Hkt =	Hämatokrit
LMA =	Larynxmaske
PaCO ₂ =	arterieller Kohlendioxid Partialdruck
P _a O ₂ =	arterieller Sauerstoff Partialdruck
PCO ₂ =	endexpiratorischer Kohlendioxid Partialdruck
PCV =	druckkontrollierte Beatmung
Peak-Paw =	Beatmungsspitzenruck
PEEP =	positiver endexpiratorischer Druck
pH =	Potenz und Maß der Wasserstoffionenkonzentration
P-leak =	Leckagedruck
PLMA =	ProSeal®-Larynxmaske
PONV =	postoperative Übelkeit und Erbrechen
SpO ₂ =	Sauerstoffsättigung des Blutes
TIVA =	total intravenöse Anästhesie
ZNS =	zentrales Nervensystem

III. Abbildungs-, Tabellen- und Graphenverzeichnis

A. Abbildungen

- Abbildung 1: Die korrekte Lage des Endotrachealtubus;
Bild der Internetseite www.bechterew.de der Deutschen
Vereinigung Morbus Bechterew e.V.
Stand 03/2008
- Abbildung 2: Anwendung der Gesichtsmaske;
Bild der Internetseite
<http://de.wikipedia.org/wiki/C-Griff>
Stand 03/2008
- Abbildung 3: Die klassische Larynxmaske;
Modifiziertes Bild des LMA-ProSeal™ Anleitungs-
handbuches der LMA Vertriebs GmbH in Windhagen
- Abbildung 4: Die korrekte Position der Larynxmaske im Hypopharynx;
Modifiziertes Bild des LMA-ProSeal™ Anleitungs-
handbuches der LMA Vertriebs GmbH in Windhagen
- Abbildung 5: Die ProSeal®-Larynxmaske von dorsal;
eigenes Foto
- Abbildung 6: Die ProSeal®-Larynxmaske von ventral;
eigenes Foto

B. Grafiken

Grafik 1: Schematische Darstellung des Studienablaufes

Grafik 2: Darstellung der PaO₂-Werte; Studie 1, Gruppen 1 und 2

Grafik 3: Darstellung der PaO₂-Werte; Studie 2, Gruppen Ia und Ib

Grafik 4: Darstellung der PaCO₂-Werte; Studie 2, Gruppen Ia und Ib

Grafik 5: Darstellung der PaO₂-Werte; Studie 2, Gruppen IIa und IIb

Grafik 6: Darstellung der PaCO₂-Werte; Studie 2, Gruppen IIa und IIb

C. Tabellen

Tabelle 1: Demografische Daten und Atemwegsdaten; Studie 1

Tabelle 2: Respiratordaten; Studie 1

Tabelle 3: BGA-Daten; Studie 1

Tabelle 4: Demografische Daten und anästhesierelevante Daten;
Studie 2

Tabelle 5: Atemwegsdaten; Studie 2

Tabelle 6: Respiratordaten; Studie 2, Gruppen Ia und Ib

Tabelle 7: BGA-Daten; Studie 2, Gruppen Ia und Ib

Tabelle 8: Respiratordaten; Studie 2, Gruppen IIa und IIb

Tabelle 9: BGA-Daten; Studie 2, Gruppen IIa und IIb

IV. Anhang

1. Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer waren die Damen/Herren in Marburg:

Adam, Ahrens, Aigner, Albersmeier, Albert, Alter, Alwani, Anderer, Arnold, Aumüller, Aust, Bals, Barth, Basler, Baum, Baumann, Becker, Behr, Benes, Berger, Bergmann, Bertalanffy, Beuing, Bette, Bieker, Bien, Bolm, Born, Boudriot, Braun, Bredendiek, Bremke, Büch, Burchert, Buss, Cetin, Christiansen, Czubayko, Danila, Daut, del Rey, Dersch, Dietrich, Dietz, Dominguez, Donner-Banzhoff, Duda, Dünne, Ebel, Eberhart, Eberle, Eggert, Egkher, Eilers, Eivazi, Ellenrieder, El-Zayat, Engenhardt-Cabillic, Erbslöh, Erhart, Erk, Faoro, Fendrich, Fensterer, Franck, Freiherr Schenck zu Schweinsberg, Funck, Gebhardt, Geks, Gerdes, Giebing, Görg, Goldmann, Grau, Gress, Grimm, Groß, Grundmann, Gryczka, Grzeschik, Gudermann, Hadji, Hajdu, Hall, Hamer, Hasilik, Hassan, Hauk, Hegele, Hellmeyer, Hemmeter, Henzel, Herrmann-Lingen, Hertl, Herzum, Höffken, Hörle, Hofbauer, Hoffmann, Hofmann, Horn, Hoyer, Hummel, Ivan, Jäkel, Jeck, Jerrentrup, John, Jungclas, Kaiser-Ferenczy, Kalder, Kalinowski, Kalmus, Kaluza, Kann, Kanngiesser, Kdolsky, Kerwat, Kill, Kim-Berger, Klaus, Klenk, Klose, Klotz, Koch, Köhler, König, Köster, Kolb-Niemann, Koolmann, Kretschmer, Krieg, Kroh, Kroll, Krüger, Kühnert, Kuhlmann, Kuhn, Kussin, Kwee, Lang, Langer, Lemke, Leonhardt, Lill, Löffler, Lohoff, Lüers, Lukasewitz, Maier, Maisch, Mandrek, Mann, Marlovits, Martin, Max, Mayer, Mennel, Metzelder, Michl, Mittag, Möller, Moll, Moosdorf, Morin, Mueller, Müller, Müßigbrodt, Mutters, Nachtigall, Neelsen, Neubauer, Ockert, Oertel, Olbert, Osei-Agyemang, Pagenstecher, Pajenda, Peil-Grun, Pelken, Pennekamp, Plant, Pokojski, Preuss, Printz, Ramaswamy, Rausch, Reichel, Remschmidt, Renz, Richter, Riera-Knorrenschild, Ritter, Röhm, Röper, Rolfes, Rominger, Rosenow, Rothmund, Rüscher, Ruhenstroth-Bauer, Sattler, Schäfer, Scheidt, Schiel, Schierl, Schlosser, Schmidt, Schmitt, Schmitz, Schnabel, Schneider, Schrader, Schu, Schultz, Schulze, Schunck, Seitz, Sesterhenn, Sharkova, Sheikh, Sommer, Spies, Stahlhoff, Stampfl, Steinberg, Steinfeldt, Steininger, Steinkamp, Stiasny-Kolster, Stief, Stiletto, Stiller, Strehl, Strempel, Strickner, Sure, Suske, Tackenberg, Tebbe, Torossian, Toussaint, Trebst, Uhlig, Unger, Varga, Vecsei, Vogelmeier, Voigt, Vogt, Wagner, Waldmann, Walthers, Weber, Wecker, Weihe, Wennemuth, Werner, Westermann, Wilhelm, Woernle, Wollenberg, Wrocklage, Wündisch, Wulf, Zemlin, Zentgraf, Ziring, Zoremba, Zwiorek

2. Danksagung

Bedanken möchte ich mich bei allen, die an der Entstehung dieser Arbeit beteiligt waren.

Mein besonderer Dank gilt Herrn PD. Dr. med. K. Goldmann, unter dessen Anleitung diese Arbeit entstand, für die Anregung zur Themenwahl, die kontinuierliche und engagierte Betreuung und für die Unterstützung bei der Lösung auftretender Probleme sowie die Anleitung zum wissenschaftlichen Arbeiten.

Den Kolleginnen und Kollegen sowie dem Pflegepersonal der Klinik für Anästhesie und Intensivtherapie danke ich für ihre Unterstützung während der klinischen Studie.

Vor allem aber danke ich meinen Eltern, Brigitte und Dr. Bertram Röttger, für deren ausdauernde Geduld und Unterstützung auf meinem beruflichen Weg.

Auch meiner Freundin Jessica Gawronski und meinem Freund Marc Bornträger gilt mein Dank für Korrekturen, Anregungen und die vielen aufmunternden Worte.