

Aus der Klinik für Anästhesiologie  
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf  
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. B. Pannen

**„...und wie beatmen Sie?“**

Eine internationale empirische Erhebung und  
Analyse der intraoperativen Beatmungspraxis

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität  
Düsseldorf  
vorgelegt von

Aurelia Sophia Muriel Werth

2017

Als Inauguraldissertation gedruckt mit der Genehmigung der  
medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf  
gez.:

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. N. Klöcker

Referent: Priv.-Doz. Dr. med. M. Beiderlinden

Koreferent: Prof. Dr. phil. N. Dragano

Für L. Lenz

## I Zusammenfassung

Die mechanische Beatmung, wie sie während vieler Vollnarkosen durchgeführt wird, steht im Verdacht auch an lungengesunden Patienten beatmungsinduzierte Lungenschäden hervorzurufen [1]. Es wird vermutet, dass konventionell hohe Tidalvolumina zwischen 10 und 15 ml/kg *Predicted Body Weight* (PBW), aber auch fehlender positiv-endexpiratorischer Druck (PEEP) an der Induktion dieser Schäden beteiligt sein könnten. Es wird diskutiert, ob niedrige Tidalvolumina von 6 ml/kg PBW, die regelhafte Anwendung von PEEP und Rekrutierungsmanövern „lungenprotektiv“ sein könnten. Studien zur idealen Beatmungsstrategie lungengesunder Patienten lieferten bisher kontroverse Ergebnisse, so dass die idealen Ventilationsparameter weiterhin unbekannt sind. Obwohl das Thema „lungenprotektive Beatmung“ hoch aktuell ist, ist es interessanterweise weitestgehend unbekannt, wie Anästhesiologen die intraoperative Ventilation lungengesunder Patienten routinemäßig handhaben. Diese Arbeit untersucht daher, wie zurzeit erwachsene Patienten in Rückenlage typischerweise intraoperativ beatmet werden.

Dazu wurde eine internationale Online-Befragung durchgeführt. Darin wurde erfragt, welches die Beatmungseinstellungen sind, die ein einzelner Anästhesiologe üblicherweise für lungengesunde Patienten verwendet. Dazu zählte die Selbsteinschätzung von Beatmungsmodus, Tidalvolumen, PEEP, inspiratorischer Sauerstoff-Fraktion und die Durchführung von Rekrutierungsmanövern. Es wurde auch erfragt, ob eine Anpassung des Beatmungskonzeptes bei adipösen Patienten erfolgt. Demographische Angaben der Teilnehmenden wurden ebenfalls erhoben.

Es wurden 952 Antworten aus 38 Ländern ausgewertet. 90% aller Befragten gaben an, niedrige Tidalvolumina von  $\leq 8$  ml/kg PBW zu nutzen, ebenso nutzen 96% der Befragten einen PEEP, typischerweise in Höhe von 5 cmH<sub>2</sub>O und verwenden eine inspiratorische Sauerstoff-Fraktion von 40%. Nur 16% der Befragten verwenden nach eigenen Angaben regelhaft Rekrutierungsmanöver. Eine Anpassung des Beatmungsregimes bei adipösen Patienten bejahten 68% der Anästhesiologen, wobei am häufigsten der PEEP, seltener die FiO<sub>2</sub> oder das Tidalvolumen erhöht werden.

Zusammenfassend geben die vorliegenden Daten erstmalig Einblick in die tägliche Beatmungspraxis, wie Sie bei lungengesunden Erwachsenen bei typischen Vollnarkosen gehandhabt wird. Dabei zeigt sich, dass nach Auskunft der meisten Anästhesiologen niedrige Tidalvolumina und niedriger PEEP üblich sind. Damit werden auch trotz bislang fehlendem Nachweis, Beatmungskonzepte angewendet, die von Patienten mit schwerem Lungenversagen stammen. Umso dringlicher muss in weiteren Arbeiten die Frage untersucht werden, ob lungengesunde Patienten von dieser Beatmung keine Nachteile haben.

## II Abkürzungen und Formelzeichen

<b>ALI</b>	<i>Acute Lung Injury</i>
<b>ARDS</b>	<i>Acute Respiratory Distress Syndrome</i>
<b>b. B.</b>	Bei Bedarf
<b>BMI</b>	<i>Body Mass Index</i>
<b>Chi<sup>2</sup></b>	Chi-Quadrat
<b>cmH<sub>2</sub>O</b>	Zentimeter Wassersäule
<b>CPAP</b>	<i>Continuous Positive Airway Pressure</i>
<b>FEV<sub>1</sub></b>	<i>Forced Expiratory Volume in 1 Second</i>
<b>FiO<sub>2</sub></b>	<i>Fraction of inspired Oxygen</i>
<b>I:E</b>	Inspiration zu Expiration
<b>IQR</b>	<i>Interquartile Range</i>
<b>kg</b>	Kilogramm
<b>LAS VEGAS</b>	<i>Local ASsessment of VEntilatory management during General Anesthesia for Surgery</i>
<b>mbar</b>	Millibar
<b>ml</b>	Milliliter
<b>mmHg</b>	Millimeter Quecksilbersäule
<b>N</b>	Anzahl, Größe der Stichprobe
<b>NRW</b>	Nordrhein-Westfalen
<b>OR</b>	<i>Outcomes Research Consortium</i>
<b>P</b>	<i>Probabilitas</i> , Wahrscheinlichkeit

<b>PaO<sub>2</sub></b>	<i>Partial Pressure of Oxygen in Arterial Blood</i>
<b>PBW</b>	<i>Predicted Body Weight</i>
<b>PEEP</b>	<i>Positive end-expiratory pressure</i>
<b>PROVENet</b>	<i>PROtective VENTilation Network</i>
<b>PROVHILO</b>	<i>PROtective Ventilation using Hlgh versus LOw positive end-expiratory pressure</i>
<b>RM</b>	Rekrutierungsmanöver
<b>SD</b>	<i>Standard Deviation</i>
<b>Web</b>	<i>World Wide Web</i>
<b>VALI</b>	<i>Ventilator Associated Lung Injury</i>
<b>VILI</b>	<i>Ventilator Induced Lung Injury</i>
<b>VT</b>	Tidalvolumen

## III Inhaltsverzeichnis

<b>I</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>i</b>
<b>II</b>	<b>Abkürzungen und Formelzeichen.....</b>	<b>ii</b>
<b>III</b>	<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>iv</b>
<b>IV</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>vii</b>
<b>V</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>ix</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Intraoperative mechanische Beatmung .....	1
1.1.1	Konventionelle Tidalvolumina.....	1
1.1.2	Positiv-endexpiratorischer Druck.....	2
1.1.3	Rekrutierungsmanöver .....	3
1.1.4	Inspiratorische Sauerstoff-Fraktionen .....	3
1.1.5	Adipöse Patienten .....	5
1.2	Mechanische Beatmung und Lungenschäden .....	6
1.3	Lungenprotektive Beatmung .....	6
1.3.1	Lungenprotektive Beatmung bei elektiven chirurgischen Eingriffen....	7
1.4	Problemstellung.....	9
<b>2</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>10</b>
2.1	Entwicklung und Evaluation der Umfrage .....	10
2.2	Durchführung der Umfrage.....	13
2.3	Methodik der Auswertung.....	16
2.4	Definitionen verschiedener Auswertungskriterien .....	16
<b>3</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>18</b>
3.1	Quantifizierung .....	18
3.2	Spezifische Fragen.....	22
3.2.1	Welche Tidalvolumina werden angewendet? .....	22
3.2.2	Wird PEEP eingesetzt und wie hoch? .....	23
3.2.3	Erfolgen Rekrutierungsmanöver?.....	24

---

3.2.4	Welche inspiratorische Sauerstoff-Konzentration wird angewendet?	25
3.2.5	Werden bei adipösen Patienten die Beatmungseinstellungen verändert? .....	26
3.2.6	Wird „lungenprotektiv“ beatmet? .....	29
3.2.7	Wer wendet niedrige Tidalvolumina an und wie werden diese mit den sonstigen Beatmungseinstellungen kombiniert? .....	30
3.2.8	Unterscheiden sich regionale von internationalen Beatmungskonzepten?.....	33
3.2.9	Unterscheiden sich universitäre von nicht-universitären Beatmungskonzepten?.....	35
3.2.10	Unterscheiden sich die Beatmungskonzepte berufserfahrener Anästhesiologen von denen mit weniger Berufserfahrung? .....	36
3.3	Zusammenfassung der Umfrageergebnisse anhand der Leitfragen .....	38
<b>4</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>40</b>
4.1	Einordnung der demographischen Resultate .....	40
4.2	Diskussion der spezifischen Fragen.....	41
4.2.1	Welche Tidalvolumina werden angewendet?.....	41
4.2.2	Wird PEEP eingesetzt und wie hoch?.....	42
4.2.3	Erfolgen Rekrutierungsmanöver?.....	42
4.2.4	Welche inspiratorische Sauerstoff-Konzentration wird angewendet?43	
4.2.5	Werden bei adipösen Patienten die Beatmungseinstellungen verändert? .....	43
4.2.6	Wird „lungenprotektiv“ beatmet? .....	44
4.2.7	Wer wendet niedrige Tidalvolumina an und wie werden diese mit den sonstigen Beatmungseinstellungen kombiniert? .....	46
4.2.8	Unterscheiden sich regionale von internationalen Beatmungskonzepten?.....	46
4.2.9	Unterscheiden sich universitäre von nicht-universitären Beatmungskonzepten?.....	47
4.2.10	Unterscheiden sich die Beatmungskonzepte berufserfahrener Anästhesiologen von denen mit weniger Berufserfahrung? .....	47

---

4.3	Limitationen der Studie.....	49
4.4	Schlussfolgerungen.....	50
<b>VI</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>51</b>
<b>VII</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>57</b>
<b>VIII</b>	<b>Danksagung.....</b>	<b>59</b>
<b>IX</b>	<b>Eidesstattliche Versicherung.....</b>	<b>60</b>

## IV Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Darstellung des Fragebogens in seiner „Papier-Version“ .....	12
Abb. 2: Gegenüberstellung der Zielsetzungen.....	13
Abb. 3: Distribution der internationalen Umfrage .....	15
Abb. 4: Ablauf der regionalen und internationalen Umfrage .....	18
Abb. 5: Zusammensetzung der Antworten und Ausschlusskriterien.....	19
Abb. 6: Herkunft der Antworten.....	20
Abb. 7: Verteilung des relativen und absoluten Tidalvolumens .....	22
Abb. 8: Verteilung der PEEP-Werte .....	23
Abb. 9: Rekrutierungsmanöver .....	24
Abb. 10: Art der praktischen Durchführung von Rekrutierungsmanövern.....	25
Abb. 11: Verteilung der inspiratorischen Sauerstoff-Konzentration .....	25
Abb. 12: Änderungen der Beatmungseinstellungen bei Adipösen.....	27
Abb. 13: Protektive Beatmungskonzepte regional und international.....	29
Abb. 14: PEEP-Werte in Abhängigkeit von der Wahl des Tidalvolumens.....	30
Abb. 15: I:E-Verhältnis in Abhängigkeit von der Wahl des Tidalvolumens .....	31
Abb. 16: RM in Abhängigkeit von der Wahl des Tidalvolumens .....	31
Abb. 17: Ort der Tätigkeit in Abhängigkeit von der Wahl des Tidalvolumens .....	32
Abb. 18: Hierarchieebene in Abhängigkeit von der Wahl des Tidalvolumens.....	32
Abb. 19: Berufserfahrung in Abhängigkeit von der Wahl des Tidalvolumens .....	33
Abb. 20: Tidalvolumen in Abhängigkeit von regionaler oder internationaler Herkunft ..	34
Abb. 21: PEEP in Abhängigkeit von regionaler oder internationaler Herkunft .....	34

Abb. 22: $\text{FiO}_2$ in Abhängigkeit von universitärer oder nicht-universitärer Herkunft .....	35
Abb. 23: RM in Abhängigkeit von universitärer oder nicht-universitärer Herkunft.....	36
Abb. 24: Tidalvolumen in Abhängigkeit von der Berufserfahrung .....	36
Abb. 25: PEEP in Abhängigkeit von der Berufserfahrung.....	37
Abb. 26: $\text{FiO}_2$ in Abhängigkeit von der Berufserfahrung .....	37

## V Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Darstellung der demographischen Angaben aller Befragten.....	20
Tabelle 2: Darstellung der Beatmungseinstellungen aller Befragten .....	21
Tabelle 3: Beatmungseinstellungen für Adipöse und Normalgewichtige .....	28
Tabelle 4: Lungenprotektive Beatmungskonzepte .....	29

# 1 Einleitung

Seit langem ist es Gegenstand der wissenschaftlichen Diskussion, in wie weit die mechanische Beatmung während einer Narkose bei lungengesunden Patienten beatmungsinduzierte Lungenschäden hervorruft [1]. Zahlreiche Studien zeigen, dass hohe Tidalvolumina, aber auch fehlender positiv-endexpiratorischer Druck (PEEP) Lungenschäden induzieren können. Bei jährlichen 230 Millionen Operationen wird deutlich, wie wichtig es ist eventuelle beatmungsinduzierte Schädigungen zu vermeiden, um dem ärztlichen Grundsatz „*Primum non nocere*“ gerecht werden zu können [2].

Im Kontrast zu der intensiven wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit den möglichen Folgen der Beatmung sind kaum Erkenntnisse vorhanden, wie die alltägliche Routine der intraoperativen mechanischen Ventilation gehandhabt wird. Ziel dieser Arbeit ist es, die aktuelle intraoperative Beatmungspraxis zu ermitteln und zu untersuchen, wie und in welcher Kombination die Parameter Tidalvolumen, PEEP, Rekrutierungsmanöver und Sauerstoff-Konzentration bei Lungengesunden eingesetzt werden und ob diese Einstellungen bei der Beatmung Adipöser im Vergleich zur Beatmung Normalgewichtiger verändert werden.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in der vorliegenden Arbeit nur eine geschlechtsspezifische grammatikalische Form verwendet. Es sind jedoch immer sowohl das männliche als auch das weibliche Geschlecht angesprochen.

## 1.1 Intraoperative mechanische Beatmung

### 1.1.1 Konventionelle Tidalvolumina

Das Tidalvolumen entspricht dem Volumen eines Atemzuges während der mechanischen Beatmung. Das physiologische Atemzugvolumen beträgt ungefähr 6-8 ml/kg *Predicted Body Weight* (PBW) mit starken Schwankungen von Atemzug zu Atemzug [3,4]. Trotzdem wurden zur intraoperativen Beatmung von lungengesunden Patienten bisher Tidalvolumina von 10-15 ml/kg PBW ohne die Verwendung von PEEP empfohlen. Diese Empfehlung beruht auf Studien aus den 1960er und 1970er Jahren, welche zeigten, dass so die Lungenmechanik verbessert und Hypoxämien sowie der Ausbildung von Atelektasen vorgebeugt werden konnte. Beispielhaft ist die Studie von Visick et al., bei der intraoperativ in einem randomisierten *Cross-Over-Design* drei unterschiedliche volumenkontrollierte Beatmungsregimes angewendet wurden: 1)

Tidalvolumen 5 ml/kg PBW ohne PEEP, 2) Tidalvolumen 5 ml/kg PBW mit einem PEEP von 10 cmH<sub>2</sub>O und 3) Tidalvolumen 15 ml/kg PBW ohne PEEP. Dabei zeigte sich, dass unter einem Tidalvolumen von 15 ml/kg PBW die *Compliance* und der Gasaustausch signifikant besser waren, als unter den beiden anderen Beatmungsregimes [5]. Auch Bendixen et al. zeigten schon 1963, dass die intraoperative Beatmung mit höheren Tidalvolumina bei abdominalchirurgischen Patienten zu geringerer Atelektasenbildung führte als eine Beatmung mit niedrigen Tidalvolumina [6]. Die Verhütung der Atelektasenbildung und die Aufrechterhaltung einer guten Oxygenierung wurden zur Rationale für die Verwendung von konventionell hohen Tidalvolumina zwischen 10 und 15 ml/kg PBW ohne PEEP während der intraoperativen Beatmung.

### 1.1.2 Positiv-endexpiratorischer Druck

Am Ende der Ausatmung nimmt der Druck in der Lunge üblicherweise die Höhe des atmosphärischen Drucks an. Durch ein Ventil am Respiator kann jedoch der Druck am Ende der Ausatmung auch über dem Umgebungsdruck gehalten werden. Dieser positiv-endexpiratorische Druck wird PEEP, aus dem Englischen „positive endexpiratory pressure“, genannt. PEEP verhindert, dass der Druck in den Atemwegen derart abfällt, dass Alveolen kollabieren und Atelektasen entstehen. In den 1970er Jahren untersuchten Wyche et al. den Einfluss von intraoperativem PEEP, indem sie 24 Patienten auf verschiedenen PEEP-Niveaus von 0, 5, 10 und 15 cmH<sub>2</sub>O in randomisierter Reihenfolge für jeweils 15 Minuten ventilerten, während die übrigen Beatmungsparameter unverändert blieben. Sie konnten zeigen, dass der arterielle Sauerstoff-Partialdruck durch PEEP typischerweise anstieg, jedoch mit deutlichen interindividuellen Unterschieden und folgerten, dass das PEEP-Niveau für jeden Patienten individuell zu ermitteln sei [7]. Später zeigten Tokics et al. computertomographisch, dass die Applikation eines PEEP von 10 cmH<sub>2</sub>O während der intraoperativen Beatmung zwar zu Anfang der Narkose entstandene Atelektasen wieder reduzieren konnte, das Shuntvolumen, welches zu einer Verminderung der Oxygenierung führt, aber nicht unbedingt verkleinerte [8]. Pelosi et al. konnten eine Verbesserung der postoperativen Oxygenierung durch die intraoperative Applikation eines PEEP von 10 cmH<sub>2</sub>O bei einem Tidalvolumen von 8-12 ml/kg PBW nur bei übergewichtigen Patienten nachweisen. Sie vermuteten, dass der PEEP bei den normalgewichtigen Patienten durch eine Verminderung des Herzzeitvolumens die positive Wirkung auf die Oxygenierung aufhebt [9]. Diese Verminderung des Herzzeitvolumens beruht auf einer Erhöhung des Drucks im Thorax und einem dadurch verminderten venösen Rückfluss zum Herzen. Dies kann zu

hämodynamischer Instabilität führen. PEEP kann außerdem zu einem venösen Rückstau in die obere und untere Hohlvene und darüber zu einer verstärkten Blutungsgefahr bei Operationen führen. Aus Studien zur intraoperativen Verwendung von PEEP, konnten bisher keine eindeutigen Empfehlungen abgeleitet werden, so dass der routinemäßige Einsatz von PEEP während Intubationsnarkosen international kein klinischer Standard ist. So zeigten Jaber et al. in einer *Multi-Center*-Studie in Frankreich, dass dort nur in circa 20% der Fälle intraoperativ ein PEEP verwendet wurde [10].

### 1.1.3 Rekrutierungsmanöver

Während Intubationsnarkosen kommt es typischerweise zur Bildung von Atelektasen, da der Tonusverlust der Atemmuskulatur eine Verringerung der funktionellen Residualkapazität und eine Kompression von abhängigen Lungenabschnitten verursacht [11]. Atelektatische Lungenbereiche sind nicht belüftete, aber durchblutete Areale, die durch Rechts-Links-Shunt-Erhöhung die Oxygenierung verschlechtern. Rekrutierungsmanöver, bei denen die Lunge durch Druck und/oder hohe Volumina gebläht wird, können die vormals atelektatischen Areale nun wieder eröffnen und belüften und dadurch die Oxygenierung verbessern. Bendixen et al. zeigten bereits 1963, dass wiederholte „tiefe Atemzüge“ mit Beatmungsdrücken von bis zu 40 cmH<sub>2</sub>O über 15 Sekunden bei intraoperativ beatmeten Patienten zu einer Verbesserung der Oxygenierung führten [6]. Rothen et al. konnten computertomographisch nachweisen, dass die kurzzeitige Erhöhung des Beatmungsdruckes für nur 7-8 Sekunden auf 40 cmH<sub>2</sub>O während der intraoperativen Beatmung von lungengesunden Patienten eine vollständige Wiedereröffnung der Atelektasen zur Folge hatte, wogegen eine Erhöhung der Beatmungsdrücke auf 20 oder 30 cmH<sub>2</sub>O nur eine partielle Wiedereröffnung erzielte [12]. Theoretisch kann die Durchführung von Rekrutierungsmanövern durch die hohen Beatmungsdrücke auch zur Ausbildung eines Barotraumas führen, üblicherweise gelten 40 cmH<sub>2</sub>O für kurzzeitige Manöver jedoch als sicher [13]. Bisher gibt es keine Studie, welche die Auswirkung einer intraoperativen Beatmung allein hinsichtlich der Durchführung von Rekrutierungsmanövern auf klinisch relevante *Outcome*-Parameter untersucht. Daher ist aktuell der Stellenwert von Rekrutierungsmanövern allein nicht abschließend zu bewerten.

### 1.1.4 Inspiratorische Sauerstoff-Fraktionen

Konventionell wurde intraoperativ eine inspiratorische Sauerstoff-Fraktion von 0,3 angewendet. Während der Einleitung der Narkose werden Patienten jedoch üblicherweise mit 100% Sauerstoff beatmet. Diese „Präoxygenierung“ beugt im Falle

von Intubationsschwierigkeiten für einige Zeit einer Hypoxämie vor [14]. Eine längerdauernde Beatmung mit 100% Sauerstoff führt jedoch immer zu Resorptionsatelektasen, da der Sauerstoff über die Zeit in das Blut aufgenommen und die Alveole damit entleert wird. Es ist unklar, ab welcher Sauerstoffkonzentration sich diese Resorptionsatelektasen bilden [14].

So erbrachte der Vergleich der postoperativen Lungenfunktion und der Thorax-Röntgenbilder von 30 Patienten, die randomisiert perioperativ entweder eine Sauerstoff-Fraktion von 0,3 oder 0,8 erhielten, keine signifikanten Unterschiede [15]. Auch andere Autoren fanden keinen signifikanten postoperativen Unterschied zwischen den Oxygenierungsindizes ( $PaO_2/FiO_2$ ) und der Größe der funktionellen Residualkapazität bei Patienten, die intraoperativ entweder mit einer inspiratorischen Sauerstoff-Fraktion von 0,8 oder von 0,3 beatmet wurden, so dass die Verwendung einer  $FiO_2$  von 0,8 als sicher gilt [16].

Dass höhere inspiratorische Sauerstoff-Fractionen während der Beatmung Vorteile haben, konnten andere Publikationen zeigen. So reduzierte in einer Studie von Greif et al. die intra- und postoperative Verwendung einer inspiratorischen Sauerstoff-Fraktion von 0,8 im Vergleich zu 0,3 die Rate an postoperativen Wundinfekten bei Patienten nach Darmeingriffen signifikant. Dies wurde mit einem höheren Sauerstoffpartialdruck im Subkutangewebe erklärt [17].

Die gleiche Arbeitsgruppe untersuchte auch den Zusammenhang zwischen der intraoperativ verabreichten inspiratorischen Sauerstoffkonzentration und dem Auftreten von postoperativer Übelkeit und Erbrechen. Intraoperativ mit einer Sauerstoff-Fraktion von 0,8 beatmete Patienten litten postoperativ deutlich seltener an Übelkeit oder Erbrechen, als Patienten denen eine Sauerstoff-Fraktion von 0,3 verabreicht wurde [18]. Treschan et al. führten eine randomisierte, Placebo-kontrollierte Studie zur gleichen Fragestellung an Patienten während Strabismus-Operationen durch. Sie beatmeten diese intraoperativ entweder mit einer inspiratorischen Sauerstoff-Fraktion von 0,3 oder 0,8. Die Patienten, die mit einer Sauerstoff-Fraktion von 0,3 beatmet wurden erhielten während der Narkoseeinleitung zusätzlich entweder das Antiemetikum Ondansetron oder Placebo. In dieser Studie konnten keine signifikanten Unterschiede in der Entwicklung von postoperativer Übelkeit und postoperativem Erbrechen zwischen den Gruppen gefunden werden [19]. Auch eine Metaanalyse von Hovaguimian et al. mit den Ergebnissen von 11 Studien konnte allenfalls eine geringe Wirkung von inspiratorischen Sauerstoff-Fractionen über 0,5 auf postoperative Übelkeit und Erbrechen feststellen [20].

Demgegenüber zeigen jedoch zahlreiche Arbeiten negative Auswirkungen hoher Sauerstoff-Konzentrationen, wie beispielsweise ihre toxische Wirkung auf die Zellintegrität durch Bildung von Radikalen [21–23].

Die dargestellten kontroversen Studienergebnisse zeigen, dass die ideale inspiratorische Sauerstoff-Fraktion während der intraoperativen Beatmung weiterhin Diskussionsgegenstand ist.

### 1.1.5 Adipöse Patienten

Bei stark übergewichtigen Patienten verschlechtern sich während mechanischer Ventilation die Lungenmechanik und die Oxygenierung in besonderem Maße [24]. Mit einer Zunahme des *Body Mass Index* (BMI) sinken die funktionelle Residualkapazität, die Lungencompliance und der Oxygenierungsindex, während der Atemwegswiderstand und die Atemarbeit zunehmen [25]. Diese Einschränkungen führen dazu, dass adipöse Patienten häufiger als Normalgewichtige perioperative pulmonale Komplikationen erleiden [26]. Um diesem erhöhten Risiko zu begegnen, untersuchten Pelosi et al. die Auswirkung einer PEEP-Erhöhung an normalgewichtigen und adipösen Patienten. Sie konnten zeigen, dass ein PEEP von 10 cmH<sub>2</sub>O die Atemmechanik, die Rekrutierung von atelektatischen Lungenabschnitten und damit die Oxygenierung bei adipösen, jedoch nicht bei normalgewichtigen Patienten, gegenüber einem PEEP von null signifikant verbesserte [9].

Eine Metaanalyse von Aldenkort et al. zeigte, dass die intraoperative Anwendung von meist einem einzigen Rekrutierungsmanöver zusätzlich zu einem PEEP zwischen 5 und 12 cmH<sub>2</sub>O bei adipösen Patienten die Oxygenierung und die Lungencompliance gegenüber der alleinigen Beatmung mit den genannten PEEP-Werten oder der Durchführung von Rekrutierungsmanövern ohne PEEP-Beatmung verbessern konnte. Demgegenüber ergab ein Vergleich zwischen volumenkontrollierter und druckkontrollierter Beatmung keine Überlegenheit einer bestimmten Beatmungsform bei adipösen Patienten [27]. Von welcher intraoperativen inspiratorischen Sauerstoff-Fraktion adipöse Patienten profitieren ist bisher unklar. Die intraoperativ randomisierte Beatmung von adipösen Patienten mit 30% oder 80% Sauerstoff von Staehr et al. konnte keine signifikanten Unterschiede in der Entwicklung von postoperativen pulmonalen Komplikationen und der Entwicklung von Wundinfektionen zeigen [28].

Zwar liegen wie bislang dargestellt einige Befunde zu veränderten Bedingung der Beatmung bei adipösen Patienten vor, ob im Allgemeinen bei adipösen Patienten veränderte Beatmungsstrategien im klinischen Alltag angewendet werden und sich damit die intraoperative Beatmung adipöser von der normalgewichtiger Patienten unterscheidet, ist jedoch unbekannt.

## 1.2 Mechanische Beatmung und Lungenschäden

Zwischen 2% und 19% der intraoperativ beatmeten Patienten erleiden nach der Operation pulmonale Komplikationen, wie beispielsweise Pneumonien, Bronchospasmen oder respiratorische Insuffizienz [29]. Wie viele dieser Komplikationen ursächlich der intraoperativen Beatmung zuzuschreiben sind, ist jedoch unklar. Sicher ist, dass einige Intensivpatienten schon nach kurzen Phasen mechanischer Beatmung Lungenveränderungen zeigen, die potentiell zu pulmonalen Schädigungen führen können. Besonders die konventionell hohen Tidalvolumina stehen im Verdacht an der Entstehung dieser Schädigungen beteiligt zu sein [30–32].

Der Begriff „ventilator-induzierter Lungenschaden (*Ventilator Induced Lung Injury*: VILI)“ bezeichnet eine Schädigung der Lunge, die kausal in der mechanischen Ventilation begründet ist [13]. Ein Kausalzusammenhang zwischen Beatmung und Lungenschädigung konnte in Tierexperimenten unter verschiedenen Bedingungen gezeigt werden, wogegen dies an Patienten nur schwer nachzuweisen ist [33]. Daher wird im klinischen Setting meist der Terminus des „ventilator-assoziierten Lungenschadens (*Ventilator Associated Lung Injury*: VALI)“ gebraucht [34]. Dieser Begriff wird auch in dieser Arbeit im Weiteren verwendet.

Die Entstehung von VALI wird modellhaft durch die Konzepte „Volutrauma“, „Atelekttrauma“ und „Biotrauma“ erklärt. Dabei wird das Volutrauma auch als *High Lung Volume Injury* bezeichnet und beschreibt die strukturelle Überdehnung des Lungenparenchyms. Zu dieser Überdehnung führen vor allem ein hohes endinspiratorisches Lungenvolumen und ein hoher inspiratorischer Druck. Das Atelekttrauma, auch *Low Lung Volume Injury* genannt, entsteht durch das ständige zyklische Schließen und Wiedereröffnen von Lungenabschnitten. Die hierbei wirkenden Scherkräfte schädigen das Lungenparenchym [34,35]. Der entstandene Gewebeschaden führt zu einer Freisetzung von Entzündungsmediatoren im Lungengewebe. Die Induktion dieser lokalen Entzündungsreaktion wird als Biotrauma bezeichnet [1,36]. Die oben benannten Prozesse können sich dabei nicht nur in vorgeschädigten, sondern auch in gesunden Lungen vollziehen [37].

## 1.3 Lungenprotektive Beatmung

Der Begriff der „lungenprotektiven Beatmung“ stammt ursprünglich aus der Behandlung des *Acute Respiratory Distress Syndrome* (ARDS). Dieses plötzlich auftretende schwere Lungenversagen ist charakterisiert durch eine ausgeprägte Hypoxämie und dem radiographischen Nachweis von pulmonalen, bilateralen Infiltraten [38]. Ursprünglich wurde es anhand des Oxygenierungsindex bei Werten zwischen 200

und 300 mmHg in die „mildere“ Form *Acute Lung Injury* (ALI) und bei Werten unter 200 mmHg in das eigentliche ARDS unterteilt. Die aktuelle „Berliner Definition“ unterteilt das ARDS mithilfe des Oxygenierungsindex in die drei Schweregrade „mild“, bei Werten unter 300 mmHg, „moderate“ bei Werten kleiner 200 mmHg und „severe“ bei Werten kleiner 100 mmHg. Diese Unterteilung löste die Unterscheidung in ALI/ARDS ab [39]. Für Patienten mit ARDS wird als Beatmungskonzept die Kombination niedriger Tidalvolumina mit der Anwendung von PEEP bei gleichzeitiger Limitierung des Plateaudrucks gefordert, welches sich als „lungenprotektive Beatmung“ für diese Patientengruppe etabliert hat [40]. Es konnte gezeigt werden, dass diese Form der Beatmung die Mortalität von ARDS-Patienten senkt [41].

### 1.3.1 Lungenprotektive Beatmung bei elektiven chirurgischen Eingriffen

Ob es eine intraoperative Beatmungsform gibt, welche bei Lungengesunden die Entstehung von VALI verhindert und damit als lungenprotektiv gelten kann, wird aktuell intensiv erforscht. So zeigten beispielsweise Wolthuis et al., dass bei einem Tidalvolumen von 6 ml/kg PBW in Kombination mit einem PEEP von 10 cmH<sub>2</sub>O Marker, die auf pulmonale Inflammation hinweisen können, im Blut und in der bronchoalveolären Lavage der Patienten signifikant niedriger waren als bei Beatmung mit einem Tidalvolumen von 12 ml/kg PBW ohne PEEP [42]. Choi et al. nutzten dieselben Beatmungsparameter und konnten in der mit hohen Tidalvolumina und ohne PEEP beatmeten Kontrollgruppe eine erhöhte Koagulationsaktivierung in der bronchoalveolären Lavage nachweisen [43]. Auch Severgnini et al. zeigten, dass Patienten, die intraoperativ mit einem Tidalvolumen von 7 ml/kg PBW, einem PEEP von 10 cmH<sub>2</sub>O und unter Anwendung von Rekrutierungsmanövern beatmet wurden, postoperativ bessere spirometrische Lungenfunktionstests, Oxygenierungswerte und seltener pathologische Veränderungen im Thorax-Röntgenbild aufwiesen, als eine konventionell mit einem Tidalvolumen von 9 ml/kg PBW ohne PEEP und ohne Rekrutierungsmanöver beatmete Gruppe [44]. Eine Metaanalyse von 20 Studien zeigte eine niedrigere Mortalität, niedrigere pulmonale Infektionsraten, weniger Atelektasen und kürzere Krankenhausverweildauern bei Patienten, die mit niedrigen Tidalvolumina zwischen 5 und 9 ml/kg PBW und einem PEEP von im Mittel etwa 6 cmH<sub>2</sub>O beatmet wurden. Die „konservativ“ beatmete Gruppe erhielt Tidalvolumina zwischen 9 und 12 ml/kg PBW und einen PEEP von im Mittel etwa 3 cmH<sub>2</sub>O [45]. Auf der Basis dieser Befunde könnte also eine Kombination aus niedrigem Tidalvolumen, PEEP und Rekrutierungsmanövern auch bei lungengesunden Patienten „protektiv“ sein.

Dabei ist zu beachten, dass im mündlichen Sprachgebrauch, aber auch in den Überschriften etlicher Publikationen die intraoperative Ventilation mit niedrigen

Tidalvolumina allein häufig als lungenprotektiv beschrieben wird. Dabei werden allerdings typischerweise Beatmungskonzepte aus niedrigen Tidalvolumina und höherem PEEP der Verwendung von hohen Tidalvolumina ohne PEEP gegenüber gestellt. Damit ist ein eventueller *Benefit* nicht allein dem Tidalvolumen zu zuschreiben. Unsere Arbeitsgruppe um Treschan et al. konnte zeigen, dass unter einem PEEP von 5 cmH<sub>2</sub>O und einem Rekrutierungsmanöver vor Extubation ein Tidalvolumen von 6 ml/kg PBW im Vergleich zu 12 ml/kg PBW keinen Vorteil auf die postoperative spirometrische Lungenfunktion von abdominalchirurgischen Patienten hatte. Allerdings hatten Patienten mit niedrigem Tidalvolumen intraoperativ signifikant geringere Oxygenierungsindices und unmittelbar postoperativ signifikant mehr Atelektasen. [46].

Im Gegensatz zu den oben dargestellten Studien, die einen Vorteil der Beatmung mit niedrigen Tidalvolumina zeigen, fanden Levin et al. retrospektiv eine höhere 30-Tage-Mortalität von Patienten, die mit 6-8 ml/kg PBW beatmet wurden, gegenüber denen, die bei vergleichbarem PEEP von 4 cmH<sub>2</sub>O, ein Tidalvolumen von 8-10 ml/kg PBW erhielten [47].

Zusammenfassend scheint daher die optimale Beatmungsstrategie für lungengesunde Patienten, welche der Entstehung beatmungsassoziierter Lungenschäden vorbeugt, noch nicht gefunden zu sein. Dennoch gibt die Literatur Anlass zu der Annahme, dass die routinemäßige intraoperative Beatmung bereits mit niedrigeren Tidalvolumina durchgeführt wird. So finden sich mehrere *Single-Center*-Studien, die eine Verringerung der Tidalvolumina im Verlauf der Jahre innerhalb ihrer Kliniken beschreiben [47–49].

## 1.4 Problemstellung

Trotz zahlreicher Studien zu intraoperativen Beatmungsstrategien gibt es keine Informationen darüber, wie außerhalb von klinischen Untersuchungen, also in der klinischen Alltagssituation Lungengesunde intraoperativ beatmet werden. Ziel dieser Arbeit ist es, die aktuelle intraoperative Beatmungspraxis zu ermitteln.

Folgende spezifische Fragen wurden untersucht:

1. Welche Tidalvolumina werden angewendet?
2. Wird PEEP eingesetzt und wie hoch?
3. Erfolgen Rekrutierungsmanöver?
4. Welche inspiratorische Sauerstoff-Konzentration wird angewendet?
5. Werden bei adipösen Patienten die Beatmungseinstellungen verändert?
6. Wird „lungenprotektiv“ beatmet?
7. Wer wendet niedrige Tidalvolumina an und wie werden diese mit den sonstigen Beatmungseinstellungen kombiniert?
8. Unterscheiden sich regionale von internationalen Beatmungskonzepten?
9. Unterscheiden sich universitäre von nicht-universitären Beatmungskonzepten?
10. Unterscheiden sich die Beatmungskonzepte berufserfahrener Anästhesiologen von denen mit weniger Berufserfahrung?

## 2 Material und Methoden

Mit Zustimmung der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Studiennummer 3843, haben wir eine Online-Umfrage in deutscher und englischer Sprache entwickelt. Damit wurde eine weltweite E-mail-Anfrage an Anästhesiologen zu deren Beatmungsstrategien bei der intraoperativen Ventilation erwachsener Patienten in Rückenlage durchgeführt.

### 2.1 Entwicklung und Evaluation der Umfrage

Die Entwicklung der Umfrage erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Institut für medizinische Soziologie der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf.

Zu Anfang wurden sieben Anästhesiologen mit unterschiedlichen beruflichen Charakteristika gebeten, uns die Fragen mitzuteilen, die ihnen bei einer Umfrage zur intraoperativen Beatmungspraxis am wichtigsten wären. Auf Basis dessen wurde zunächst eine Papier-basierte Version des Fragebogens entwickelt. Diese Version umfasste 13 Fragen und wurde in einem ersten Evaluationsschritt von 11 Anästhesiologen, angestellt an Kliniken der Regel- und Maximalversorgung, als „*Paper-and-Pen*“-Version beantwortet und auf dem Boden ihrer Rückmeldungen strukturell und inhaltlich weiterentwickelt.

Unter Verwendung der *SurveyMonkey*®-Software wurde dann eine erste Online-Version des Fragebogens erarbeitet. Da innerhalb der Online-Umfrage mit einer Verzweigungslogik gearbeitet wurde, konnten, je nach Beantwortung einer übergeordneten Frage, weitere Fragen zu diesem Themenkomplex übersprungen werden. Es wird im Folgenden immer die Anzahl an Items angegeben, die der Befragte höchstens beantworten musste. Die erste Online-Version der Umfrage umfasste 33 Fragen. Sie wurde mit der Software der Internetseite „Barrierefrei kommunizieren“ [50] auf ihre Lesbarkeit für Farbfehlsichtige hin geprüft. Die Umfrage wurde dann auch in die englische Sprache übersetzt und analog online programmiert. Die deutsche und die englische Sprachversion wurden sowohl durch einen unabhängigen Anästhesiologen, sowie durch einen englischen Muttersprachler durch Rückübersetzung geprüft. Es fanden sich in der Rückübersetzung keine sprachlichen Differenzen, die das Verständnis der einzelnen Items hätten beeinträchtigen können.

Die Online-Version des Fragebogens wurde in einem weiteren Evaluationsschritt im Sinne einer „Expertenumfrage“ von den Fach- und Oberärzten der Klinik für Anästhesiologie der Universitätsklinik Düsseldorf beantwortet. Zu Evaluationszwecken wurden hier im Anschluss an die inhaltlichen Items zusätzliche Fragen gestellt. Die

Experten konnten in Freitextfeldern angeben, ob der Fragebogen ihrer Meinung nach die Messung des Konstruktes „Beatmungsstrategie“ vollständig und umfassend zuließ. Außerdem wurden sie gefragt, ob die Vollständigkeit und Differenziertheit der konstruierten Items als erschöpfend erachtet wurde. Es wurde zusätzlich zu jedem Item die Möglichkeit gegeben einen Freitextkommentar zu hinterlassen.

Basierend auf den Antworten der „Expertenumfrage“ wurde dann eine finale Fragebogenversion mit 21 Fragen entwickelt. Mit dieser Fragebogenversion wurde eine Pilotumfrage unter den ärztlichen Mitarbeitern der Klinik für Anästhesiologie der Universitätsklinik Düsseldorf initiiert. Die Pilotumfrage ergab keinen weiteren Änderungsbedarf. Die Antworten der Pilotumfrage wurden den Ergebnissen der regionalen Umfrage hinzugefügt.

Die deutsche Version des Fragebogens ist in ihrer „Papier-Version“ in Abbildung 1 dargestellt. Diese Abbildung dient der Darstellung der Fragen und zeigt die Antwortmöglichkeiten. Das Layout und die Fragenummerierung unterschieden sich innerhalb der Online-Version von der hier dargestellten Papier-Version. Die Version für die internationale Umfrage enthielt die hier dargestellten Eingangsfragen 1. und 2. nicht, dafür allerdings die Frage nach dem Land in dem der Befragte tätig ist. Eine größere Abbildung des Fragebogens befindet sich im Anhang dieser Arbeit. Die Online-Version der regionalen Umfrage kann unter dem *Link*: <https://de.surveymonkey.com/s/HHU> aufgerufen und exemplarisch beantwortet werden. Zu diesem Umfrage-Projekt wurde außerdem eine Webseite programmiert, die unter der Adresse <https://sites.google.com/site/iventsurvey/> zu erreichen ist und die der Information der Teilnehmer diene.

**...und wie beatmen Sie?**

---

1. Bitte wählen Sie Ihre Sprache... Please choose your language...  
 English  
 Deutsch

2. Führen Sie Intubationsnarkosen mit mechanischer Beatmung bei Erwachsenen durch?  
 Ja  
 Nein

Bitte nennen Sie uns spontan Ihre typischen Ventilatoreinstellungen zur intraoperativen Beatmung von Erwachsenen bei Intubationsnarkosen in Rückenlage

3. Ich beatme vorwiegend...  
 druckkontrolliert  
 volumenkontrolliert  
 Ich nutze beide Beatmungsformen gleichermaßen

4. Initial wähle ich üblicherweise das Tidalvolumen als...  
 Relativwert in Milliliter pro Kilogramm ideales Körpergewicht  
 Absolutwert in Milliliter

5. Initial wähle ich üblicherweise ein Tidalvolumen von...  
 Milliliter pro Kilogramm ideales KG      0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0  
                                                                  1   2   3   4   5   6   7   8   9   10   11   12   13   14   15   höher  
 Absolutwert in Milliliter                            0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0  
                                                                  0- 101- 201- 301- 401- 501- 601- 701- 801- 901- höher  
                                                                  100   200   300   400   500   600   700   800   900   1000

6. Initial wähle ich üblicherweise einen PEEP von mindestens...  
                                                                  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0  
 [mbar]  $\hat{=}$  [cmH<sub>2</sub>O]                            0   1   2   3   4   5   6   7   8   9   10   11   12   13   14   15   höher

7. Während der intraoperativen Beatmung nutze ich üblicherweise folgende inspiratorische Sauerstoffkonzentration... (nicht während Ein- und Ausleitung)  
                                                                  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0  
                                                                  [% insp]   0   10   20   30   40   50   60   70   80   90   100

8. Initial wähle ich üblicherweise ein I:E (Inspirations:Expirations)-Verhältnis von...  
                                                                  0   0   0   0   0   0  
                                                                  I:E   1:1   1:2   1:3   1:mehr   2:1   3:1   mehr:1

9. Rekrutierungsmanöver führe ich durch...  
 gar nicht       bei Bedarf       grundsätzlich bei allen Patienten       grundsätzlich bei allen Patienten u. zusätzlich b. B.  
 bei Oxygenierungsstörungen       nach der Intubation       bei Oxygenierungsstörungen  
 vor der Extubation       vor der Extubation       nach der Intubation  
 nach Diskonnektion vom Respirator       nach Diskonnektion vom Respirator       vor der Extubation  
 nach endotrachealer Absaugung       nach endotrachealer Absaugung       nach Diskonnektion vom Respirator  
 in der folgenden Situation: \_\_\_\_\_       in der folgenden Situation: \_\_\_\_\_       nach endotrachealer Absaugung  
 in der folgenden Situation: \_\_\_\_\_       in der folgenden Situation: \_\_\_\_\_

10. Zur Rekrutierung wähle ich dann...  
 manuelle Blähmanöver mit Drucklimitation  
 maschinelle Atemzüge mit Drucklimitation  
 ein anderes Konzept, und zwar \_\_\_\_\_

11. Im Allgemeinen wähle ich andere, als die oben genannten, intraoperativen Ventilatoreinstellungen typischerweise bei Patienten mit Adipositas...  
 Nein       Ja       Ich betreue keine Patienten mit Adipositas

12. Bei Patienten mit Adipositas nutze ich üblicherweise folgenden Beatmungsmodus...  
 Ich ändere den Beatmungsmodus bei Adipösen nicht       Ich nutze beide Beatmungsformen gleichermaßen  
 druckkontrollierte Beatmung  
 volumenkontrollierte Beatmung

13. Bei Patienten mit Adipositas nutze ich ein Tidalvolumen von...  
 Diesen Parameter ändere ich nicht      0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0  
 Milliliter pro Kilogramm ideales Körpergewicht      1   2   3   4   5   6   7   8   9   10   11   12   13   14   15   höher

14. Bei Patienten mit Adipositas nutze ich einen PEEP von mindestens...  
 Diesen Parameter ändere ich nicht      0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0  
 [mbar]  $\hat{=}$  [cmH<sub>2</sub>O]                            0   1   2   3   4   5   6   7   8   9   10   11   12   13   14   15   höher

15. Bei Patienten mit Adipositas nutze ich eine inspiratorische Sauerstoffkonzentration von... (nicht während Ein- und Ausleitung)  
 Diesen Parameter ändere ich nicht      0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0  
                                                                  [% insp]   0   10   20   30   40   50   60   70   80   90   100

16. Bei Patienten mit Adipositas nutze ich ein anderes Konzept \_\_\_\_\_

17. Folgendes möchte ich noch anmerken/hinzufügen \_\_\_\_\_

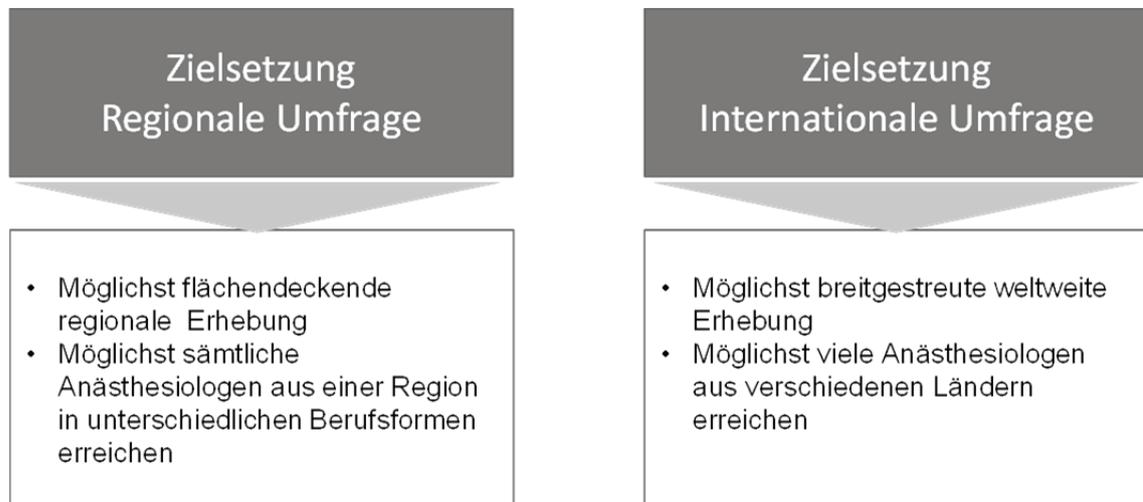
Ich bin... <input type="radio"/> weiblich <input type="radio"/> männlich	Ich arbeite in einer... <input type="radio"/> Klinik der Maximalversorgung/Uni-Klinik <input type="radio"/> Klinik der Schwerpunktversorgung <input type="radio"/> Klinik der Regelversorgung <input type="radio"/> Praxis	Ich arbeite als... <input type="radio"/> Assistenzarzt/-ärztin <input type="radio"/> Facharzt/-ärztin <input type="radio"/> Oberarzt/-ärztin <input type="radio"/> Chefarzt/-ärztin	Meine ärztliche Berufserfahrung beträgt _____ Jahre	<input type="radio"/> 0-5 <input type="radio"/> 6-10 <input type="radio"/> 11-20 <input type="radio"/> 21-30 <input type="radio"/> >30
--------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Abb. 1: Darstellung des Fragebogens in seiner „Papier-Version“

Die Umfrage-Version für die internationale Umfrage enthielt Frage 1. und 2. nicht, dafür zusätzlich die Frage nach dem Land der Berufsausübung. PEEP: Positiv-endexpiratorischer Druck, cmH<sub>2</sub>O: Zentimeter Wassersäule (eine größere Darstellung des Fragebogens findet sich im Anhang; vgl. S. 57 f.)

## 2.2 Durchführung der Umfrage

Die Umfrage wurde mit zwei unterschiedlichen Zielansätzen durchgeführt, die in Abbildung 2 dargestellt sind.



**Abb. 2: Gegenüberstellung der Zielsetzungen**

### Adressatenakquise regional:

Um möglichst sämtliche regionalen Anästhesiologen in unterschiedlichen Berufsformen, insbesondere auch Niedergelassene, zu erfassen, wurde eine systematische, webbasierte Suche nach den E-Mail-Adressen von Anästhesiologen im Bundesland Nordrhein-Westfalen durchgeführt.

Mit Hilfe der NRW-Landkarte unter „<http://www.tim-online.nrw.de>“ [51] im Maßstab 1:500.000 wurden sämtliche Städte und Orte Nordrhein-Westfalens in die Suchmaske der Internetseite „<http://www.kliniken.de>“ [52] eingegeben. Die Internetseiten der einzelnen Krankenhäuser und Kliniken wurden aufgesucht und die frei verfügbaren E-Mail-Adressen der Anästhesiologen systematisch aufgenommen.

Die niedergelassenen und freiberuflichen Anästhesiologen wurden über das Online-Branchenbuch „<http://www.gelbeseiten.de/>“ [53] und unter Zuhilfenahme oben genannter Landkarte ermittelt. Dazu wurden wieder systematisch die Städte und Orte Nordrhein-Westfalens in die Suchmaske eingegeben und nach dem Stichwort „Ärzte: Anästhesiologie“ gesucht. Es wurde bei jeder eingegebenen Stadt und jedem eingegebenen Ort eine Umkreissuche durchgeführt. Dies stellte sicher, dass auch Anästhesiologen in ländlichen Gebieten in den Verteiler aufgenommen wurden.

Außerdem wurden die frei zugänglichen E-Mail-Adressen des „Anästhesienetzwerkes NRW“ [54] zum Adressen-Verteiler hinzugefügt.

**Distribution regional:**

In einem ersten Schritt erhielten sämtliche Adressaten eine Einladungs-E-Mail mit dem Link zur regionalen Umfrage auf der *SurveyMonkey*® Webseite. In einem zweiten Schritt wurde die regionale Umfrage um die Universitätskliniken Deutschlands erweitert. Nach zwei Wochen, drei Wochen und dann nach weiteren vier und sieben Wochen wurden sämtliche Adressaten per E-Mail freundlich an die Teilnahme erinnert.

**Adressatenakquise international:**

Die internationale Umfrage wurde in Zusammenarbeit mit *PROVENet PROtective VENTilation-Network* [55] realisiert. *PROVENet* ist ein Zusammenschluss von Medizinern, deren gemeinsames Forschungsinteresse die Verbesserung der Sicherheit von mechanischer Beatmung ist. Das Netzwerk initiiert und unterstützt Studien zu diesem Forschungsthema. Die große prospektive Kohorten-Studie *LAS VEGAS (Local ASsessment of VEntilatory management during General Anesthesia for Surgery)* untersucht beispielsweise den Zusammenhang zwischen der intraoperativen Beatmungsstrategie und der Entwicklung postoperativer pulmonaler Komplikationen. *PROVENet* stellte uns die 165 E-Mail-Adressen der Studienleiter (*Principal Investigator*) und, wenn vorhanden, eines weiteren Untersuchers (*Second Investigator*) der Zentren zur Verfügung, die sich an der *LAS VEGAS*-Studie beteiligt hatten. Dieser Teil der Umfrage wurde außerdem von einem *Steering Committee* betreut, das sich aus den folgenden Mitgliedern des *PROVENet* Netzwerkes zusammensetzte: Sabine N.T. Hemmes, MD; Marcus J. Schultz, MD, PhD; Paolo Pelosi, MD, PhD und Marcelo Gama de Abreu, MD, PhD.

Außerdem wurde die Umfrage an die 112 Mitglieder des *Outcomes Research Consortium* versendet. Diese Organisation fördert die internationale wissenschaftliche Zusammenarbeit und den Austausch zwischen Anästhesiologen im klinischen Forschungsbereich. Die E-Mail-Adressen der Mitglieder sind auf der Internetseite der Organisation frei verfügbar [56].

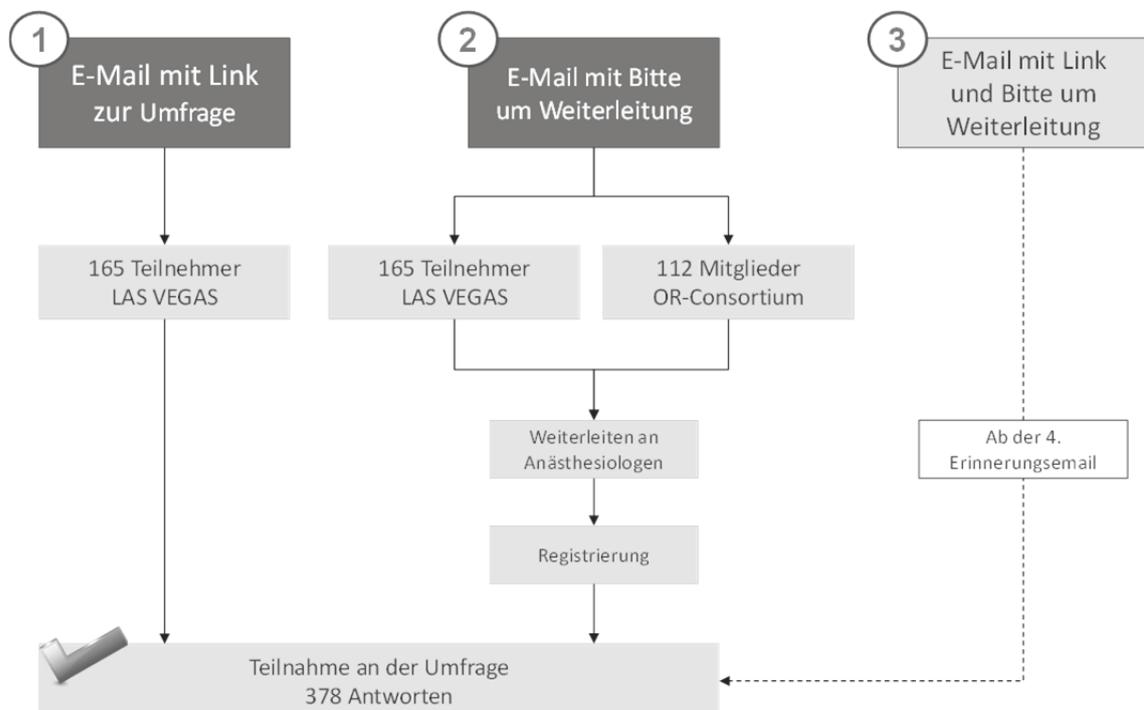
**Distribution international:**

Abbildung 3 verdeutlicht den Ablauf der Distribution der internationalen Umfrage.

Es wurden 165 Teilnehmer der *LAS VEGAS*-Studie angeschrieben und erhielten in dieser Einladungs-E-Mail den Link zur internationalen Umfrage bei *SurveyMonkey*®. Des Weiteren erhielten dieselben Adressaten eine Registrierungs-E-Mail, mit der Bitte diese an andere Anästhesiologen weiterzuleiten. Wenn seitens des Empfängers dieser E-Mail Interesse an der Teilnahme bestand, konnte er, nach vorheriger Registrierung bei uns, den Link zu einem weiteren separaten Umfragecollector bei *SurveyMonkey*®

mit der wortgleichen Umfrage erhalten. So konnte sichergestellt werden, dass die Daten der namentlich angeschriebenen Anästhesiologen separat von denen gesammelt wurden, die durch Weiterleitung und Registrierung dazugewonnen wurden. Ziel dieser Trennung war es, die Rücklaufquote erheben zu können. Eine Einladung zur Registrierung erhielten außerdem 112 Mitglieder des *Outcomes Research Consortium* auch hier verbunden mit der Bitte um Weiterverteilung an weitere Anästhesiologen.

Vier, fünf, sechs, zehn und dreizehn Wochen nach der initialen Einladung wurden sämtliche Adressaten per E-Mail an die Studienteilnahme erinnert. In den ersten drei Erinnerungs-E-Mails wurde jeweils um die Teilnahme, sowie um die Weiterverteilung an bekannte Anästhesiologen und deren Registrierung gebeten. Um die Rücklaufquote zu erhöhen, entschied das *Steering Committee* in der vierten und fünften Erinnerungs-E-Mail direkt um die Weiterleitung des Links an andere Anästhesiologen zu bitten und so den Anreiz zur Teilnahme durch einen vereinfachten Zugang zu erhöhen. Der Registrierungsschritt fiel nun weg. Die direkte Verteilung des Links zur Umfrage erschien dem *Steering Committee* ab diesem Zeitpunkt als angebracht, da nach Sichtung der bisher eingegangenen Antworten kein Grund zur Annahme bestand, dass der Link missbräuchlich verwendet würde.



**Abb. 3: Distribution der internationalen Umfrage**

LAS VEGAS: *Local Assessment of Ventilatory Management during General Anesthesia for Surgery*, OR: *Outcomes Research Consortium*

### 2.3 Methodik der Auswertung

Die statistische Analyse im Rahmen dieser Arbeit wurde mit *IBM SPSS Statistics Version 22* für *Microsoft Windows* durchgeführt. Sämtliche Datensätze wurden nach dem offiziellen Schluss der Umfrage überprüft. Von der Analyse ausgeschlossen wurden Datensätze mit unseriösen Antworten, der Angabe, dass keine Intubationsnarkosen mit mechanischer Beatmung durchgeführt würden, Testeinträge und solche, in denen so wenige Fragen beantwortet waren, dass das Beatmungskonzept nicht erkennbar wurde.

Metrisch skalierte Daten wurden mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung getestet. Da es sich bei den meisten Daten dieser Arbeit um nicht-normalverteilte Daten handelt, werden zur Beschreibung der Median und die *Interquartile Range* (IQR) angegeben. Die kategorialen Variablen wurden mittels des  $\chi^2$ -Tests nach Pearson auf Unabhängigkeit getestet. Waren die Voraussetzungen für den  $\chi^2$ -Test nicht gegeben, so wurde Fishers-Exakter-Test verwendet. Bei den metrischen Variablen wurde für die Unabhängigkeits-Testung der Mann-Whitney-U-Test verwendet. Die Ergebnisse dieser Tests wurden als signifikant erachtet, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit  $p < 0,05$  betrug.

Die im Rahmen dieser Arbeit angegebenen relativen Häufigkeiten zu einem Item beziehen sich immer auf die tatsächliche Anzahl an Personen, die diese jeweilige Frage beantwortet haben, andernfalls wird die Bezugsgröße explizit genannt. Alle Prozentangaben wurden auf ganze Zahlen gerundet und addieren sich daher in Einzelauswahlfragen nicht immer auf genau 100%.

Da der Fragebogen Items enthielt, bei denen eine Mehrfachauswahl zugelassen war addieren sich die relativen Häufigkeiten zu diesen Items in Tabellen oder Abbildungen auf über 100%.

In den grafischen Darstellungen der Daten wurden Kategorien, die in der Beantwortung niemals gewählt wurden dann dargestellt, wenn sie sich innerhalb der Spannweite der Antworten befanden. Randkategorien, die nicht gewählt wurden, werden in Abbildungen nicht dargestellt.

### 2.4 Definitionen verschiedener Auswertungskriterien

Als „niedriges“ Tidalvolumen wurde ein Wert  $\leq 8$  ml/kg PBW definiert. Ausgehend von einem durchschnittlich großen Patienten mit einem Idealgewicht von 70 kg ergibt sich daraus, dass ein absoluter Tidalvolumen-Wert bis 500 ml als „niedrig“ gilt. Wurden bei der Auswertung der Ergebnisse zu einzelnen Fragestellungen niedrigere Grenzwerte als 8 ml/kg PBW angelegt, so wird dies im Weiteren explizit erwähnt.

Als *Cut-offs* für die Verwendung von keinem oder geringem versus hohem PEEP wurden PEEP-Werte  $\leq 3$  cmH<sub>2</sub>O und PEEP-Werte  $\geq 8$  cmH<sub>2</sub>O gewählt.

Für die Exploration „lungenprotektiver Beatmungsstrategien“ wurden vier verschiedene Definitionen untersucht:

1. Tidalvolumen  $\leq 8$  ml/kg PBW, PEEP  $> 0$ , plus Durchführung von Rekrutierungsmanövern „grundsätzlich bei allen Patienten“ und „grundsätzlich bei allen Patienten und zusätzlich bei Bedarf“.
2. Tidalvolumen  $\leq 8$  ml/kg PBW, PEEP  $\geq 5$  cmH<sub>2</sub>O plus Durchführung von Rekrutierungsmanövern „grundsätzlich bei allen Patienten“ und „grundsätzlich bei allen Patienten und zusätzlich bei Bedarf“.
3. Tidalvolumen  $\leq 6$  ml/kg PBW, PEEP  $> 3$  cmH<sub>2</sub>O plus Durchführung von Rekrutierungsmanövern „grundsätzlich bei allen Patienten“ und „grundsätzlich bei allen Patienten und zusätzlich bei Bedarf“.
4. Tidalvolumen  $\leq 8$  ml/kg PBW, PEEP  $\geq 5$  cmH<sub>2</sub>O ohne Berücksichtigung der Durchführung von Rekrutierungsmanövern.

Die Befragten wurden je nach der Wahl ihres bevorzugten Tidalvolumens in zwei Gruppen unterteilt und die Charakteristika dieser beiden Gruppen verglichen. Die „Hoch-Volumen-Gruppe“ umfasste die Anästhesiologen, die ein Tidalvolumen  $\geq 9$  ml/kg PBW, bzw.  $\geq 501$  ml wählten. Die „Niedrig-Volumen-Gruppe“ diejenigen, die ein Tidalvolumen  $\leq 8$  ml/kg PBW, bzw.  $\leq 500$  ml wählen.

Für den Vergleich der Beatmungskonzepte zwischen dem universitären und dem nicht-universitären Setting wurden die Datensätze derer, die eine Universitätsklinik als Ort ihrer Tätigkeit angaben, mit denen verglichen, die eine Klinik der Schwerpunkt- oder Regelversorgung oder Praxis angaben. Da sich die Einteilung der Kliniken im In- und Ausland unterscheidet, wurden die Ergebnisse der regionalen Umfrage bei der Auswertung an die angelsächsische Einteilung der primären, sekundären und tertiären Versorgungszentren angepasst. Dafür wurden die deutsche Regel- und Schwerpunktversorgung zusammengefasst und zur *Secondary-care* gezählt, ambulante Praxen zur *Primary-care* und die universitären Zentren zur *Tertiary-care*. Personen, die hier mehrere Angaben machten wurden in die nächst „höhere“ Kategorie eingestuft.

Für den Vergleich der Beatmungskonzepte zwischen berufserfahrenen und weniger berufserfahrenen Anästhesiologen wurden alle Teilnehmenden mit Berufserfahrung zwischen 0 und 10 Jahren, denen mit über 21 Jahren Berufserfahrung gegenüber gestellt.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Quantifizierung

In der Zeit von August bis Dezember 2013 gingen 983 Antworten aus beiden Umfragen ein (siehe Abbildung 4). Die 69 Antworten der Pilotumfrage wurden der regionalen Umfrage hinzugefügt, so dass insgesamt 1052 Antworten zur Verfügung standen. Durch die Art der Distribution der Umfragen, mit dem Ziel eine möglichst große Teilnehmerzahl zu generieren, ist die Angabe einer Rücklaufquote für die gesamte Umfrage nicht möglich. Bezieht man die Berechnung der Rücklaufquote allerdings nur auf die von uns initial direkt angeschriebenen Anästhesiologen, so beträgt sie für dieses Kollektiv 61% vor Anwendung der Ausschlusskriterien.

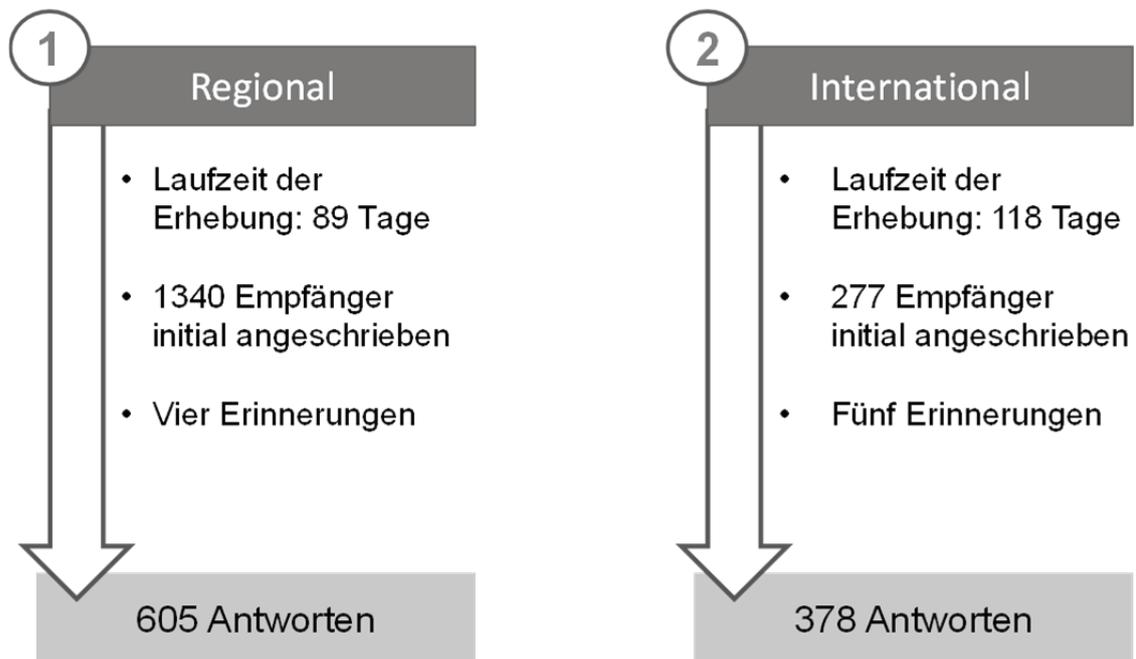
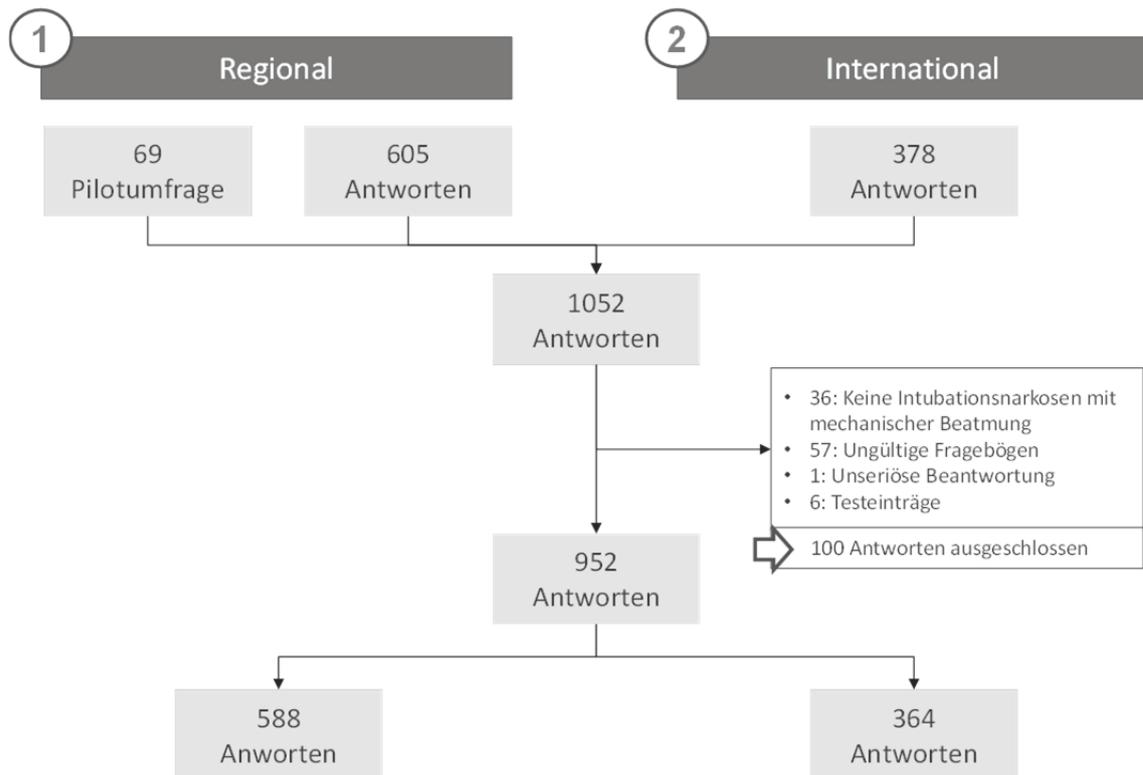


Abb. 4: Ablauf der regionalen und internationalen Umfrage

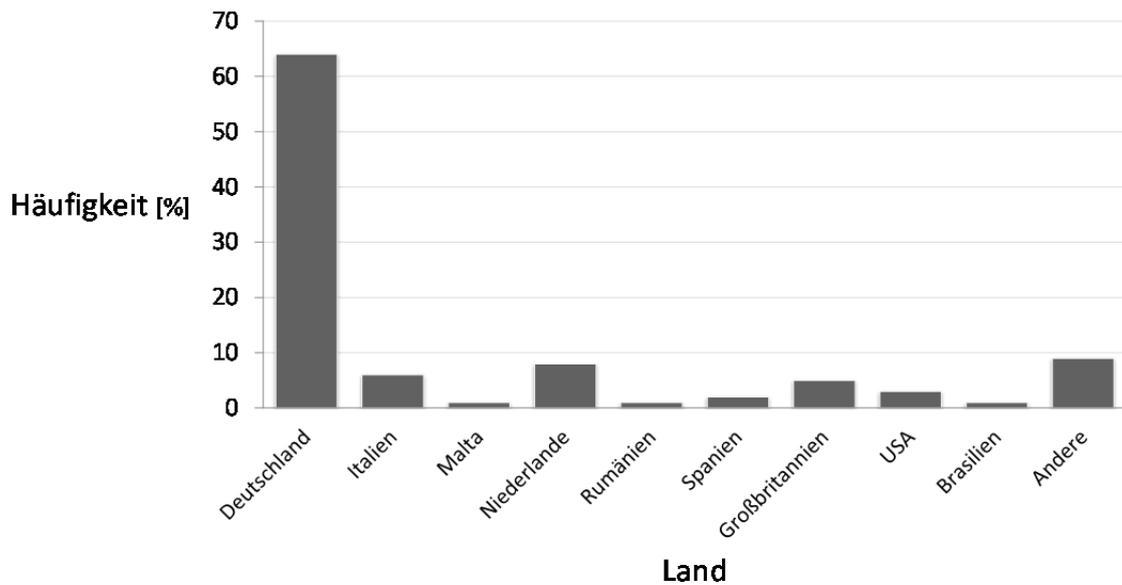
Nicht alle Datensätze gingen in die Analyse ein. Abbildung 5 quantifiziert die Zusammensetzung der Antworten vor und nach Anwendung der Ausschlusskriterien.



**Abb. 5: Zusammensetzung der Antworten und Ausschlusskriterien**

In den "ungültigen" Fragebögen wurden so wenige Fragen beantwortet, dass das Beatmungskonzept nicht erkennbar war

Wir erhielten Antworten aus 38 Ländern von allen Kontinenten. Der Großteil der Antworten stammt aus Europa (92%), 4% aus Nordamerika, jeweils 1% aus Australien und Afrika, 0,5% aus Asien und 1,5% aus Südamerika. Insgesamt stammen die Antworten aus 38 verschiedenen Ländern. Die Verteilung der Länder ist in Abbildung 6 dargestellt. Die Teilnehmer der Umfrage werden in Tabelle 1 anhand ihrer demographischen Angaben charakterisiert. Die Mehrzahl der Antworten stammt von Anästhesiologen, die an Universitätskliniken tätig sind und von männlichen Befragten. Die Zugehörigkeit zur Hierarchieebene und die Jahre an professioneller Berufserfahrung sind gleichmäßig verteilt. Einen Überblick über die Antworten zur Beatmungsstrategie gibt Tabelle 2.



**Abb. 6: Herkunft der Antworten**

Aufgetragen wurden die Länder, aus denen über 1% der Antworten stammte, 29 Länder mit unter 1% der Antworten wurden unter "Andere" zusammengefasst

Variable	Ausprägung	Anzahl n=927
<b>Ort der Tätigkeit</b>		
	Universitätsklinik	604 (65%)
	Schwerpunkt-und Regelversorgung	274 (30%)
	Praxis	49 (5%)
<b>Geschlecht</b>		
	Männlich	616 (67%)
	Weiblich	311 (34%)
<b>Hierarchieebene</b>		
	Assistenzarzt	265 (29%)
	Facharzt	333 (36%)
	Oberarzt	211 (23%)
	Chefarzt	118 (13%)
<b>Berufserfahrung</b>		
	0-5 Jahre	261 (28%)
	6-10 Jahre	166 (18%)
	11-20 Jahre	245 (26%)
	21-30 Jahre	197 (21%)
	>30 Jahre	58 (6%)

**Tabelle 1: Darstellung der demographischen Angaben aller Befragten**

Variable	Antwortoption	Anzahl	Median (IQR)	Minimum	Maximum
Relatives Tidalvolumen	ml/kg PBW	n (gesamt)=759	7 (2)	4	12
	Niedrigere Werte wurden nicht gewählt				
	4	4 (1%)			
	5	18 (2%)			
	6	315 (42%)			
	7	209 (28%)			
	8	193 (25%)			
	9	2 (0,3%)			
	10	17 (2%)			
	11	0			
	12	1 (0,1%)			
	Höhere Werte wurden nicht gewählt				
Absolutes Tidalvolumen	ml	n (gesamt)=193			
	0-100	1 (1%)			
	101-200	0			
	201-300	0			
	301-400	14 (7%)			
	401-500	101 (52%)			
	501-600	67 (35%)			
	601-700	7 (4%)			
	701-800	2 (1%)			
	801-900	1 (1%)			
	Höhere Werte wurden nicht gewählt				
PEEP	cmH <sub>2</sub> O	n (gesamt)=952	5 (0)	0	12
	0	58 (6%)			
	1	2 (0,2%)			
	2	8 (1%)			
	3	33 (3,5%)			
	4	67 (7%)			
	5	676 (71%)			
	6	42 (4%)			
	7	29 (3%)			
	8	26 (3%)			
	9	0			
	10	9 (1%)			
	11	0			
	12	2 (0,2%)			
	Höhere Werte wurden nicht gewählt				
FiO <sub>2</sub>	%	n (gesamt)=950	40 (10)	20	100
	20	3 (0,3%)			
	30	171 (18%)			
	40	366 (39%)			
	50	242 (26%)			
	60	76 (8%)			
	70	44 (5%)			
	80	33 (4%)			
	90	0			
	100	15 (2%)			
I:E		n (gesamt)=949			
	1:1	165 (17%)			
	1:2	725 (76%)			
	1:3	23 (2%)			
	1:mehr	30 (3%)			
	2:1	6 (1%)			
	Andere Werte wurden nicht gewählt				
Beatmungsmodus		n (gesamt)=952			
	Druckkontrolliert	366 (38%)			
	Volumenkontrolliert	327 (34%)			
	Beide Modi gleichermaßen	259 (27%)			

**Tabelle 2: Darstellung der Beatmungseinstellungen aller Befragten**

IQR: *Interquartile Range*, PBW: *Predicted Body Weight*, PEEP: Positiv-endexpiratorischer Druck, cmH<sub>2</sub>O: Zentimeter Wassersäule, I:E: Inspiration:Expiration, FiO<sub>2</sub>: Inspiratorische Sauerstoff-Fraktion

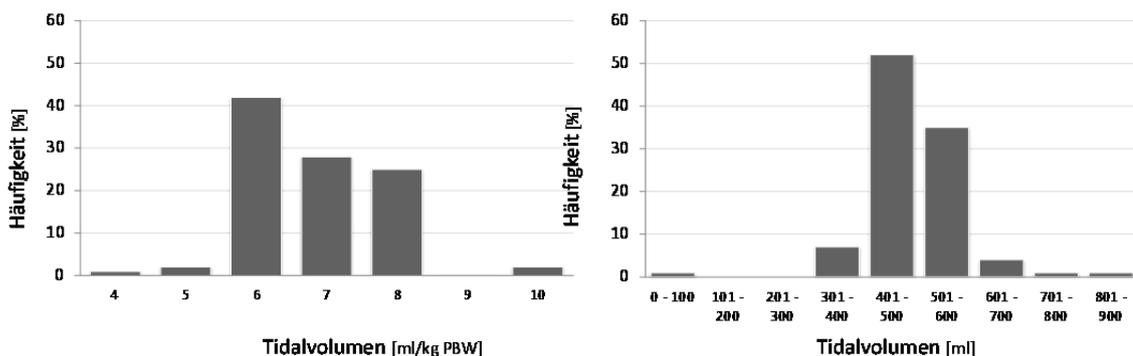
## 3.2 Spezifische Fragen

### 3.2.1 Welche Tidalvolumina werden angewendet?

Die Mehrheit von 80% der Anästhesiologen gab das von ihnen verwendete Tidalvolumen als Relativwert in ml/kg PBW an, dessen Median bei 7 ml/kg PBW (IQR: 2) liegt. Abbildung 7 zeigt, dass 75% aller Studienteilnehmer ein relatives Tidalvolumen zwischen 6 und 8 ml/kg PBW angaben. Tidalvolumina  $\geq 10$  ml/kg PBW nutzten 2% aller Befragten.

Die übrigen 20% aller Befragten wählten einen Absolutwert in Milliliter für die Angabe ihres routinemäßig eingesetzten Tidalvolumens. Unter der Annahme eines durchschnittlichen Idealgewichtes von 70 kg ergibt sich hieraus, dass 60% der Befragten ein Tidalvolumen von höchstens 7,1 ml/kg PBW wählten (siehe Abbildung 7).

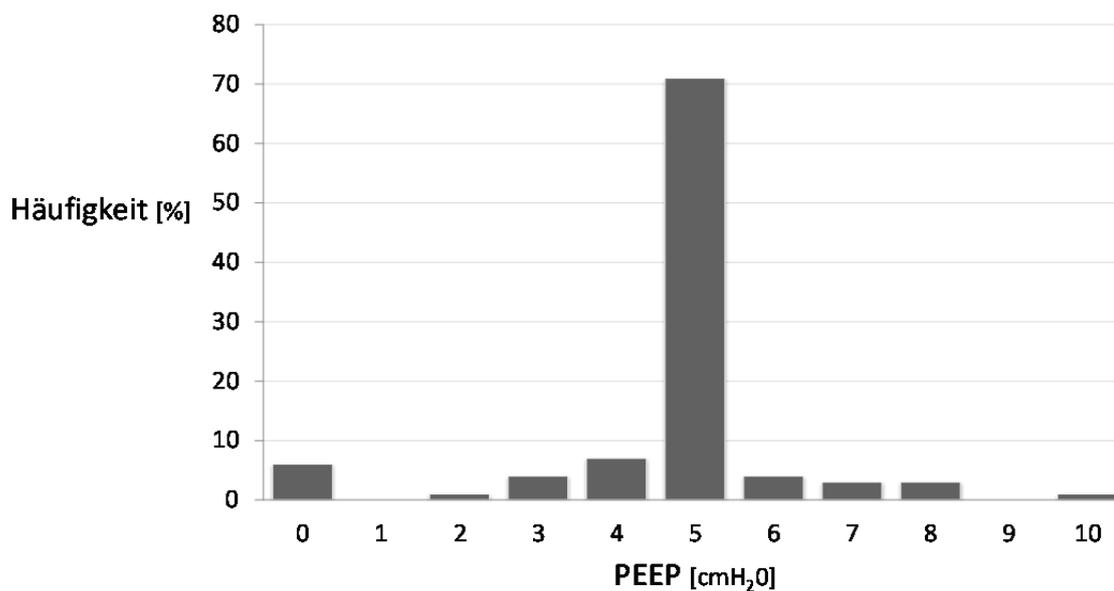
Zusammenfassend ergibt sich, dass 90% aller befragten Anästhesiologen angeben mit niedrigen Tidalvolumina von  $\leq 8$  ml/kg PBW zu beatmen und damit niedrige Tidalvolumina routinemäßig angewendet werden.



**Abb. 7: Verteilung des relativen und absoluten Tidalvolumens**  
PBW: Predicted Body Weight

### 3.2.2 Wird PEEP eingesetzt und wie hoch?

Von allen Befragten verwendeten 6% keinen PEEP bei der intraoperativen Beatmung (siehe Abbildung 8). PEEP-Werte  $\leq 3$  cmH<sub>2</sub>O wählten 11% aller Befragten. Einen PEEP  $\geq 8$  cmH<sub>2</sub>O wählten 4% der Befragten. Typischerweise erfolgt jedoch die intraoperative Beatmung nach Angabe der Befragten mit einem PEEP von 5 cmH<sub>2</sub>O.

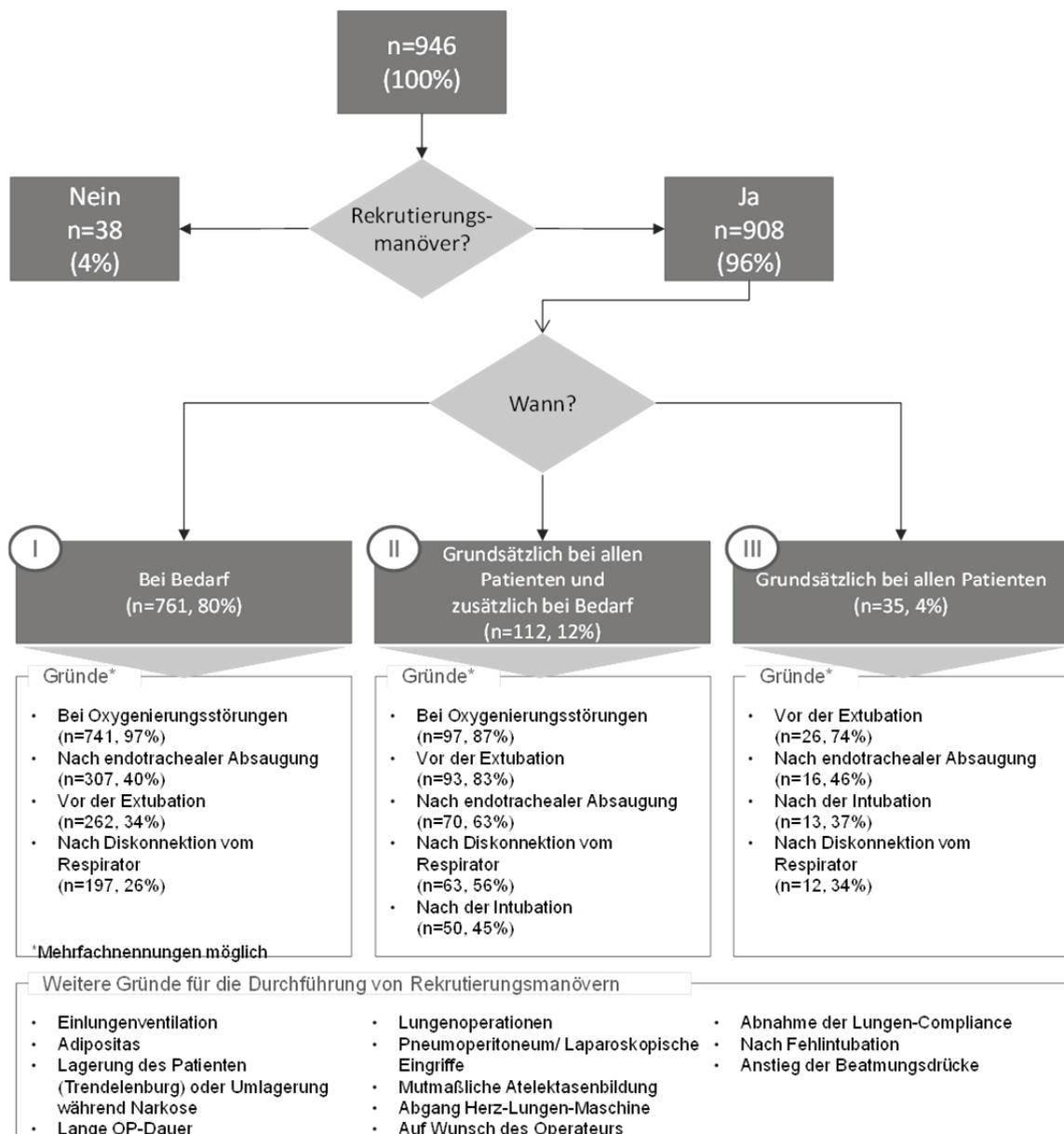


**Abb. 8: Verteilung der PEEP-Werte**

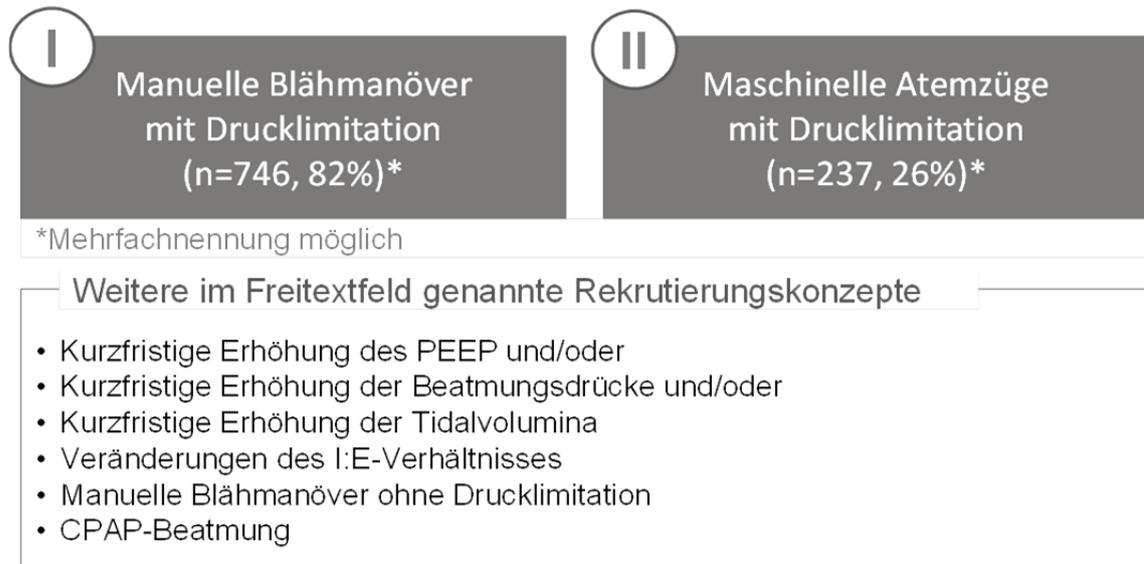
PEEP: Positiv-endexpiratorischer Druck, cmH<sub>2</sub>O: Zentimeter Wassersäule

### 3.2.3 Erfolgen Rekrutierungsmanöver?

Ein Großteil der Befragten, 96%, gab an, Rekrutierungsmanöver durchzuführen, die wiederum mehrheitlich bei Bedarf eingesetzt werden (siehe Abbildung 9). Die praktische Durchführung erfolgt überwiegend als manuelles Blähmanöver. Weitere Details zur praktischen Durchführung von Rekrutierungsmanövern nach Angaben der Befragten zeigt Abbildung 10. Zusammenfassend ergibt sich, dass Rekrutierungsmanöver häufig bei Bedarf, typischerweise bei Oxygenierungsstörungen, eingesetzt und in Form von manuellen Blähmanövern durchgeführt werden.



**Abb. 9: Rekrutierungsmanöver**  
Verteilung der Antworten und Gründe für die Anwendung

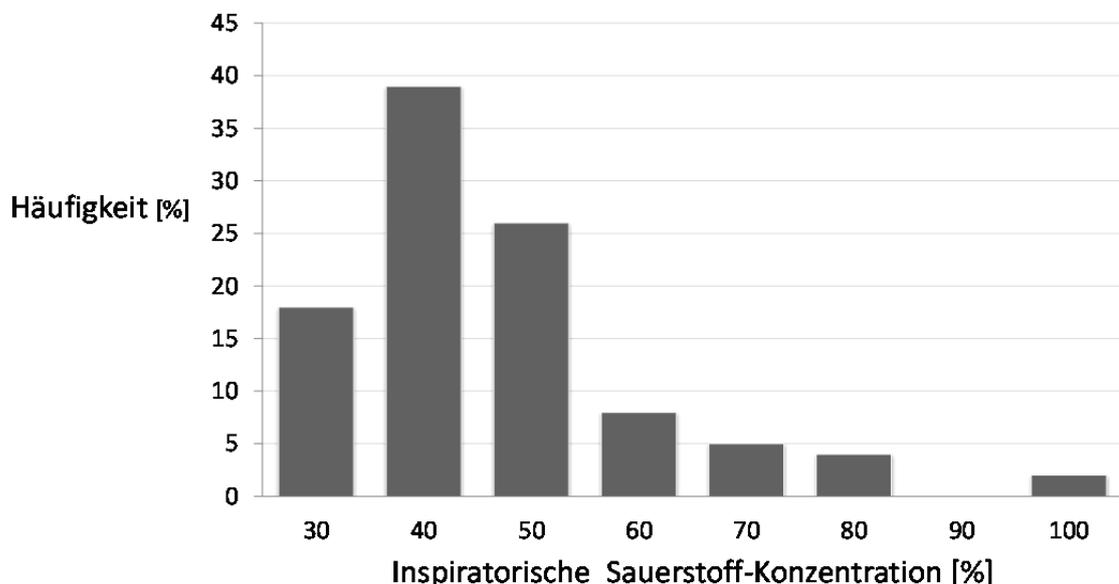


**Abb. 10: Art der praktischen Durchführung von Rekrutierungsmanövern**

PEEP: Positiv-endexpiratorischer Druck, I:E: Inspiration:Expiration, CPAP: *Continuous Positive Airway Pressure*

### 3.2.4 Welche inspiratorische Sauerstoff-Konzentration wird angewendet?

Der Großteil, 83%, der befragten Anästhesiologen wählte eine inspiratorische Sauerstoff-Konzentration von 30%, 40% oder 50%, Median 40% (IQR:10), (siehe Abbildung 11). Eine Sauerstoff-Konzentration von 40% darf damit als üblich gelten.



**Abb. 11: Verteilung der inspiratorischen Sauerstoff-Konzentration**

Den Wert 20% wählten 0,3% der Befragten, diese Kategorie wurde hier nicht aufgetragen.

### **3.2.5 Werden bei adipösen Patienten die Beatmungseinstellungen verändert?**

Von den befragten Anästhesiologen gaben 68% an, dass sie ihre Beatmungseinstellungen bei der Ventilation adipöser Patienten verändern. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf diesen Anteil der Befragten (siehe Abbildung 12).

#### **Änderungen des Tidalvolumens**

Obwohl Veränderungen des Tidalvolumens von 75% der Befragten bejaht wurden, ergab ein Vergleich der Antworten innerhalb der Datensätze, dass tatsächlich nur 23% das Tidalvolumen unterschiedlich einsetzen. Ein höheres Tidalvolumen als zur Beatmung Normalgewichtiger wählten 15% der Befragten und erhöhten es um 1 bis 3 ml/kg PBW. Ein um 1 bis 3 ml/kg PBW niedrigeres Tidalvolumen wählten 7% der Befragten.

#### **Änderungen des PEEP**

Anpassungen des PEEP-Wertes bei der Beatmung adipöser Patienten nahmen 89% der Befragten vor. Fast alle (88,6%) von ihnen erhöhten den PEEP. Die Erhöhungen lagen im Bereich zwischen 1 und 12 cmH<sub>2</sub>O. Eine Erhöhung um 2,3 oder 5 cmH<sub>2</sub>O wurde am häufigsten (87%) vorgenommen. Nur zwei Befragte wählten niedrigere PEEP-Werte als zur Beatmung Normalgewichtiger.

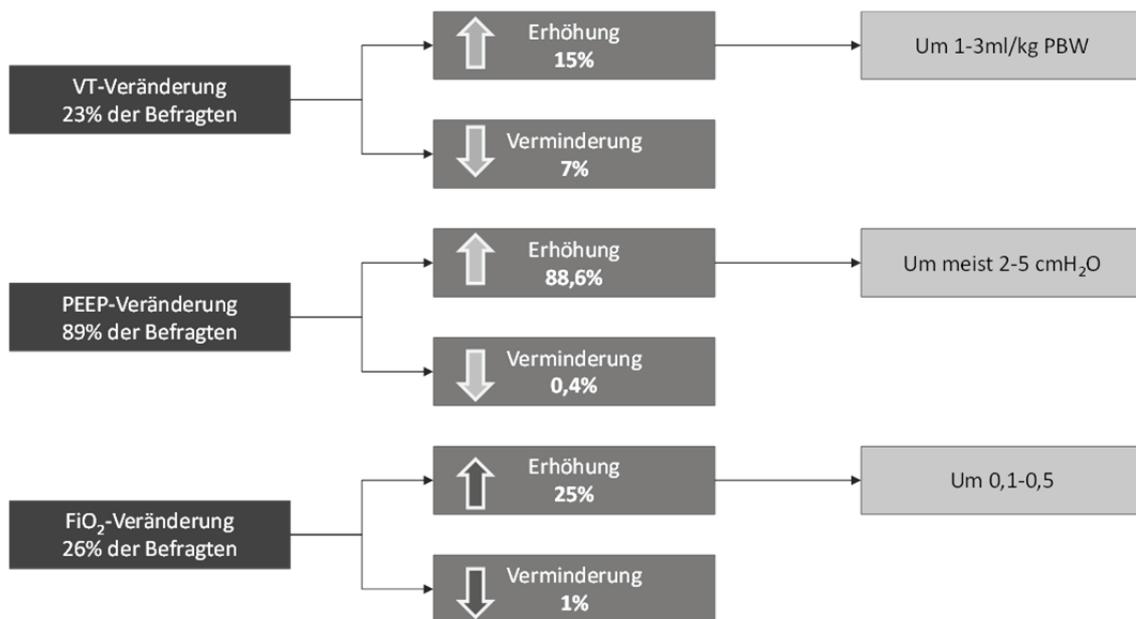
#### **Änderungen der FiO<sub>2</sub>**

Eine Änderung der inspiratorischen Sauerstoff-Fraktion nahmen 26% der Anästhesiologen vor. Von ihnen erhöhten 25% die Sauerstoffkonzentration bei der Ventilation Adipöser. Der Bereich der Erhöhung der inspiratorischen Sauerstoff-Fraktion lag dabei zwischen 0,1 bis 0,5. Die meisten Anästhesiologen (21%) wählten allerdings eine Erhöhung der FiO<sub>2</sub> um 0,1. Einen niedrigeren Wert als bei Normalgewichtigen wählte 1% der Befragten.

#### **Änderungen des Beatmungsmodus**

Die Hälfte der befragten Anästhesiologen wählte für die Beatmung Adipöser einen druckkontrollierten Beatmungsmodus, welcher für die Ventilation Normalgewichtiger von etwa einem Drittel der Befragten gewählt wurde.

Zusammenfassend werden adipöse Patienten also im Vergleich zu normalgewichtigen Patienten üblicherweise mit höheren PEEP-Werten, seltener auch mit höheren Tidalvolumina und höherer inspiratorischer Sauerstoff-Fraktion und außerdem häufiger druckkontrolliert beatmet. Tabelle 3 stellt die Beatmungseinstellung für adipöse denen für normalgewichtige Patienten gegenüber.



**Abb. 12: Änderungen der Beatmungseinstellungen bei Adipösen**

VT: Tidalvolumen, PBW: *Predicted Body Weight*, PEEP: Positiv-endexpiratorischer Druck, cmH<sub>2</sub>O: Zentimeter Wassersäule, FiO<sub>2</sub>: Inspiratorische Sauerstoff-Fraktion

Variable (Einheit)	Ausprägung	Beatmung adipöser Patienten	Beatmung normalgewichtiger Patienten
		637	952
		<b>n= (%)</b>	<b>n= (%)</b>
Tidalvolumen (ml/kg PBW)	<b>Median (IQR):</b>		7 (2)
	Diesen Parameter ändere ich nicht	159 (25%)	0
	4	4 (1%)	4 (1%)
	5	13 (2%)	18 (2%)
	6	182 (29%)	315 (42%)
	7	116 (18%)	209 (28%)
	8	121 (19%)	193 (25%)
	9	12 (2%)	2 (0,3%)
	10	24 (4%)	17 (2%)
	12	0	1 (0,1%)
	>15	1 (0,2%)	0
PEEP (cmH <sub>2</sub> O)	<b>Median (IQR):</b>		5 (0)
	Diesen Parameter ändere ich nicht	14 (2%)	0
	0	1 (0,2%)	58 (6%)
	<5	15 (3%)	110 (12%)
	5	76 (12%)	676 (71%)
	>5	526 (83%)	108 (11%)
FiO <sub>2</sub> (%)	<b>Median (IQR):</b>		40 (10)
	Diesen Parameter ändere ich nicht	123 (20%)	0
	<30	0	3 (0,3%)
	30	48 (8%)	171 (18%)
	40	174 (28%)	366 (39%)
	50	176 (28%)	242 (26%)
	>50	236 (37%)	168 (18%)
<b>Beatmungsmodus</b>			
	Diesen Parameter ändere ich nicht	52 (8%)	0
	druckkontrolliert	314 (50%)	366 (38%)
	volumenkontrolliert	100 (16%)	327 (34%)
	Beide Modi gleichermaßen	165 (26%)	259 (27%)

**Tabelle 3: Beatmungseinstellungen für Adipöse und Normalgewichtige**

Es wurden nur die Kategorien angegeben, die mindestens einmal gewählt wurden. PBW: *Predicted Body Weight*, IQR: *Interquartile Range*, PEEP: Positiv-endexpiratorischer Druck, cmH<sub>2</sub>O: Zentimeter Wassersäule, FiO<sub>2</sub>: Inspiratorische Sauerstoff-Fraktion

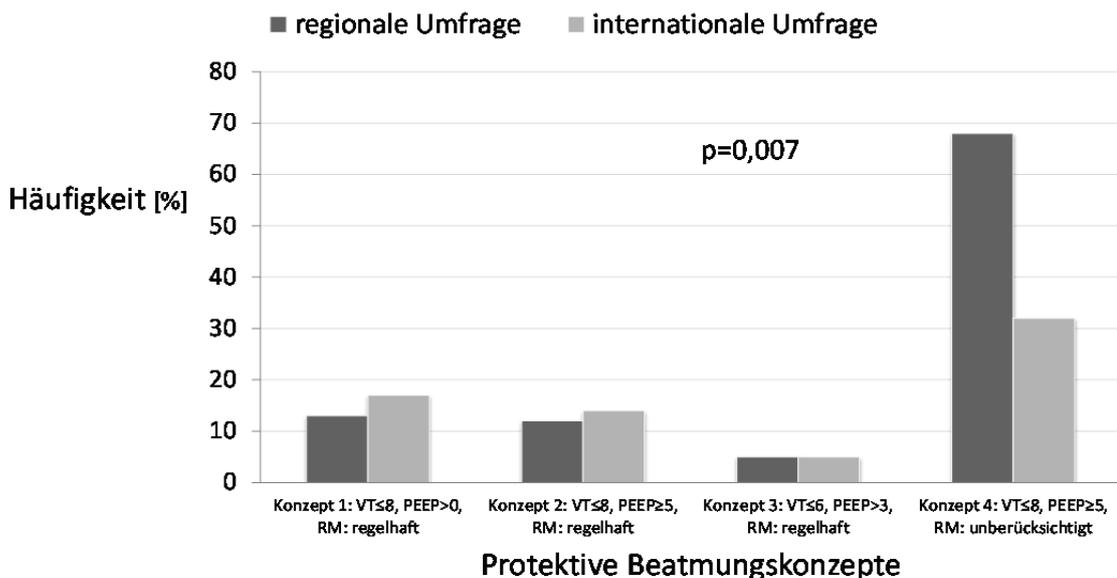
### 3.2.6 Wird „lungenprotektiv“ beatmet?

Die als lungenprotektiv geltende Kombination von niedrigem Tidalvolumen mit einem PEEP und dem regelhaften Einsatz von Rekrutierungsmanövern haben wir in vier verschiedenen Ansätzen (Konzept 1 bis 4) betrachtet (Tabelle 4). Je nach Konzeptdefinition verwenden zwischen 5% und 75 % der Befragten lungenprotektive Beatmungsregimes. Abbildung 13 stellt die Verteilung im regionalen und internationalen Vergleich dar. Je nach Definition von lungenprotektiver Beatmung wird also ein sehr kleiner Teil, oder, bei unberücksichtigten Rekrutierungsmanövern, der Großteil der Patienten „lungenprotektiv“ beatmet.

Konzept	VT (ml/kg PBW)	PEEP (cmH <sub>2</sub> O)	Einsatz von RM	Häufigkeit	VT Median (IQR)	PEEP Median (IQR)	FiO <sub>2</sub> Median (IQR)
1	≤8	>0	regelhaft	136 (14%)	7 (2)	5 (0)	40 (10)
2	≤8	≥5	regelhaft	120 (13%)	7 (2)	5 (1)	40 (10)
3	≤6	>3	regelhaft	49 (5%)	6 (0)	5 (0,5)	40 (10)
4	≤8	≥5	unberücksichtigt	718 (75%)	7 (1)	5 (0)	40 (10)

**Tabelle 4: Lungenprotektive Beatmungskonzepte**

Einteilungskriterien, Häufigkeiten und Ergebnisse der vier untersuchten lungenprotektiven Beatmungskonzepte unter allen Befragten. VT: Tidalvolumen, PBW: *Predicted Body Weight*, PEEP: Positiv-endexpiratorischer Druck, RM: Rekrutierungsmanöver, cmH<sub>2</sub>O: Zentimeter Wassersäule, FiO<sub>2</sub>: Inspiratorische Sauerstoff-Fraktion, IQR: *Interquartile Range*



**Abb. 13: Protektive Beatmungskonzepte regional und international**

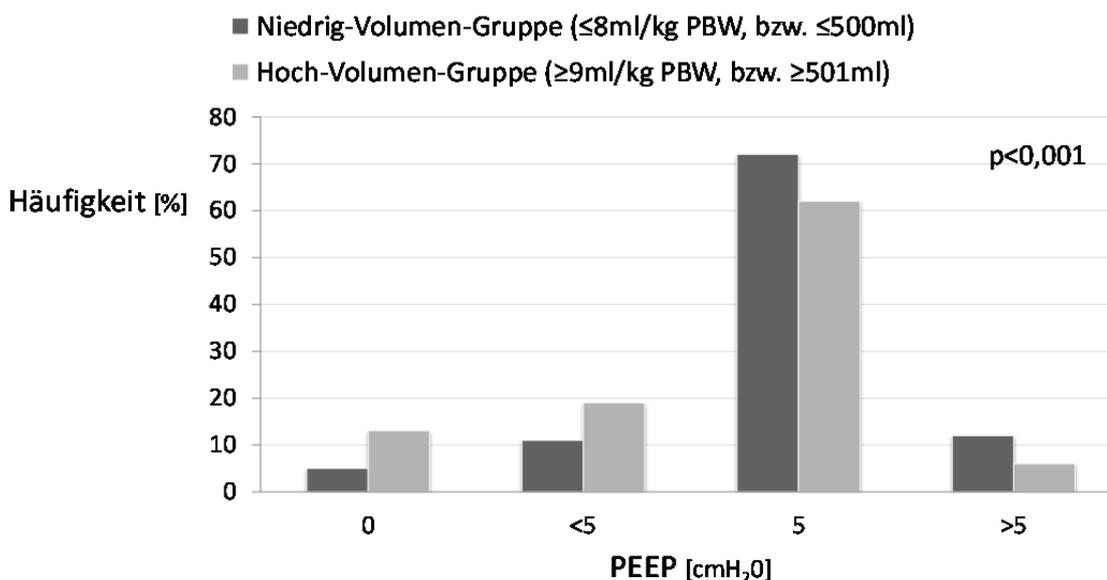
VT: Tidalvolumen in ml/kg *Predicted Body Weight*, PEEP: Positiv-endexpiratorischer Druck in cmH<sub>2</sub>O, cmH<sub>2</sub>O: Zentimeter Wassersäule

### 3.2.7 Wer wendet niedrige Tidalvolumina an und wie werden diese mit den sonstigen Beatmungseinstellungen kombiniert?

Die Befragten wurden, wie weiter oben definiert, je nach der Wahl ihres bevorzugten Tidalvolumens in zwei Gruppen unterteilt und die Charakteristika dieser beiden Gruppen verglichen. Zur „Hoch-Volumen-Gruppe“ gehörten 10% aller Befragten. Die „Niedrig-Volumen-Gruppe“ umfasste die übrigen 90% der Anästhesiologen.

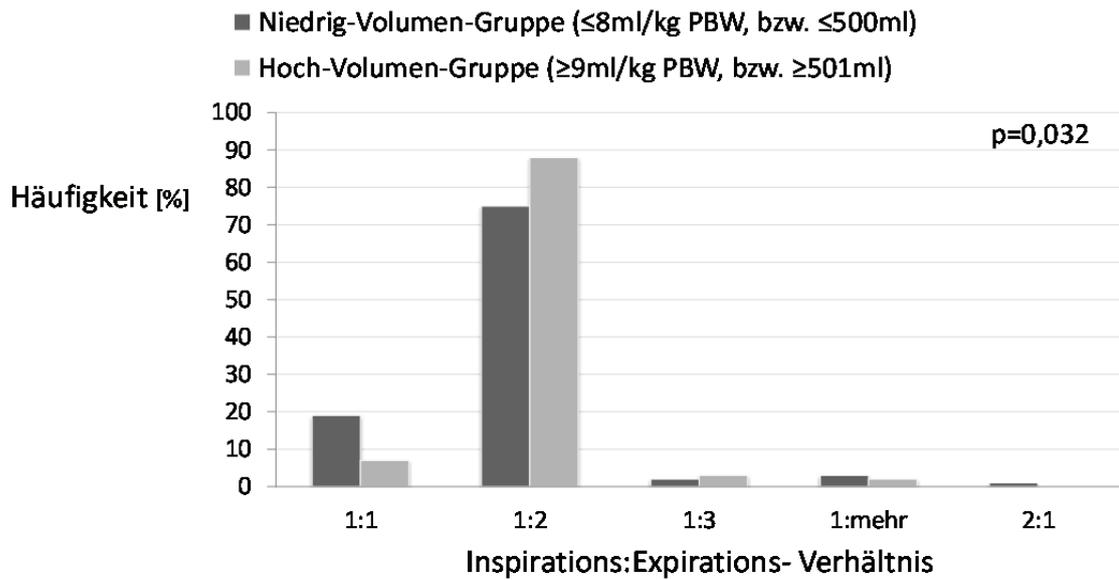
In Anhängigkeit dessen zeigten sich folgende signifikante Unterschiede: Niedrige Tidalvolumina waren mit höheren PEEP-Werten assoziiert und wurden häufiger mit einem I:E Verhältnis von 1:1 und öfter mit regelhaften Rekrutierungsmanövern angewendet und zwar von Anästhesiologen, die an Universitäten oder in Kliniken tätig waren und außerdem weniger Jahre an professioneller Berufserfahrung hatten (siehe Abbildungen 14-19). Der Anteil der Frauen in der „Niedrig-Volumen-Gruppe“ war signifikant höher ( $p=0,001$ ) als in der „Hoch-Volumen-Gruppe“ (35% gegenüber 18%). Bei den Männern verhielt es sich genau umgekehrt, bei ihnen war der Anteil in der „Hoch-Volumen-Gruppe“ deutlich größer als in der „Niedrig-Volumen-Gruppe“ (82% gegenüber 65%). Assistenz- und Oberärzte bevorzugten eher niedrige Tidalvolumina (siehe Abbildung 18).

Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede bei der Wahl der inspiratorischen Sauerstoff-Fraktion und dem Beatmungsmodus in Abhängigkeit vom Tidalvolumen.



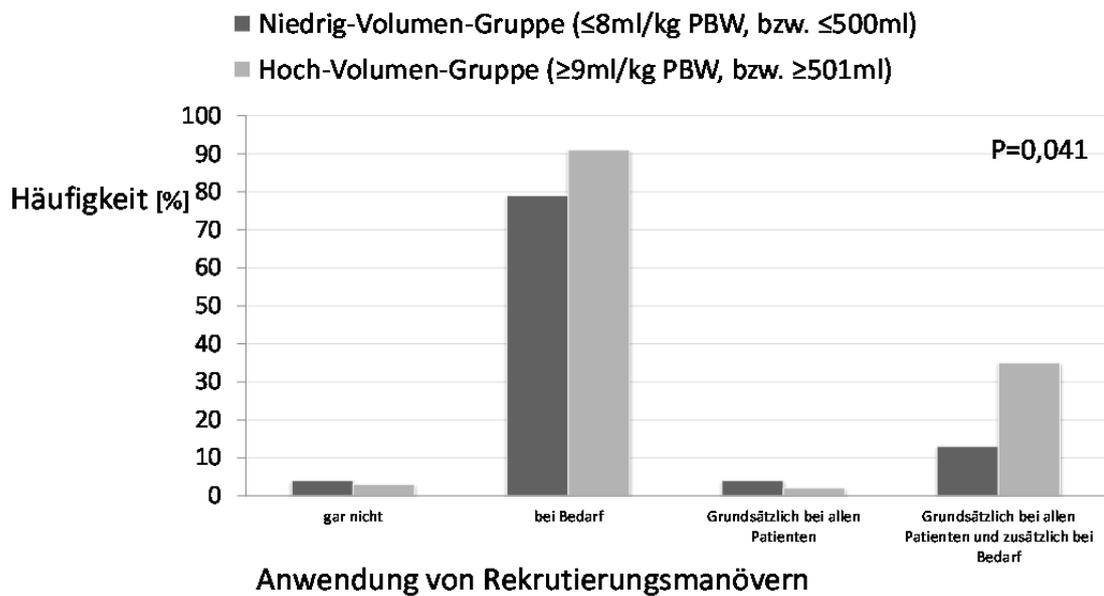
**Abb. 14: PEEP-Werte in Abhängigkeit von der Wahl des Tidalvolumens**

PEEP: Positiv-endexpiratorischer Druck, PBW: *Predicted Body Weight*, cmH<sub>2</sub>O: Zentimeter Wassersäule



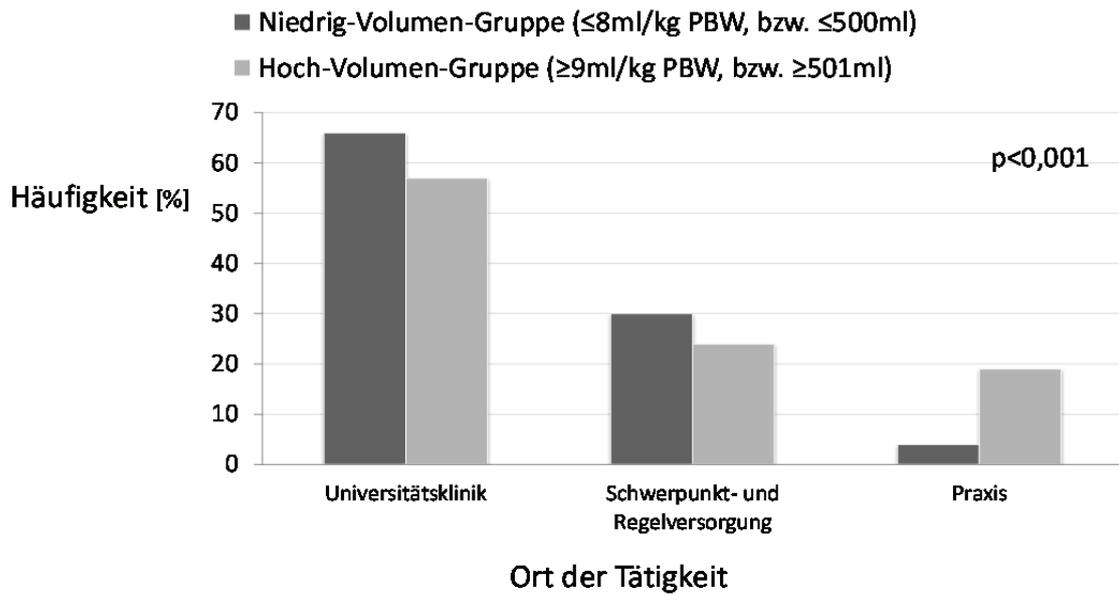
**Abb. 15: I:E-Verhältnis in Abhängigkeit von der Wahl des Tidalvolumens**

I:E: Inspiration:Expiration, PBW: *Predicted Body Weight*

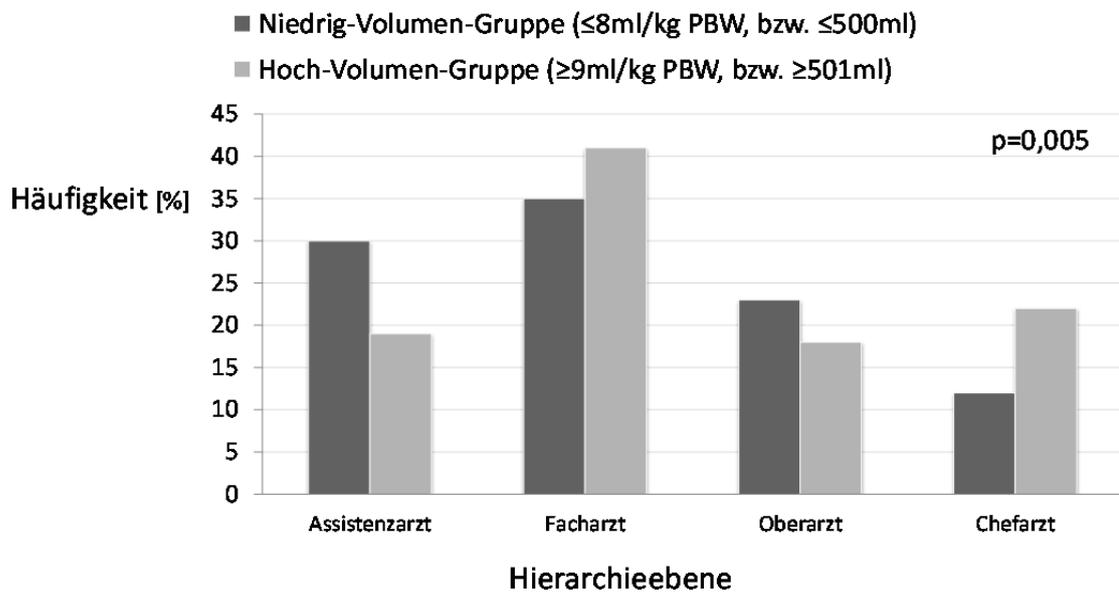


**Abb. 16: RM in Abhängigkeit von der Wahl des Tidalvolumens**

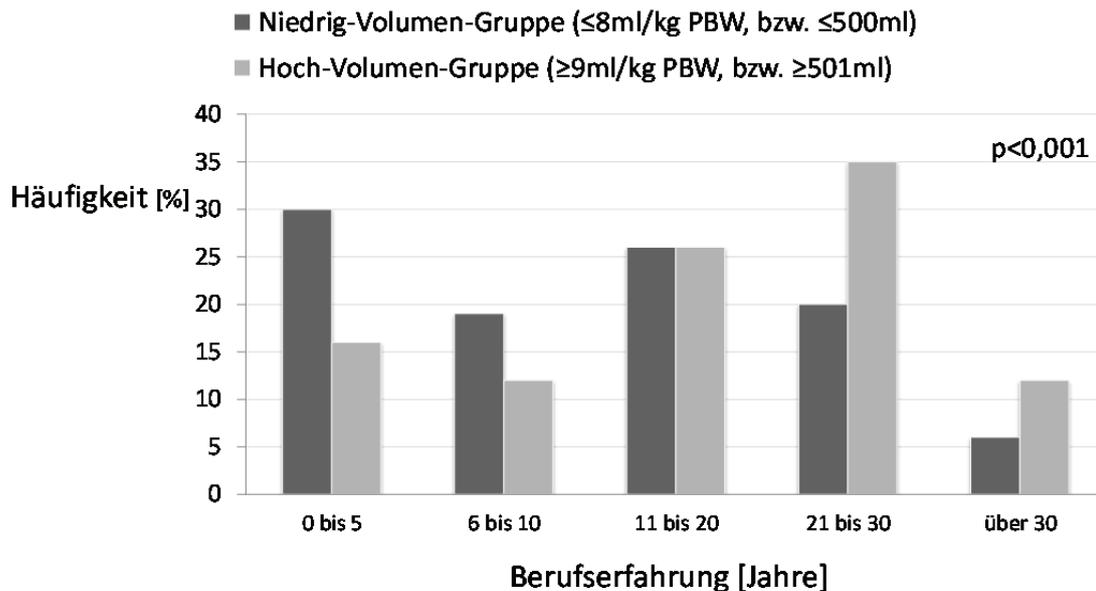
RM: Rekrutierungsmanöver, PBW: *Predicted Body Weight*



**Abb. 17: Ort der Tätigkeit in Abhängigkeit von der Wahl des Tidalvolumens**  
 PBW: Predicted Body Weight



**Abb. 18: Hierarchieebene in Abhängigkeit von der Wahl des Tidalvolumens**  
 PBW: Predicted Body Weight



**Abb. 19: Berufserfahrung in Abhängigkeit von der Wahl des Tidalvolumens**

PBW: Predicted Body Weight

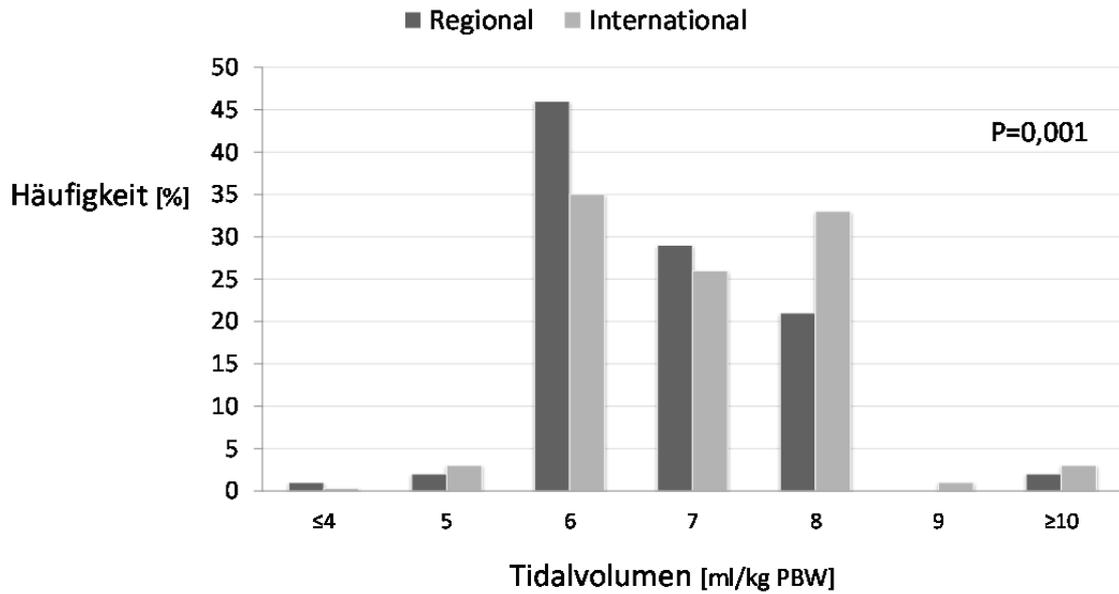
### 3.2.8 Unterscheiden sich regionale von internationalen Beatmungskonzepten?

Zwischen den regionalen und den internationalen Beatmungskonzepten fanden sich signifikante Unterschiede. Regional wurden deutlich häufiger niedrige Tidalvolumina angegeben als international (siehe Abbildung 20). Umgekehrt verhielt es sich mit dem PEEP (siehe Abbildung 21). Auch die Kombination aus niedrigen Tidalvolumina und höherem PEEP fand sich deutlich häufiger innerhalb der regionalen Umfrage (siehe dazu 3.2.6 Abbildung 13).

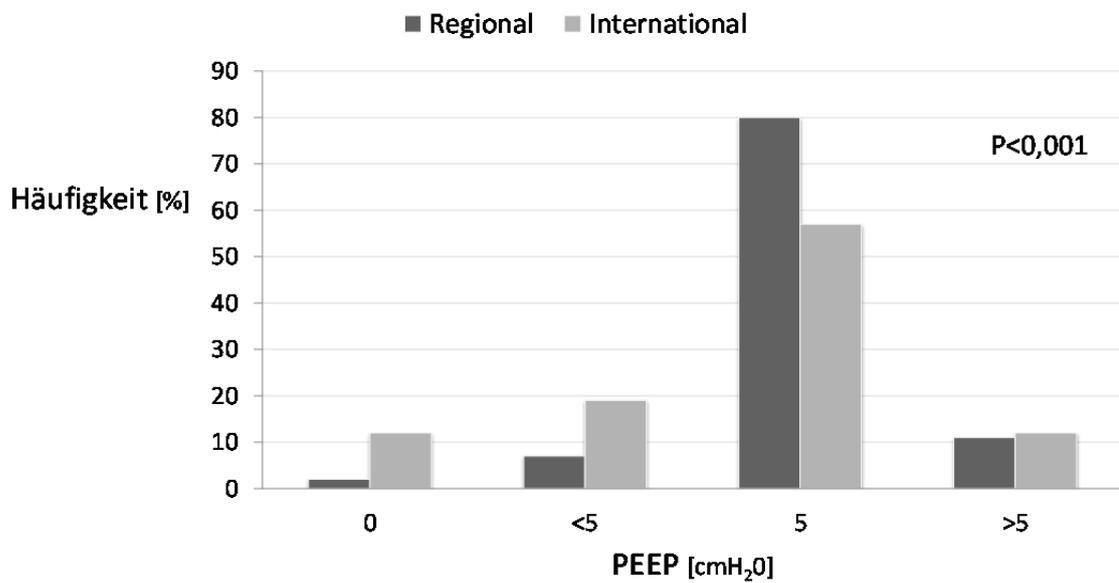
In der internationalen Umfrage wurde in 94% der Fälle ein I:E-Verhältnis von 1:2 angegeben. Die deutschen Anästhesiologen nutzten dies zu 66%. Sie gaben auch in 30% der Fälle ein I:E-Verhältnis von 1:1 an. Diese Unterschiede waren signifikant ( $p < 0,001$ ).

Auch bei der Wahl des Beatmungsmodus fand sich ein signifikanter Unterschied. Die regionalen Studienteilnehmer wählten mit 44% häufiger druckkontrollierte Beatmung als ihre internationalen Kollegen. Diese wählten am häufigsten (39%) volumenkontrollierte Beatmungsmodi. Außerdem entschieden sie sich auch häufiger für die Antwortmöglichkeit „Ich nutze beide Modi gleichermaßen“ ( $p < 0,001$ ).

Der Einsatz von Rekrutierungsmanövern erfolgte international häufiger (19%) regelhaft als regional (13%). Dafür war in der regionalen Umfrage der bedarfsadaptierte Einsatz häufiger (84% gegenüber 75%). Dieser Unterschied war signifikant ( $p = 0,006$ ).



**Abb. 20: Tidalvolumen in Abhängigkeit von regionaler oder internationaler Herkunft**  
PBW: Predicted Body Weight



**Abb. 21: PEEP in Abhängigkeit von regionaler oder internationaler Herkunft**  
PEEP: Positiv-endexpiratorischer Druck, cmH<sub>2</sub>O: Zentimeter Wassersäule

### 3.2.9 Unterscheiden sich universitäre von nicht-universitären Beatmungskonzepten?

Die Beatmungseinstellungen der Anästhesiologen, die an Universitätskliniken arbeiten, wurden mit den Beatmungseinstellungen derer verglichen, die in Krankenhäusern der Schwerpunkt- und Regelversorgung oder in Praxen arbeiten.

Die Angabe der Sauerstoff-Fractionen zwischen den beiden Gruppen unterschied sich signifikant. Bis zu einer  $\text{FiO}_2$  von 50% war jeweils der Anteil der Anästhesiologen an Universitätskliniken größer. Eine Sauerstoffkonzentration über 50% wurde in der nicht-universitären Gruppe häufiger verwendet. Abbildung 22 verdeutlicht diesen Zusammenhang.

Signifikante Unterschiede gab es außerdem bei der Wahl des Beatmungsmodus ( $p < 0,001$ ). Während die an Universitätskliniken tätigen Teilnehmer volumenkontrollierte gegenüber druckkontrollierten Beatmungsmodi bevorzugten (41% gegenüber 24%), wählten die Anästhesiologen aus dem nicht-universitären *Setting* häufiger die druckkontrollierte gegenüber der volumenkontrollierten Beatmung (48% gegenüber 34%). Die Antwortmöglichkeit „Ich nutze beide Modi gleichermaßen“ wurde von beiden Gruppen etwa gleich häufig gewählt (26% universitäre Gruppe und 29% nicht-universitäre Gruppe).

Der Anteil an Anästhesiologen, die keine Rekrutierungsmanöver einsetzen, war an nicht-universitären Kliniken und in Praxen größer als an Universitätskliniken (siehe Abbildung 23).

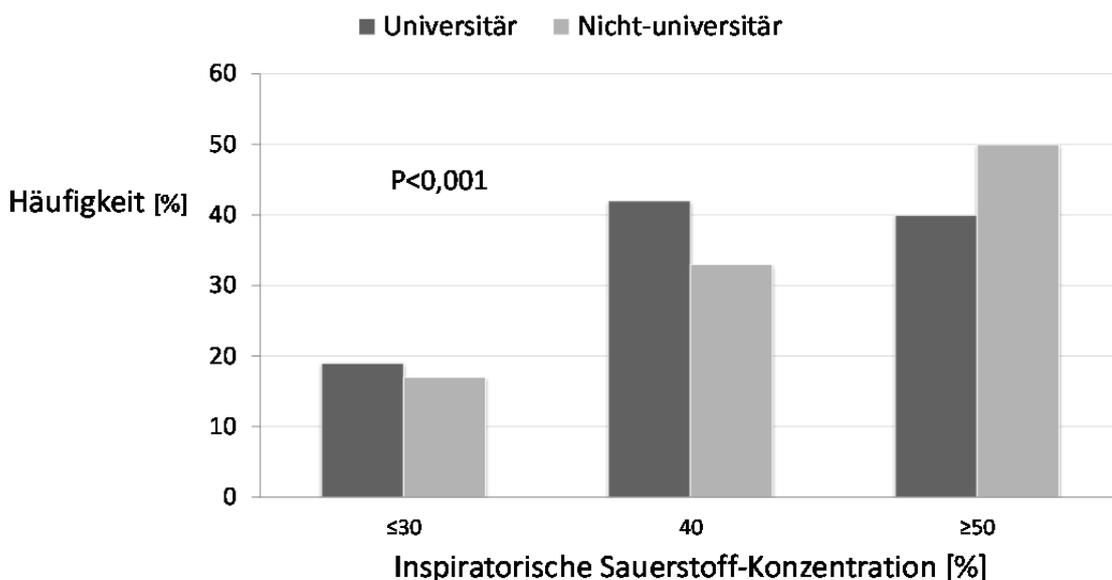
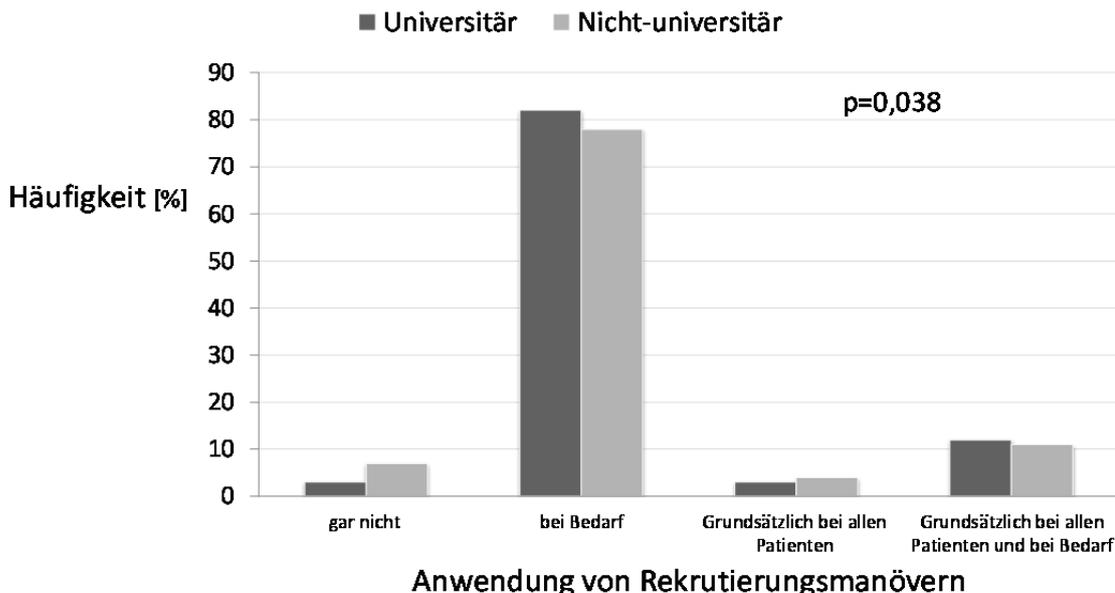


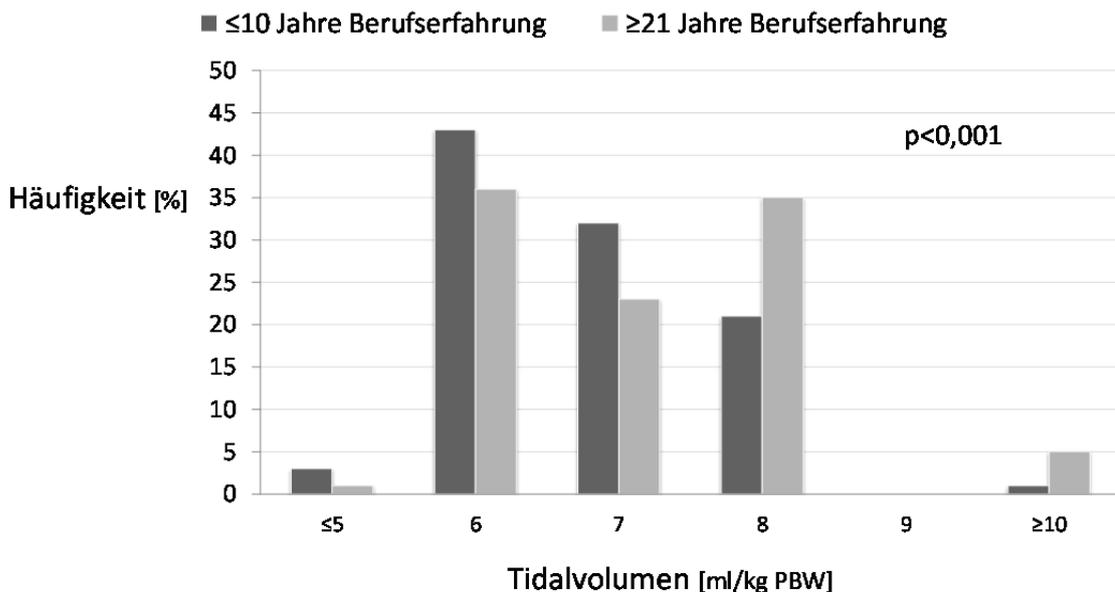
Abb. 22:  $\text{FiO}_2$  in Abhängigkeit von universitärer oder nicht-universitärer Herkunft



**Abb. 23: RM in Abhängigkeit von universitärer oder nicht-universitärer Herkunft**  
 RM: Rekrutierungsmanöver

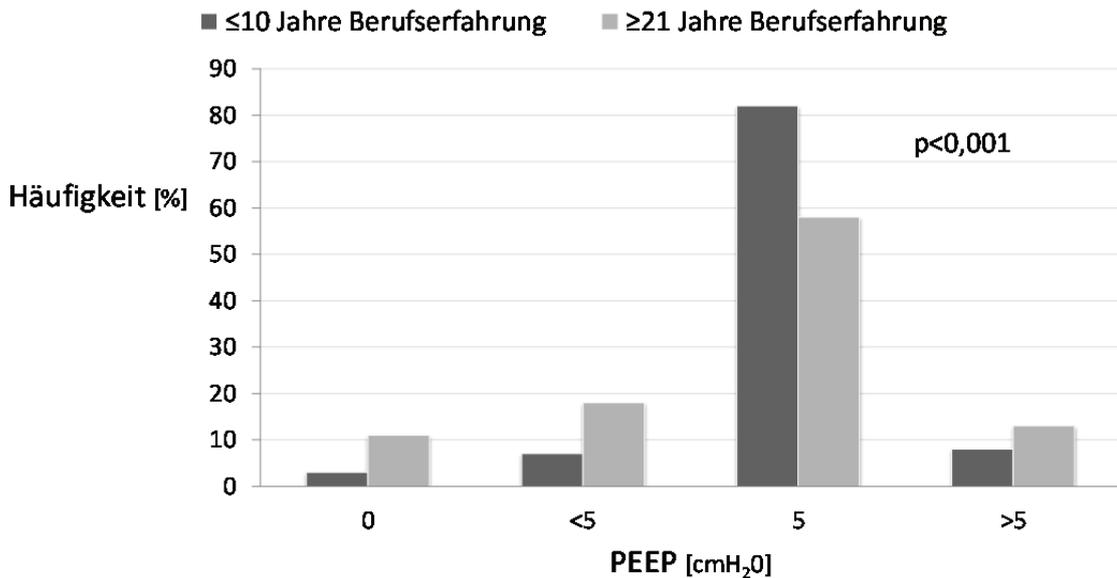
### 3.2.10 Unterscheiden sich die Beatmungskonzepte berufserfahrener Anästhesiologen von denen mit weniger Berufserfahrung?

Unerfahrene Anästhesiologen setzen niedrigere Tidalvolumina, höhere PEEP-Werte und niedrigere FiO<sub>2</sub>-Werte ein als ihre erfahrenen Kollegen (siehe Abbildungen 24-26).



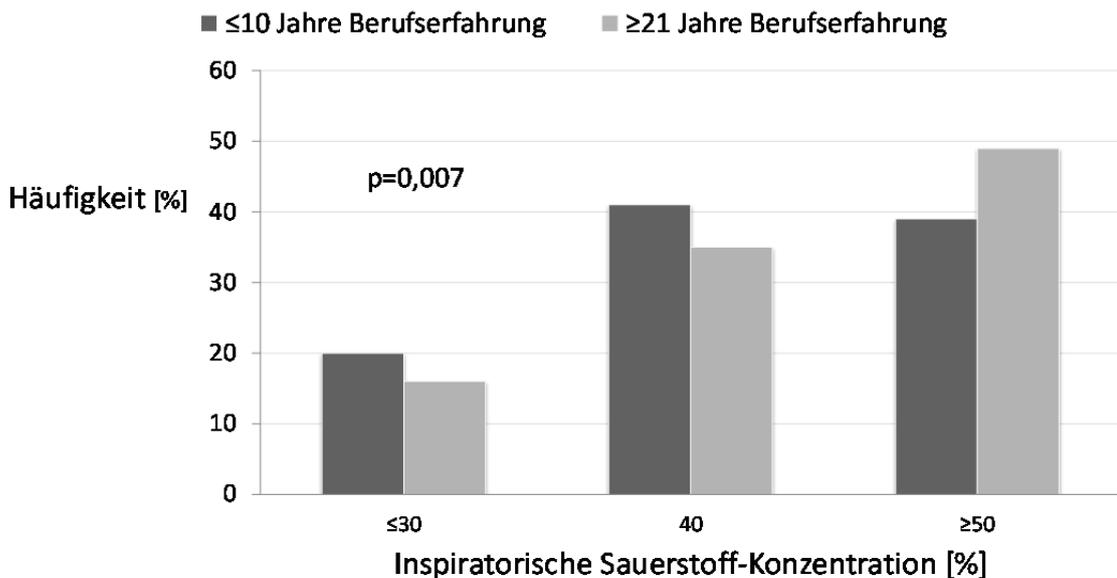
**Abb. 24: Tidalvolumen in Abhängigkeit von der Berufserfahrung**  
 PBW: Predicted Body Weight

Die erfahrenen Anästhesiologen führten häufiger regelhafte Rekrutierungsmanöver durch als ihre unerfahrenen Kollegen (21% zu 12%). Diese nutzten dafür Rekrutierungsmanöver häufiger bedarfsadaptiert (85% zu 73%). Keine Rekrutierungsmanöver setzten 7% der Erfahrenen und 4% der weniger Erfahrenen ein. Diese Unterschiede waren signifikant ( $p=0,002$ ).



**Abb. 25: PEEP in Abhängigkeit von der Berufserfahrung**

PEEP: Positiv-endexpiratorischer Druck, cmH<sub>2</sub>O: Zentimeter Wassersäule



**Abb. 26: FiO<sub>2</sub> in Abhängigkeit von der Berufserfahrung**

FiO<sub>2</sub>: Inspiratorische Sauerstoff-Fraktion

### 3.3 Zusammenfassung der Umfrageergebnisse anhand der Leitfragen

#### 1. Welche Tidalvolumina werden angewendet?

90% der Anästhesiologen beatmen intraoperativ mit niedrigen Tidalvolumina  $\leq 8$  ml/kg PBW.

#### 2. Wird PEEP eingesetzt und wie hoch?

PEEP wird routinemäßig von 71% der Befragten mit 5 cmH<sub>2</sub>O eingesetzt, nur 6% der Befragten beatmen ohne PEEP.

#### 3. Erfolgen Rekrutierungsmanöver?

Rekrutierungsmanöver werden hauptsächlich bei Bedarf eingesetzt.

#### 4. Welche inspiratorische Sauerstoff-Konzentration wird angewendet?

Mehrheitlich (83%) werden inspiratorische Sauerstoff-Konzentrationen zwischen 30% und 50% angewendet.

#### 5. Werden bei adipösen Patienten die Beatmungseinstellungen verändert?

Zur Ventilation adipöser Patienten erhöhten 89% der Anästhesiologen den PEEP, deutlich seltener die FiO<sub>2</sub> (25%) oder das Tidalvolumen (15%). Adipositas wurde häufig als Grund für die Durchführung von Rekrutierungsmanövern im Freitextfeld genannt.

#### 6. Wird „lungenprotektiv“ beatmet?

„Lungenprotektive Beatmung“ als Kombination aus niedrigen Tidalvolumina, höherem PEEP und regelhaftem Gebrauch von Rekrutierungsmanövern wurde von 5-14% der Befragten eingesetzt. Die Kombination aus niedrigen Tidalvolumina und PEEP wurde von 75% der Befragten angewendet.

#### 7. Wer wendet niedrige Tidalvolumen an und wie werden diese mit den sonstigen Beatmungseinstellungen kombiniert?

Anästhesiologen, die niedrige Tidalvolumina bevorzugten, kombinierten diese häufig mit PEEP-Werten  $\geq 5$  cmH<sub>2</sub>O, einem I:E-Verhältnis von 1:1 und etwas häufiger mit der Anwendung regelhafter Rekrutierungsmanöver. Sie waren häufiger an Universitäten oder in Kliniken als in Praxen tätig, hatten bis zu 10 Jahre professionelle Berufserfahrung, arbeiteten dementsprechend häufiger in Assistenz- und Oberarzt-Position und waren signifikant häufiger weiblichen Geschlechts.

#### 8. Unterscheiden sich regionale von internationalen Beatmungskonzepten?

Regional wurde signifikant häufiger mit niedrigen Tidalvolumina und höheren PEEP-Werten und signifikant seltener mit einem I:E-Verhältnis von 1:1 und der regelhaften Durchführung von Rekrutierungsmanövern beatmet als international.

**9. Unterscheiden sich universitäre von nicht-universitären Beatmungskonzepten?**

An Universitätskliniken wurde häufiger mit niedrigerer  $\text{FiO}_2$ , signifikant häufiger volumenkontrolliert und signifikant seltener ohne die Durchführung von Rekrutierungsmanövern beatmet als im nicht-universitären *Setting*.

**10. Unterscheiden sich die Beatmungskonzepte berufserfahrener Anästhesiologen von denen mit weniger Berufserfahrung?**

Anästhesiologen mit weniger als zehn Jahren Berufserfahrung setzten signifikant niedrigere Tidalvolumina und  $\text{FiO}_2$  mit signifikant höherem PEEP ein, als ihre erfahreneren Kollegen. Sie führten signifikant seltener regelhafte und häufiger bedarfsadaptierte Rekrutierungsmanöver durch.

## 4 Diskussion

Die vorliegende Arbeit präsentiert eine weltweite Umfrage unter Anästhesiologen zur aktuellen Beatmungspraxis. Durch die Antworten aus 38 Ländern aller Kontinente können wir einen aktuellen Ausschnitt der routinemäßigen intraoperativen Ventilation von lungengesunden erwachsenen Patienten abbilden. Es zeigt sich, dass die Mehrheit aller Befragten niedrige Tidalvolumina mit einem PEEP von 5 cmH<sub>2</sub>O und einer FiO<sub>2</sub> von 0,3-0,5 anwendet. Rekrutierungsmanöver werden im Wesentlichen bei Bedarf eingesetzt. Bei adipösen wird im Vergleich zu normalgewichtigen Patienten üblicherweise der PEEP erhöht.

### 4.1 Einordnung der demographischen Resultate

Der mit 65% größte Anteil der Antworten kam aus dem universitären Bereich, gefolgt von 30% Antworten aus anderen Kliniken. Der hohe universitäre Anteil hatte folgende Ursachen: Die Adressen, die uns für die internationale Befragung von Seiten des *PRO*protective *VENT*ilation-*Network* zur Verfügung gestellt wurden, stammten hauptsächlich von Angestellten universitärer Zentren. Zudem wurde bei der Suche der Adressen für die regionale Befragung deutlich, dass die Erreichbarkeit der an Kliniken angestellten Anästhesiologen deutlich besser ist, als die ihrer niedergelassenen Kollegen. Außerdem ist in der Anästhesiologie nur ein sehr geringer Teil der Ärzte ambulant tätig. In Deutschland waren dies laut Erhebungen der Bundesärztekammer und des statistischen Bundesamtes im Jahr 2013 beispielsweise nur circa 17% der Anästhesiologen [57]. Daher ist der geringe Anteil an Antworten von ambulant tätigen Anästhesiologen typisch für die Verteilung des Ortes der Tätigkeit.

Die Altersverteilung der berufstätigen Ärzte in Deutschland ist bei der Bundesärztekammer gelistet. Geht man von dem bei Medizinern häufigen Berufseinstieg mit etwa 26 Jahren aus, so sind die Altersangaben der Bundesärztekammer und die Angaben zu den Jahren an „professioneller Berufserfahrung“ unter den Befragten unserer regionalen Studie vergleichbar. Die Verteilung der von uns erhobenen Jahre an Berufserfahrung gleicht dabei der Verteilung über die entsprechenden Altersbereiche [57].

Die Auswertung der Angabe der ärztlichen „Hierarchieebene“ in unserer Umfrage entspricht der üblichen Zusammensetzung einer anästhesiologischen Abteilung mit dem überwiegenden Anteil an Assistenz- und Fachärzten, einem kleineren Anteil an Oberärzten und dem geringsten Anteil an Chefärzten. Referenzwerte über die Verteilung der Ärzte über die Hierarchieebenen liegen nicht vor.

34% der Antwortenden waren weiblich. Der Anteil an weiblichen Anästhesiologen in Deutschland beträgt 41%, der Frauenanteil an unserer Umfrage ist somit leicht geringer [57].

In der Zusammenschau zeigen die Verteilung von Alter, Hierarchiestufen und Berufserfahrung unserer Stichprobe parallele Ausprägungen zu der zum Vergleich herangezogenen deutschen Ärzteschaft, so dass wir davon ausgehen, dass unsere Ergebnisse diesbezüglich eine typische Zusammensetzung der Berufsgruppe repräsentieren. Der hohe Anteil an Antworten von Universitätskliniken muss jedoch im Weiteren berücksichtigt werden.

## 4.2 Diskussion der spezifischen Fragen

### 4.2.1 Welche Tidalvolumina werden angewendet?

Es bestätigt sich die eingangs formulierte Vermutung, dass niedrige Tidalvolumen-Werte, welche für die Beatmung von Patienten mit ARDS empfohlen werden, routinemäßig bereits zur intraoperativen Beatmung von Patienten ohne vorbestehende Lungenerkrankung Anwendung finden. Es wird deutlich, dass konventionell „hohe“ Tidalvolumina zwischen 10 und 15 ml/kg PBW kaum noch verwendet und die Empfehlungen zu diesen Werten aus den 1960er und 1970er Jahren nicht mehr befolgt werden [5,6].

Physiologische Atemzugvolumina betragen in Ruhe etwa 6-8 ml/kg PBW, ihre Größe unterliegt jedoch sehr starken intra- und interindividuellen Schwankungen. Auch wird die Ruheatmung regelmäßig von tiefen Seufzern mit einem Tidalvolumen von etwa 20 ml/kg begleitet [4]. Der Median des Tidalvolumens unserer Umfrage betrug 7 ml/kg PBW. In einer retrospektiven Untersuchung von Levin et al. führte die Verwendung von Tidalvolumina von 7,4 ml/kg PBW allerdings zu einer Erhöhung der 30-Tage-Mortalitätsrate im Gegensatz zur Verwendung von höheren Tidalvolumina von 8,9 ml/kg PBW (IQR: 8,4-9,4) bei gleichem PEEP von 4 cmH<sub>2</sub>O [47]. Gattinoni et al. kalkulierten außerdem, dass in einer gesunden Lunge beatmungsassoziierte Folgeschäden erst ab Tidalvolumina von bis zu 17 ml/kg PBW zu erwarten sind [1]. Gerade die Resultate dieser beiden zitierten Arbeiten zeigen, dass noch unklar ist, ob die alleinige Reduktion des Tidalvolumens bei der Beatmung von Lungengesunden vorteilhaft ist. Bislang gibt es keine prospektiv randomisierte Studie, welche einen Vorteil einer alleinigen Tidalvolumenreduktion bei ansonsten gleichbleibenden Beatmungsparametern für lungengesunde Patienten zeigt.

### 4.2.2 Wird PEEP eingesetzt und wie hoch?

Die Anwendung von PEEP scheint unter den von uns befragten Anästhesiologen klinischer Standard zu sein. Ein PEEP von 5 cmH<sub>2</sub>O war die häufigste Antwort (71%). Dies steht im Gegensatz zu den Resultaten von Jaber et al., die berichteten, dass in Frankreich nur in 20% der Fälle intraoperativ ein PEEP eingesetzt wurde [10]. Grundsätzlich kann PEEP das zyklische Kollabieren und Wiedereröffnen von Alveolen verringern oder vermeiden, einem Mangel an *Surfactant* vorbeugen und so eine homogene Verteilung der Ventilation fördern [59,60]. Ob diese Effekte aber auch zu einer Verbesserung des klinischen *Outcome* führen ist unklar. An ARDS-Patienten hat die Anwendung eines PEEP von 8 cmH<sub>2</sub>O im Vergleich zu 13 cmH<sub>2</sub>O bei gleichem Tidalvolumen von 6 ml/kg PBW keine Verbesserung des *Outcome* erbracht [61]. Auch eine 2013 publizierte Metaanalyse der vorhandenen Daten von Patienten mit ALI/ARDS konnte keinen Vorteil einer Beatmung mit hohem PEEP bei gleichem Tidalvolumen zeigen [62].

Allgemeinanästhesie führt immer zur Bildung von Atelektasen in den abhängigen Lungenabschnitten. Intraoperative PEEP-Applikation erhöht die funktionelle Residualkapazität und vermindert den Kollaps der Atemwege. Eine Metaanalyse zur intraoperativen Anwendung von PEEP zeigte, dass PEEP die postoperative Oxygenierung verbessert und Atelektasen vermindert. Die bisher vorliegende Literatur erlaubt jedoch noch keine abschließende Aussage zu anderen klinischen *Outcome*-Parametern [63,64]. Zu den negativen Folgen von hohem PEEP zählen die Erhöhung des intrakraniellen Drucks, des venösen Rückstaus und hämodynamische Instabilität. So war beispielsweise innerhalb der *PROtective Ventilation using High versus Low positive end-expiratory pressure*-Studie (PROVHILO-Studie) die intraoperative Anwendung eines PEEP von 12 cmH<sub>2</sub>O gegenüber einem PEEP von 2 cmH<sub>2</sub>O mit einer deutlichen Zunahme von Hypotensionen und einem signifikant höheren Vasopressorgebrauch vergesellschaftet [65].

### 4.2.3 Erfolgen Rekrutierungsmanöver?

Rekrutierungsmanöver sollen, ebenso wie die Anwendung von PEEP, den Anteil ventilierter Lungenareale erhöhen. In unserer Befragung wurden Rekrutierungsmanöver vor allem bei Bedarf eingesetzt und nicht regelhaft bei allen Patienten. Die kürzlich publizierte PROVHILO-Studie zur Anwendung von Rekrutierungsmanövern zeigte jedoch keinen Vorteil der Beatmung mit hohem PEEP von 12 cmH<sub>2</sub>O und regelmäßigen Rekrutierungsmanövern gegenüber einer Beatmung mit einem PEEP von 2 cmH<sub>2</sub>O ohne Rekrutierungsmanöver, wenn das Tidalvolumen in beiden Gruppen 8 ml/kg PBW beträgt. Postoperative pulmonale Komplikationen traten

in beiden Gruppen gleich häufig auf [65]. In Anbetracht der aktuellen Datenlage scheint das bisherige Vorgehen der von uns Befragten, Rekrutierungsmanöver nicht bei allen Patienten regelhaft, sondern bei Bedarf durchzuführen, angemessen.

#### 4.2.4 Welche inspiratorische Sauerstoff-Konzentration wird angewendet?

Zwar gibt es in der Literatur keine klare Empfehlung zur intraoperativen inspiratorischen Sauerstoff-Fraktion, eine höhere Sauerstoff-Fraktion soll jedoch üblicherweise vor der Entwicklung einer Hypoxämie im Falle von Beatmungszwischenfällen schützen, die Entwicklung von postoperativer Übelkeit und Erbrechen verringern und den Sauerstoffpartialdruck im Gewebe erhöhen, was potentiell Wundinfektionen reduzieren kann. Studien, welche die Prophylaxe von postoperativer Übelkeit und Verminderung von Wundinfektionen zeigten, verwendeten inspiratorische Sauerstoff-Konzentrationen von 80% [17,18,66]. Innerhalb unserer Umfrage verwendetet nur 19% der Befragten inspiratorische Sauerstoff-Konzentrationen über 50%. Auch eine jüngst veröffentlichte Studie aus 2014 zeigte, dass eine  $FiO_2$  von 0,8 bei Patienten, die sich einer elektiven Kolonkarzinom-Resektion unterzogen, die Rate an Wundinfektionen etwa halbieren konnte [67]. In der Klinik für Anästhesiologie der Uniklinik Düsseldorf existiert sogar eine *Standard Operating Procedure*, welche den routinemäßigen Einsatz von 80% Sauerstoff zur intraoperativen Beatmung bei Intubationsnarkosen vorsieht. Demgegenüber bestehen jedoch auch zahlreiche Arbeiten, welche die negativen Auswirkungen hoher Sauerstoff-Konzentrationen beschreiben [21–23].

Die im Rahmen unserer Befragung häufig genannten Werte von 40% und 50% inspiratorischer Sauerstoff-Konzentration scheinen also einen Kompromiss zwischen den Vorteilen und den Nachteilen hoher Sauerstoff-Konzentrationen darzustellen und zeigen, dass die Anwendung einer hohen  $FiO_2$  nicht in die allgemeine Routine der intraoperativen Beatmung Einzug gehalten hat.

#### 4.2.5 Werden bei adipösen Patienten die Beatmungseinstellungen verändert?

Nach Angabe der Befragten werden adipöse Patienten routinemäßig mit höheren Tidalvolumina, höheren  $FiO_2$ -Werten und deutlich höheren PEEP-Werten beatmet als Normalgewichtige. Bei der mechanischen Beatmung von adipösen Patienten kommt es zu einer überproportionalen Abnahme der funktionellen Residualkapazität, welcher durch die Applikation eines höheren PEEP um 10  $cmH_2O$  entgegengewirkt werden kann. Adipöse profitieren von der Applikation eines PEEP dieser Höhe sogar stärker als Normalgewichtige [9]. Eine zusätzliche Anwendung von selbst einmaligen

Rekrutierungsmanövern kann bei Adipösen laut einer Metaanalyse die Lungencompliance und Oxygenierung intraoperativ verbessern [27]. In den Freitextantworten zur Frage nach Gründen für die Durchführung von Rekrutierungsmanövern wurde als häufigster Grund die Adipositas genannt. Die Verwendung der Kombination aus höheren PEEP-Werten und Rekrutierungsmanövern scheint also bei der intraoperativen Beatmung Adipöser Anwendung zu finden. Zwar kann man aus der Erwähnung in den Freitextfeldern nicht auf die Häufigkeit der Verwendung von Rekrutierungsmanövern unter den Anästhesiologen schließen, das Bewusstsein für deren Wichtigkeit bei der Beatmung adipöser Patienten scheint jedoch vorhanden zu sein. Was die Rationale für die von 25% der Befragten genannte Erhöhung der inspiratorischen Sauerstoff-Fraktion ist, bleibt offen. In einer Studie an 213 adipösen, intraoperativ beatmeten Patienten konnte kein signifikanter Unterschied zwischen der Beatmung mit einer  $\text{FiO}_2$  von 0,8 gegenüber 0,3 im Hinblick auf pulmonale postoperative Komplikationen festgestellt werden. Die sonstigen Beatmungseinstellungen wurden dabei so gewählt, dass die Patienten normokapnisch blieben [28]. Die Anwendung einer druckkontrollierten Beatmung bei Adipösen Patienten könnte eine bessere Verteilung der Ventilation gewährleisten. Allerdings fand eine Metaanalyse keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Beatmungsformen in Hinblick auf die intraoperative Oxygenierung, den Atemwegs- und Blutdruck. Klinisch bedeutsamere Endpunkte wie postoperative Komplikationen oder Mortalität wurden nicht untersucht [27]. Die Befragten unserer Umfrage wählten zur Beatmung Adipöser jedoch signifikant häufiger druckkontrollierte Beatmungsmodi als bei Normalgewichtigen.

#### 4.2.6 Wird „lungenprotektiv“ beatmet?

Die so genannte „lungenprotektive“ Beatmung ist nicht einheitlich definiert. Bei ARDS-Patienten gilt die Kombination aus niedrigen Tidalvolumina, der Anwendung von PEEP sowie eine Limitierung des Plateaudrucks als „lungenprotektiv“ [40]. Für die intraoperative Beatmung steht eine Definition noch aus. In Studien, in denen ein *Benefit* der Beatmung mit niedrigen Tidalvolumina gezeigt werden konnte, waren diese meist mit einem signifikant höheren PEEP assoziiert als die hohen Tidalvolumina. Eine Metaanalyse von 20 Studien ergab, dass auch bei Patienten ohne ARDS, intraoperativ und auf Intensivstationen, die Kombination aus niedrigem Tidalvolumen und hohem PEEP die Mortalität senkt und außerdem die Entwicklung pulmonaler Infektionen und Atelektasen reduziert. Die protektive Beatmung kombinierte hier ein mittleres Tidalvolumen von  $6,5 \pm 1,1$  ml/kg PBW mit einem mittleren PEEP von  $6,4 \pm 2,4$  cmH<sub>2</sub>O. Dem standen als konventionelle Beatmungsstrategien ein mittleres

Tidalvolumen von  $10,6 \pm 1,1$  ml/kg PBW und mittlere PEEP-Werte von  $3,4 \pm 2,8$  cmH<sub>2</sub>O gegenüber [45]. In einer prospektiv randomisierten Studie an 400 abdominalchirurgischen Patienten verglichen Futier et al. ein protektives Beatmungsregimes mit einem Tidalvolumen von 6-8 ml/kg PBW mit einem PEEP von 6-8 cmH<sub>2</sub>O und regelmäßiger Durchführung von Rekrutierungsmanövern mit einem konventionellen Regime aus einem Tidalvolumen von 10-12 ml/kg PBW ohne PEEP und ohne Rekrutierungsmanöver. Die Gruppe der protektiv beatmeten Patienten erlitt signifikant weniger postoperative Komplikationen pulmonaler und nicht-pulmonaler Ursache (10,5% versus 27,5%,  $p=0,001$ ) [68]. Die Kombination aus einem Tidalvolumen von 7 ml/kg PBW, einem PEEP von 10 cmH<sub>2</sub>O und der Anwendung von Rekrutierungsmanövern zeigte bei den Patienten einer weiteren Studie postoperativ signifikant bessere spirometrische Lungenfunktionstests, Oxygenierungswerte und seltener pathologische Veränderungen im Thorax-Röntgenbild als die konventionelle Beatmung mit einem Tidalvolumen von 9 ml/kg PBW ohne PEEP und Rekrutierungsmanöver [44].

Die Kombination der drei Parameter niedriges Tidalvolumen, hoher PEEP und Rekrutierungsmanöver in den protektiven Beatmungsregimes der dargestellten Studien ist von hoher Bedeutung, da in den Überschriften der Publikationen üblicherweise nur auf das niedrige Tidalvolumen Bezug genommen wird. So lautet der Titel der Arbeit von Futier et al: „*A Trial of Intraoperative Low-Tidal-Volume Ventilation in Abdominal Surgery*“. Auch im *Abstract* der Publikation wird auf die differenzierten Unterschiede in der Beatmung zwischen beiden Gruppen nicht eingegangen, sondern nur von *nonprotective or lung-protective ventilation* berichtet. Demgegenüber konnte unsere Arbeitsgruppe zeigen, dass eine intraoperative Beatmung mit einem Tidalvolumen von 6ml/kg PBW und einem PEEP von 5 cmH<sub>2</sub>O keinen Unterschied im Hinblick auf die postoperative Lungenfunktion gegenüber einer Beatmung mit 12 ml/kg PBW bei gleichem PEEP ergab [46]. In beiden Gruppen wurden Rekrutierungsmanöver in gleicher Weise einmalig vor Extubation durchgeführt. Daher können Tidalvolumen und PEEP nicht isoliert voneinander betrachtet werden, wenn es um die Lungenprotektion bei der intraoperativen Ventilation geht.

Die Ergebnisse unserer Umfrage zeigen, dass eine isolierte Reduzierung des Tidalvolumens offensichtlich nicht stattfindet, sondern, dass die Anästhesiologen, die niedrige Tidalvolumina wählen („Niedrig-Volumen-Gruppe“), auch signifikant höhere PEEP-Werte bevorzugen. Diese sind allerdings mit einem Median von 5 cmH<sub>2</sub>O (IQR: 0) etwas niedriger als in den lungenprotektiven Beatmungskonzepten der zitierten Studien. Ob dieser Unterschied klinisch relevant ist, müssten weiterführende klinische Studien auf der Grundlage der erhobenen Daten zeigen.

Laut unserer Umfrage ist der regelhafte, also nicht nur bedarfsadaptierte Gebrauch von Rekrutierungsmanövern nicht Teil der routinemäßigen intraoperativen Beatmung. Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten protektiven Beatmungskonzepte, welche die regelhafte Durchführung von Rekrutierungsmanövern als ein Kriterium enthielten, wurden, je nach Grenzwert für Tidalvolumen und PEEP, nur von 5% bis 14% der Anästhesiologen angewendet. Dies ist auch vor dem historischen Hintergrund interessant, dass Bendixen et al. schon in den 1960er Jahren die Wichtigkeit von regelmäßigen „Seufzern“, also tiefen Einatmungen während der Narkose-Beatmung zur Rekrutierung von atelektatischen Lungenabschnitten herausgestellt hatten [6]. Die Ergebnisse der prospektiv randomisierten PROVHILO-Studie zeigen jedoch keinen Vorteil der Beatmung mit hohem PEEP von 12 cmH<sub>2</sub>O und regelmäßigen Rekrutierungsmanövern gegenüber einer Beatmung mit einem PEEP von 2 cmH<sub>2</sub>O ohne Rekrutierungsmanöver, wenn das Tidalvolumen in beiden Gruppen 8 ml/kg PBW beträgt im Hinblick auf postoperative pulmonale Komplikationen [65].

Laut unserer Erhebung ist die Anwendung der Kombination aus niedrigen Tidalvolumina und PEEP weit verbreitet. Die Höhe des PEEP bleibt dabei etwas unter den Werten, die in den „lungenprotektiven“ Beatmungsregimes der zitierten Studien verwendet werden. Da die Rolle regelmäßiger Rekrutierungsmanöver als weiteres mögliches Element der lungenprotektiven Beatmung weiter unklar ist, kann das Vorgehen nicht abschließend beurteilt werden.

#### **4.2.7 Wer wendet niedrige Tidalvolumina an und wie werden diese mit den sonstigen Beatmungseinstellungen kombiniert?**

Die Ergebnisse der Gegenüberstellung der Charakteristika der „Niedrig-Volumen-Gruppe“ und der „Hoch-Volumen-Gruppe“ lassen den Schluss zu, dass gerade jüngere Anästhesiologen so genannte „lungenprotektive“ Beatmungsansätze wählen. Diese Beobachtung wird bei der Analyse der Beatmungskonzepte in Abhängigkeit von der Berufserfahrung genauer beleuchtet.

#### **4.2.8 Unterscheiden sich regionale von internationalen Beatmungskonzepten?**

Der Vergleich der regionalen mit der internationalen Umfrage zeigte deutliche Unterschiede in der Wahl der Beatmungsparameter. Die wissenschaftliche Diskussion über beatmungsassoziierte Lungenschäden und mögliche Strategien zu ihrer Vermeidung findet international statt und Publikationen dazu finden sich in internationalen Fachzeitschriften. Trotzdem scheinen sich die Beatmungskonzepte

zwischen den Ländern zu unterscheiden. Wie solche Unterschiede zustande kommen, welche Einflussfaktoren eine Rolle spielen, und wie stark neuere Forschungsergebnisse das Handeln des Einzelnen beeinflussen, bleibt offen und überschreitet den Rahmen dieser Arbeit. Allerdings scheint es hier „Kulturen“ der ärztlichen Praxis innerhalb der Medizin zu geben. Die seltene intraoperative Applikation von PEEP in Frankreich ist beispielsweise ein Forschungsergebnis, welches das Bestehen einer solchen nationalen „Kultur“ nahe legt [10].

#### **4.2.9 Unterscheiden sich universitäre von nicht-universitären Beatmungskonzepten?**

Ein ausgeprägtes Sicherheitsbedürfnis bei der intraoperativen Beatmung in Praxen oder auch bestehende Dienstanweisungen können Gründe für Unterschiede in den Beatmungsregimes zwischen Universitätskliniken und Krankenhäusern der Schwerpunkt- und Regelversorgung oder Praxen darstellen.

Ein signifikanter Unterschied zwischen den Beatmungseinstellungen aus dem universitären und dem nicht-universitären *Setting* lag beispielsweise in der Wahl der Beatmungsmodi. An Universitäten gaben die Beschäftigten an, volumenkontrollierte Beatmungsmodi zu bevorzugen. An Kliniken der Schwerpunkt- und Regelversorgung und in Praxen Tätige bevorzugten demgegenüber druckkontrollierte Beatmungsmodi. Es existieren keine prospektiv randomisierten Studien, die die Überlegenheit von volumenkontrollierter oder druckkontrollierter intraoperativer Zwei-Lungen-Beatmung an Lungengesunden Patienten auf Endpunkte wie Oxygenierung, pulmonale Komplikationen oder Mortalität hin untersuchen. Für die intraoperative Ein-Lungen-Ventilation konnte allerdings keine Überlegenheit eines Beatmungsmodus festgestellt werden [69,70]. In den Freitextfeldern unserer Umfrage wurde darauf hingewiesen, dass in einigen Kliniken Dienstanweisungen existieren, die die Wahl eines bestimmten Beatmungsmodus vorschreiben. Dies könnte die Beantwortung dieser Frage beeinflusst haben.

#### **4.2.10 Unterscheiden sich die Beatmungskonzepte berufserfahrener Anästhesiologen von denen mit weniger Berufserfahrung?**

Mit großem Interesse haben wir beobachtet, dass Anästhesiologen mit weniger Jahren Berufserfahrung signifikant niedrigere Tidalvolumina als ihre erfahrenen Kollegen wählten. Interessant ist, dass sich zwar signifikante Unterschiede in der Wahl des Tidalvolumens in Abhängigkeit von der Berufserfahrung zeigten, sich diese jedoch hauptsächlich im Bereich zwischen 6 und 8 ml/kg PBW bewegen, also in einem

Bereich, der ohnehin schon als niedrig gilt. Die Anästhesiologen, deren Studium und Berufseinstieg weniger lange zurück liegen, sind mit der Debatte um protektive Beatmungsstrategien für ARDS-Patienten „groß geworden“ und wenden niedrige Tidalvolumina auch bei Lungengesunden an. Ihre erfahreneren Kollegen, deren Berufseinstieg und Studium länger zurück liegen, sind eventuell durch die damals geltenden Empfehlungen zum Gebrauch höherer Werte geprägt. Die fehlende Evidenz zur protektiven Beatmung von Patienten ohne vorbestehende Lungenerkrankungen während Operationen hält eventuell erfahrenere Anästhesiologen von dem Einsatz sehr niedriger Tidalvolumina ab.

Die weiblichen Studienteilnehmer gaben häufiger niedrige Tidalvolumina an als die männlichen. Eventuell steht dies auch im Zusammenhang mit der ärztlichen Berufserfahrung. Die weiblichen Anästhesiologen, die sich an unserer Umfrage beteiligten, hatten signifikant weniger Jahre an professioneller Berufserfahrung als die männlichen. Die Wahl niedriger Tidalvolumina könnte also weniger vom Geschlecht als vielmehr, wie oben bereits dargestellt, von der Berufserfahrung beeinflusst sein.

Bisher gibt es keine vergleichbaren Daten, welche eine Abhängigkeit der Beatmungsstrategie von der Berufserfahrung des Arztes, dem Ort seiner Tätigkeit oder seiner Nationalität zeigen. Es wäre sehr interessant diese Zusammenhänge anhand von klinisch erhobenen Daten weitergehend zu untersuchen.

### 4.3 Limitationen der Studie

Wir haben in dieser Studie die Selbsteinschätzung der Alltagsroutine abgefragt. Dieses Verfahren stellt nicht sicher, dass die Antworten der alltäglichen Praxis auch wirklich entsprechen. Die Angaben basieren auf Selbsteinschätzungen, die von der tatsächlich durchgeführten Praxis sowohl nach oben, wie auch nach unten abweichen könnten. Im Rahmen der hier gezeigten Arbeit gibt es keine Möglichkeit, die Angaben des Fragebogens mit prospektiv erhobenen Daten zu vergleichen. Allerdings ist von unserer Arbeitsgruppe geplant, die Daten unserer Umfrage mit den im Rahmen der LAS VEGAS (*Local ASsessment of VEntilatory management during General Anesthesia for Surgery*)-Studie erhobenen intraoperativen Daten zu vergleichen [71]. Diese Auswertung wird zeigen, ob oder inwiefern die Selbsteinschätzung der Anästhesiologen von den tatsächlich eingestellten Werten differiert.

Es wurde in den Kommentarfeldern des Fragebogens darauf hingewiesen, dass das angegebene Beatmungskonzept nicht auf alle Patienten angewendet werden kann. Der Fragebogen konnte die Vielzahl an spezifischen Situationen und besonderen Patienten nicht abbilden mit denen sich Anästhesiologen im Alltag konfrontiert sehen, so dass in der Eingangsinstruktion der Umfrage absichtlich nur wenige spezifische Informationen zu Situation oder Patient gegeben wurden. In den Freitextfeldern der Umfrage wurde auch auf Situationen hingewiesen, die die Anwendung von bestimmten Parametern, wie beispielsweise hohem PEEP oder Rekrutierungsmanövern verbieten, oder die freie Wahl der Beatmungsparameter einschränken, wie z.B. Voreinstellungen an Respiratoren, Dienstanweisungen der Kliniken oder auch der Wunsch des Operateurs.

Dass die erwähnten Eingangsinstruktionen zum Fragebogen in einigen Fällen missverstanden wurden, kann nicht ausgeschlossen werden. Obwohl die Fragen mit großer Sorgfalt formuliert wurden, könnten sie einen gewissen Interpretationsspielraum zugelassen haben. Auch ein *Bias* durch Beantwortungen auf der Basis vermutet „erwünschter“ oder vermeintlich „richtiger“ Angaben kann nicht sicher ausgeschlossen werden. Wir sind jedoch überzeugt, dass der Großteil der Befragten spontan und ehrlich geantwortet hat, da sowohl Anonymität wie auch fehlende positive oder gar negative Folgen der Beantwortung ein hohes Maß an *Bias* unwahrscheinlich machen. Wir sind daher überzeugt mit unserem Datenmaterial einen soliden und relevanten Beitrag zur Diskussion über lungenprotektive Beatmungsstrategien während elektiver chirurgischer Eingriffe zu leisten.

## 4.4 Schlussfolgerungen

Die Studien, in denen ein Vorteil der intraoperativen protektiven Beatmung festgestellt werden konnte, und die im Rahmen dieser Arbeit zitiert wurden, nutzten in ihren protektiven Beatmungsregimes Tidalvolumina zwischen 5 und 9 ml/kg PBW mit PEEP-Werten zwischen 6 und 10 cmH<sub>2</sub>O (Rekrutierungsmanöver gehörten bei zwei Studien zum protektiven Beatmungsregime) [42–44,68]. In den zitierten Metaanalysen, die einen *Benefit* protektiver Beatmung zeigen konnten, wurden innerhalb der protektiven Beatmungsregimes Tidalvolumina von im Mittel  $6,5 \pm 1,1$  bzw.  $6,1 \pm 0,9$  ml/kg PBW mit mittleren PEEP-Werten von  $6,4 \pm 2,4$  bzw.  $6,6 \pm 2,7$  cmH<sub>2</sub>O und in drei der analysierten Studien auch Rekrutierungsmanöver verwendet [45,58]. Von den befragten Anästhesiologen unserer Studie nutzten 90% niedrige Tidalvolumina von  $\leq 8$  ml/kg PBW. Die relativ angegebenen Werte ergaben ein medianes Tidalvolumen von 7 ml/kg PBW (IQR:2) und einen medianen PEEP von 5 cmH<sub>2</sub>O (IQR:0). Regelmäßige Rekrutierungsmanöver verwendeten nur 16% der Befragten. Es kann also die Schlussfolgerung gezogen werden, dass zwar niedrige Tidalvolumina routinemäßig angewendet werden, dass allerdings die eingesetzten PEEP-Werte etwas geringer sind, als jene für die in Kombination mit den niedrigen Tidalvolumina ein *Benefit* gezeigt werden konnte. Dies könnte bedeuten, dass die intraoperative Reduzierung der Tidalvolumina in der mutmaßlichen Absicht der Lungenprotektion ohne eine stärkere Erhöhung des PEEP und/oder die regelmäßige Durchführung von Rekrutierungsmanövern nicht zu der gewünschten Verhütung von postoperativen Lungenschäden führt. Die mit dieser Studie ermittelten und routinemäßig eingesetzten Parameter könnten eine Grundlage für weitere Testungen dieser Hypothese im Rahmen von klinischen Studien bieten.

Die Forschungsergebnisse im Bereich der intraoperativen lungenprotektive Beatmung lungengesunder Patienten sind kontrovers und weiterhin gibt es keine Evidenz welche Beatmungsstrategie VALI bei Lungengesunden verhindern kann. Daher erscheint eine abschließende Beurteilung der Ergebnisse dieser Umfrage voreilig. Sollte sich allerdings in Zukunft die Kombination aus niedrigen Tidalvolumina, hohem PEEP und der regelhaften (z.B. halbstündlichen) Durchführung von Rekrutierungsmanövern als protektiv erweisen, so ergäbe sich, nach den Ergebnissen dieser Umfrage ein Fortbildungsbedarf.

## VI Literaturverzeichnis

1. Gattinoni L, Protti A, Caironi P, Carlesso E. Ventilator-induced lung injury: the anatomical and physiological framework. *Crit Care Med.* Oktober 2010;38(10 Suppl):539–48.
2. Weiser TG, Regenbogen SE, Thompson KD, Haynes AB, Lipsitz SR, Berry WR, Gawande AA. An estimation of the global volume of surgery: a modelling strategy based on available data. *Lancet.* 12. Juli 2008;372(9633):139–44.
3. Tenney SM, Remmers JE. Comparative Quantitative Morphology of the Mammalian Lung: Diffusing Area. *Nature.* 5. Januar 1963;197(4862):54–6.
4. Bendixen HH, Smith GM, Mead J. Pattern of ventilation in young adults. *J Appl Physiol.* März 1964;19:195–8.
5. Visick WD, Fairley HB, Hickey RF. The effects of tidal volume and end-expiratory pressure on pulmonary gas exchange during anesthesia. *Anesthesiology.* September 1973;39(3):285–90.
6. Bendixen HH, Whyte H, Laver MB. Impaired Oxygenation in Surgical Patients during General Anesthesia with Controlled Ventilation. *N Engl J Med.* 1963;269(19):991–6.
7. Wyche MQ Jr, Teichner RL, Kallos T, Marshall BE, Smith TC. Effects of continuous positive-pressure breathing on functional residual capacity and arterial oxygenation during intra-abdominal operations: studies in man during nitrous oxide and d-tubocurarine anesthesia. *Anesthesiology.* Januar 1973;38(1):68–74.
8. Tokics L, Hedenstierna G, Strandberg A, Brismar B, Lundquist H. Lung collapse and gas exchange during general anesthesia: effects of spontaneous breathing, muscle paralysis, and positive end-expiratory pressure. *Anesthesiology.* Februar 1987;66(2):157–67.
9. 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. *Anesthesiology.* November 1999;91(5):1221–31.
10. Jaber S, Coisel Y, Chanques G, Futier E, Constantin J-M, Michelet P, Beaussier M, Lefrant J-Y, Allaouchiche B, Capdevila X, Marret E. A multicentre observational study of intra-operative ventilatory management during general anaesthesia: tidal volumes and relation to body weight. *Anaesthesia.* September 2012;67(9):999–1008.
11. Hedenstierna G. Gas exchange during anaesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand.* 1. September 1990;34:27–31.
12. Rothen HU, Sporre B, Engberg G, Wegenius G, Hedenstierna G. Re-expansion of atelectasis during general anaesthesia: a computed tomography study. *Br J Anaesth.* Dezember 1993;71(6):788–95.
13. David M, Bodenstein M, Markstaller K. Protective ventilation therapy. Also relevant for the operating room? *Anaesthesist.* Juli 2010;59(7):595–606.

14. Hedenstierna G. Oxygen and anesthesia: what lung do we deliver to the postoperative ward? *Acta Anaesthesiol Scand.* 1. Juli 2012;56(6):675–85.
15. Akça O, Podolsky A, Eisenhuber E, Panzer O, Hetz H, Lampl K, Lackner FX, Wittmann K, Grabenwoeger F, Kurz A, Schultz AM, Negishi C, Sessler DI. Comparable postoperative pulmonary atelectasis in patients given 30% or 80% oxygen during and 2 hours after colon resection. *Anesthesiology.* Oktober 1999;91(4):991–8.
16. Staehr AK, Meyhoff CS, Henneberg SW, Christensen PL, Rasmussen LS. Influence of perioperative oxygen fraction on pulmonary function after abdominal surgery: a randomized controlled trial. *BMC Res Notes.* 2012;5:383.
17. Greif R, Akça O, Horn E-P, Kurz A, Sessler DI. Supplemental Perioperative Oxygen to Reduce the Incidence of Surgical-Wound Infection. *N Engl J Med.* 2000;342(3):161–7.
18. Greif R, Laciny S, Rapf B, Hickie RS, Sessler DI. Supplemental oxygen reduces the incidence of postoperative nausea and vomiting. *Anesthesiology.* November 1999;91(5):1246–52.
19. Treschan TA, Zimmer C, Nass C, Stegen B, Esser J, Peters J. Inspired oxygen fraction of 0.8 does not attenuate postoperative nausea and vomiting after strabismus surgery. *Anesthesiology.* Juli 2005;103(1):6–10.
20. Hovaguimian F, Lysakowski C, Elia N, Tramèr MR. Effect of intraoperative high inspired oxygen fraction on surgical site infection, postoperative nausea and vomiting, and pulmonary function: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Anesthesiology.* August 2013;119(2):303–16.
21. Lumb AB, Walton LJ. Perioperative Oxygen Toxicity. *Anesthesiol Clin.* Dezember 2012;30(4):591–605.
22. Davis WB, Rennard SI, Bitterman PB, Crystal RG. Pulmonary oxygen toxicity. Early reversible changes in human alveolar structures induced by hyperoxia. *N Engl J Med.* 13. Oktober 1983;309(15):878–83.
23. Jackson RM. Pulmonary oxygen toxicity. *Chest.* Dezember 1985;88(6):900–5.
24. Pelosi P, Croci M, Ravagnan I, Cerisara M, Vicardi P, Lissoni A, Gattinoni L. Respiratory system mechanics in sedated, paralyzed, morbidly obese patients. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. März 1997;82(3):811–8.
25. Pelosi P, Croci M, Ravagnan I, Tredici S, Pedoto A, Lissoni A, Gattinoni L. The effects of body mass on lung volumes, respiratory mechanics, and gas exchange during general anesthesia. *Anesth Analg.* September 1998;87(3):654–60.
26. Gould AB Jr. Effect of obesity on respiratory complications following general anesthesia. *Anesth Analg.* August 1962;41:448–52.
27. Aldenkortt M, Lysakowski C, Elia N, Brochard L, Tramèr MR. Ventilation strategies in obese patients undergoing surgery: a quantitative systematic review and meta-analysis. *Br J Anaesth.* Oktober 2012;109(4):493–502.
28. Staehr AK, Meyhoff CS, Rasmussen LS, PROXI Trial Group. Inspiratory oxygen fraction and postoperative complications in obese patients: a subgroup analysis of the PROXI trial. *Anesthesiology.* Juni 2011;114(6):1313–9.

29. Fisher BW, Majumdar SR, McAlister FA. Predicting pulmonary complications after nonthoracic surgery: a systematic review of blinded studies. *Am J Med.* 15. Februar 2002;112(3):219–25.
30. Gajic O, Frutos-Vivar F, Esteban A, Hubmayr RD, Anzueto A. Ventilator settings as a risk factor for acute respiratory distress syndrome in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Med.* Juli 2005;31(7):922–6.
31. Gajic O, Dara SI, Mendez JL, Adesanya AO, Festic E, Caples SM, Rana R, St Sauver JL, Lymp JF, Afessa B, Hubmayr RD. Ventilator-associated lung injury in patients without acute lung injury at the onset of mechanical ventilation. *Crit Care Med.* September 2004;32(9):1817–24.
32. Determann RM, Royakkers A, Wolthuis EK, Vlaar AP, Choi G, Paulus F, Hofstra J-J, de Graaff MJ, Korevaar JC, Schultz MJ. Ventilation with lower tidal volumes as compared with conventional tidal volumes for patients without acute lung injury: a preventive randomized controlled trial. *Crit Care Lond Engl.* 2010;14(1):R1.
33. Caironi P, Ichinose F, Liu R, Jones RC, Bloch KD, Zapol WM. 5-Lipoxygenase deficiency prevents respiratory failure during ventilator-induced lung injury. *Am J Respir Crit Care Med.* 1. August 2005;172(3):334–43.
34. Slutsky AS. Lung injury caused by mechanical ventilation. *CHEST J.* 1. Juli 1999;116(suppl\_1):9S – 15S.
35. Tremblay LN, Slutsky AS. Ventilator-induced lung injury: from the bench to the bedside. *Intensive Care Med.* Januar 2006;32(1):24–33.
36. Pinhu L, Whitehead T, Evans T, Griffiths M. Ventilator-associated lung injury. *Lancet.* 25. Januar 2003;361(9354):332–40.
37. Sutherasan Y, D’Antini D, Pelosi P. Advances in ventilator-associated lung injury: prevention is the target. *Expert Rev Respir Med.* April 2014;8(2):233–48.
38. Ashbaugh DG, Bigelow DB, Petty TL, Levine BE. Acute respiratory distress in adults. *Lancet.* 12. August 1967;2(7511):319–23.
39. ARDS Definition Task Force, Ranieri VM, Rubenfeld GD, Thompson BT, Ferguson ND, Caldwell E, Fan E, Camporota L, Slutsky AS. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition. *JAMA J Am Med Assoc.* 20. Juni 2012;307(23):2526–33.
40. Putensen C, Theuerkauf N, Zinserling J, Wrigge H, Pelosi P. Meta-analysis: ventilation strategies and outcomes of the acute respiratory distress syndrome and acute lung injury. *Ann Intern Med.* 20. Oktober 2009;151(8):566–76.
41. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. The Acute Respiratory Distress Syndrome Network. *N Engl J Med.* 4. Mai 2000;342(18):1301–8.
42. Wolthuis EK, Choi G, Delsing MC, Bresser P, Lutter R, Dzoljic M, van der Poll T, Vroom MB, Hollmann M, Schultz MJ. Mechanical ventilation with lower tidal volumes and positive end-expiratory pressure prevents pulmonary inflammation in patients without preexisting lung injury. *Anesthesiology.* Januar 2008;108(1):46–54.

43. Choi G, Wolthuis EK, Bresser P, Levi M, van der Poll T, Dzoljic M, Vroom MB, Schultz MJ. Mechanical ventilation with lower tidal volumes and positive end-expiratory pressure prevents alveolar coagulation in patients without lung injury. *Anesthesiology*. Oktober 2006;105(4):689–95.
44. Severgnini P, Selmo G, Lanza C, Chiesa A, Frigerio A, Bacuzzi A, Dionigi G, Novario R, Gregoretti C, de Abreu MG, Schultz MJ, Jaber S, Futier E, Chiaranda M, Pelosi P. Protective mechanical ventilation during general anesthesia for open abdominal surgery improves postoperative pulmonary function. *Anesthesiology*. Juni 2013;118(6):1307–21.
45. Serpa Neto A, Cardoso SO, Manetta JA, Pereira VGM, Espósito DC, Pasqualucci M de OP, Damasceno MCT, Schultz MJ. Association between use of lung-protective ventilation with lower tidal volumes and clinical outcomes among patients without acute respiratory distress syndrome: a meta-analysis. *JAMA J Am Med Assoc*. 24. Oktober 2012;308(16):1651–9.
46. Treschan TA, Kaisers W, Schaefer MS, Bastin B, Schmalz U, Wania V, Eisenberger CF, Saleh A, Weiss M, Schmitz A, Kienbaum P, Sessler DI, Pannen B, Beiderlinden M. Ventilation with low tidal volumes during upper abdominal surgery does not improve postoperative lung function. *Br J Anaesth*. August 2012;109(2):263–71.
47. Levin MA, McCormick PJ, Lin HM, Hosseinian L, Fischer GW. Low intraoperative tidal volume ventilation with minimal PEEP is associated with increased mortality. *Br J Anaesth*. Juli 2014;113(1):97–108.
48. Wongsurakiat P, Pierson DJ, Rubenfeld GD. Changing Pattern of Ventilator Settings in Patients Without Acute Lung Injury. *Chest*. 1. Oktober 2004;126(4):1281–91.
49. Hess DR, Kondili D, Burns E, Bittner EA, Schmidt UH. A 5-year observational study of lung-protective ventilation in the operating room: a single-center experience. *J Crit Care*. August 2013;28(4):533.9–15.
50. Barrierefrei kommunizieren!- Bundesweites Kompetenz- und Referenzzentrum [Internet]. [zitiert 3. Dezember 2013]. Verfügbar unter: <http://www.barrierefrei-kommunizieren.de>
51. TIM-online NRW- Topographisches Informationsmanagement [Internet]. [zitiert 2. Dezember 2013]. Verfügbar unter: <http://www.tim-online.nrw.de>
52. Ihr Portal für medizinische Einrichtungen und Berufe [Internet]. [zitiert 2. Dezember 2013]. Verfügbar unter: <http://www.kliniken.de>
53. Gelbe Seiten Branchenbuch- Auskunft für Telefonnummern und Adressen in Deutschland [Internet]. [zitiert 2. Dezember 2013]. Verfügbar unter: <http://www.gelbeseiten.de>
54. Anästhesienetz NRW [Internet]. [zitiert 9. Mai 2014]. Verfügbar unter: <http://www.anaesthesienetz-nrw.de>
55. PROVENet [Internet]. [zitiert 9. Mai 2014]. Verfügbar unter: <https://sites.google.com/site/proveneteu/>
56. Outcomes Research Consortium [Internet]. [zitiert 9. Mai 2014]. Verfügbar unter: <http://www.or.org>

57. BÄK. Bundesärztekammer- Ergebnisse der Ärztestatistik zum 31. Dezember 2013 [Internet]. Bundesärztekammer. 2014 [zitiert 26. April 2014]. Verfügbar unter: <http://www.bundesaerztekammer.de>
58. Hemmes SNT, Serpa Neto A, Schultz MJ. Intraoperative ventilatory strategies to prevent postoperative pulmonary complications: a meta-analysis. *Curr Opin Anaesthesiol.* April 2013;26(2):126–33.
59. Gattinoni L, D’Andrea L, Pelosi P, Vitale G, Pesenti A, Fumagalli R. Regional effects and mechanism of positive end-expiratory pressure in early adult respiratory distress syndrome. *JAMA.* 28. April 1993;269(16):2122–7.
60. Borges JB, Okamoto VN, Matos GFJ, Carames MPR, Arantes PR, Barros F, Souza CE, Victorino JA, Kacmarek RM, Barbas CSV, Carvalho CRR, Amato MBP. Reversibility of lung collapse and hypoxemia in early acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med.* 1. August 2006;174(3):268–78.
61. Brower RG, Lanken PN, MacIntyre N, Matthay MA, Morris A, Ancukiewicz M, Schoenfeld D, Thompson BT, National Heart, Lung, and Blood Institute ARDS Clinical Trials Network. Higher versus lower positive end-expiratory pressures in patients with the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med.* 22. Juli 2004;351(4):327–36.
62. Santa Cruz R, Rojas JI, Nervi R, Heredia R, Ciapponi A. High versus low positive end-expiratory pressure (PEEP) levels for mechanically ventilated adult patients with acute lung injury and acute respiratory distress syndrome. *Cochrane Database Syst Rev.* 2013;(6):CD009098.
63. Imberger G, McIlroy D, Pace NL, Wetterslev J, Brok J, Møller AM. Positive end-expiratory pressure (PEEP) during anaesthesia for the prevention of mortality and postoperative pulmonary complications. *Cochrane Database Syst Rev.* 2010;(9):CD007922.
64. Barbosa FT, Castro AA, de Sousa-Rodrigues CF. Positive end-expiratory pressure (PEEP) during anaesthesia for prevention of mortality and postoperative pulmonary complications. *Cochrane Database Syst Rev.* 2014;(6):CD007922.
65. The PROVE Network Investigators, for the Clinical Trial Network of the European Society of Anaesthesiology. High versus low positive end-expiratory pressure during general anaesthesia for open abdominal surgery (PROVHILO trial): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet.* 30. Mai 2014;
66. Belda FJ, Aguilera L, García de la Asunción J, Alberti J, Vicente R, Ferrándiz L, Rodríguez R, Company R, Sessler DI, Aguilar G, Botello SG, Ortí R, Spanish Reduccion de la Tasa de Infeccion Quirurgica Group. Supplemental perioperative oxygen and the risk of surgical wound infection: a randomized controlled trial. *JAMA.* 26. Oktober 2005;294(16):2035–42.
67. Schietroma M, Cecilia EM, Sista F, Carlei F, Pessia B, Amicucci G. High-concentration supplemental perioperative oxygen and surgical site infection following elective colorectal surgery for rectal cancer: a prospective, randomized, double-blind, controlled, single-site trial. *Am J Surg.* November 2014;208(5):719–26.
68. Futier E, Constantin J-M, Paugam-Burtz C, Pascal J, Eurin M, Neuschwander A, Marret E, Beaussier M, Gutton C, Lefrant J-Y, Allaouchiche B, Verzilli D, Leone M, De Jong A, Bazin J-E, Pereira B, Jaber S, IMPROVE Study Group. A trial of

- intraoperative low-tidal-volume ventilation in abdominal surgery. *N Engl J Med.* 1. August 2013;369(5):428–37.
69. Pardos PC, Garutti I, Piñeiro P, Olmedilla L, de la Gala F. Effects of ventilatory mode during one-lung ventilation on intraoperative and postoperative arterial oxygenation in thoracic surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* Dezember 2009;23(6):770–4.
70. Unzueta MC, Casas JI, Moral MV. Pressure-controlled versus volume-controlled ventilation during one-lung ventilation for thoracic surgery. *Anesth Analg.* Mai 2007;104(5):1029–33.
71. Hemmes SNT, de Abreu MG, Pelosi P, Schultz MJ. ESA Clinical Trials Network 2012: LAS VEGAS--Local Assessment of Ventilatory Management during General Anaesthesia for Surgery and its effects on Postoperative Pulmonary Complications: a prospective, observational, international, multicentre cohort study. *Eur J Anaesthesiol.* Mai 2013;30(5):205–7.



...und wie beatmen Sie?

9. **Rekrutierungsmanöver führe ich durch...**  
 gar nicht  bei Bedarf  bei Oxygenierungsstörungen  vor der Extubation  nach Diskonnektion vom Respirator  nach endotrachealer Absaugung  in der folgenden Situation: \_\_\_\_\_  
 grundsätzlich bei allen Patienten  nach der Intubation  vor der Extubation  nach Diskonnektion vom Respirator  nach endotrachealer Absaugung  in der folgenden Situation: \_\_\_\_\_  
 grundsätzlich bei allen Patienten u. zusätzlich b. B.  bei Oxygenierungsstörungen  nach der Intubation  vor der Extubation  nach Diskonnektion vom Respirator  nach endotrachealer Absaugung  in der folgenden Situation: \_\_\_\_\_
10. **Zur Rekrutierung wähle ich dann...**  
 manuelle Blähmanöver mit Drucklimitation  maschinelle Atemzüge mit Drucklimitation  ein anderes Konzept, und zwar \_\_\_\_\_  
 Ich betreue keine Patienten mit Adipositas
11. **Im Allgemeinen wähle ich andere, als die oben genannten, intraoperativen Ventilatoreinstellungen typischerweise bei Patienten mit Adipositas...**  
 Nein  Ja
12. **Bei Patienten mit Adipositas nutze ich üblicherweise folgenden Beatmungsmodus...**  
 Ich ändere den Beatmungsmodus bei Adiposen nicht  Ich nutze beide Beatmungsformen gleichermaßen  
 druckkontrollierte Beatmung  volumenkontrollierte Beatmung
13. **Bei Patienten mit Adipositas nutze ich ein Tidalvolumen von...**  
 Diesen Parameter ändere ich nicht  1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  höher  
 Milliliter pro Kilogramm ideales Körpergewicht
14. **Bei Patienten mit Adipositas nutze ich einen PEEP von mindestens...**  
 Diesen Parameter ändere ich nicht  0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  höher  
 $f_{mhari} \Delta f_{rmH-OI}$  [% insp]
15. **Bei Patienten mit Adipositas nutze ich eine inspiratorische Sauerstoffkonzentration von...** (nicht während Ein- und Ausleitung)  
 Diesen Parameter ändere ich nicht  0  10  20  30  40  50  60  70  80  90  100
16. **Bei Patienten mit Adipositas nutze ich ein anderes Konzept** \_\_\_\_\_
17. **Folgendes möchte ich noch anmerken/hinzufügen** \_\_\_\_\_
- |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ich bin...</b><br><input type="radio"/> weiblich <input type="radio"/> männlich | <b>Ich arbeite in einer...</b><br><input type="radio"/> Klinik der Maximalversorgung/Uni-Klinik <input type="radio"/> Klinik der Schwerpunktversorgung <input type="radio"/> Klinik der Regelversorgung <input type="radio"/> Praxis | <b>Ich arbeite als...</b><br><input type="radio"/> Assistenzarzt/-ärztin <input type="radio"/> Facharzt/-ärztin <input type="radio"/> Oberarzt/-ärztin <input type="radio"/> Chefarzt/-ärztin | <b>Meine ärztliche Berufserfahrung beträgt Jahre</b><br><input type="radio"/> 0-5 <input type="radio"/> 6-10 <input type="radio"/> 11-20 <input type="radio"/> 21-30 <input type="radio"/> >30 |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## VIII Danksagung

Mein Dank gilt allen Anästhesiologen, die durch ihre Teilnahme an unserer Umfrage diese Untersuchung ermöglichten.

Mein Dank gilt meiner Betreuerin Frau Dr. med. Tanja Meyer-Treschan für die Idee zu dieser Arbeit, ihre intensive und engagierte Betreuung und ihre stete Ermutigung.

Mein Dank gilt Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Martin Beiderlinden für die Bereitschaft als Doktorvater diese Arbeit zu unterstützen.

Mein Dank gilt dem *Steering Committee* bestehend aus Sabine N.T. Hemmes, MD; Marcus J. Schultz, MD, PhD; Paolo Pelosi, MD, PhD und Marcelo Gama de Abreu, MD, PhD.

Mein Dank gilt dem *PROtective Ventilation Network* für die freundliche Unterstützung und Zusammenarbeit.

Mein Dank gilt Frau Dr. phil. Simone Weyers für die Unterstützung bei der Erstellung des Fragebogens.

Mein Dank gilt Martin Hienzsch und meiner Familie für die bedingungslose Unterstützung.

## **IX Eidesstattliche Versicherung**

Ich versichere an Eides statt, dass die Dissertation selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erstellt worden ist und die hier vorgelegte Dissertation nicht von einer anderen medizinischen Fakultät abgelehnt worden ist.

(Datum, Aurelia Werth)