

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Life Sciences

Untersuchung über den Einfluss von kontinuierlicher Herzdruckmassage auf
Beatmungsvolumina bei Nutzung unterschiedlicher Beatmungsmöglichkeiten- ein
Modellversuch

*Vergleich verschiedener Beatmungsgeräte bei unterschiedlichem sicherem Atemweg unter
kontinuierlicher Thoraxkompression an einem Reanimationsmodell*

Bachelorarbeit im Studiengang Rettungssingenieurwesen/Rescue Engineering

vorgelegt von

Peter Siebert

1956438

Hamburg

am 18. März 2014

Gutachter: Prof. Dr. Stefan Oppermann (HAW Hamburg)

Gutachter: Dr. Hartwig Marung (Asklepios Institut für Notfallmedizin)

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis und Zeichenerklärung.....	4
Abkürzungsverzeichnis und Zeichenerklärung für die Abbildungen.....	4
Einleitung.....	5
Material und Methode.....	7
Versuchsaufbau.....	7
Versuchsablauf bei endotracheal intubiertem Reanimationsmodell.....	10
Versuchsablauf bei supraglottisch intubiertem Reanimationsmodell.....	10
Versuchsablauf bei Druckniveaubeatmung (BiPaP und BiLevel).....	11
Durchführung der Versuche.....	12
Ergebnisse.....	14
Beatmungsvolumina und Leckage unter Verwendung von Beatmungsgerät A.....	14
Beatmungsvolumina und Leckage unter Verwendung von Beatmungsgerät B.....	16
Beatmungsvolumina und Leckage unter Verwendung von Beatmungsgerät C.....	19
Beatmungsvolumina und Leckage unter Verwendung von Beatmungsgerät D.....	21
Beatmungsvolumina und Leckage unter Verwendung von Beatmungsgerät E.....	25
Vergleich der Beatmungsvolumina und Leckage bei Grundmessung bei endotrachealer Intubation.....	28
Vergleich der Beatmungsvolumina und Leckage bei Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar bei endotrachealer Intubation.....	30
Vergleich der Beatmungsvolumina und Leckage bei Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 60 mbar/ bei maximaler Beatmungsdrucklimitierung bei endotrachealer Intubation.....	32
Vergleich der Beatmungsvolumina und Leckage bei druckkontrollierter-Beatmungsform (BiPAP/BiLevel) bei endotracheal intubiertem Reanimationsmodell.....	34
Vergleich der Beatmungsvolumina und Leckage bei Grundmessung bei einem mit einem Larynxtubus intubiertem Reanimationsmodell.....	36
Vergleich der Beatmungsvolumina und Leckage bei Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar bei einem mit einem Larynxtubus intubiertem Reanimationsmodell.....	38
Vergleich der Beatmungsvolumina und Leckage bei Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 60 mbar/ bei maximaler Beatmungsdrucklimitierung bei einem mit einem Larynxtubus intubiertem Reanimationsmodell.....	40
Vergleich der Beatmungsvolumina und Leckage bei druckkontrollierter-Beatmungsform (BiPAP/BiLevel) bei einem mit einem Larynxtubus intubiertem Reanimationsmodell.....	42
Diskussion.....	44
Undichtigkeit des Larynxtubus.....	44

Entstehung der höheren Differenzen zwischen Inspiration und Expiration unter Thoraxkompression	44
Geringere Leckagewerte bei höheren Beatmungsdrücken.....	45
Einfluss der Thoraxkompression auf die gemessenen Druckwerte in der Lunge	45
Der Larynxtubus ist, trotz großer Leckage, nur mit 60-70mbar geblockt	45
Probleme bei der Messung mit BiPAP/ BiLevel-Beatmungsgeräten.....	46
Leckagewerte und Inspirationsvolumina sind in der Grundmessung teilweise eindeutig unterschiedlich	47
Einfluss der Beatmungsdrucklimitierung auf die Leckagewerte	47
Einfluss der Thoraxkompression auf die Leckagewerte	47
Beatmungsgerät A	48
Beatmungsgerät B	48
Beatmungsgerät C	48
Beatmungsgerät D	49
Beatmungsgerät E	49
Direktvergleich der Beatmungsgeräte bei endotrachealer Intubation und Thoraxkompression	50
Direktvergleich der Beatmungsgeräte bei Intubation mit Larynxtubus und Thoraxkompression....	50
Empfehlungen	51
Fazit	53
Quellenverzeichnis	54
Anlagen.....	55
Bilder des Versuchsaufbaus	55
Statistikauswertung mit Statistikprogramm	61

Abkürzungsverzeichnis und Zeichenerklärung

Abkürzungsverzeichnis und Zeichenerklärung für die Abbildungen

A = Beatmungsgerät A

B = Beatmungsgerät B

C = Beatmungsgerät C

D = Beatmungsgerät D

E = Beatmungsgerät E

GM = Grundmessung

TK = Thoraxkompression

TK40 = Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar

TK60 = Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 60 mbar

TKmax = Thoraxkompression bei maximaler Beatmungsdrucklimitierung (entspricht 60 mbar)

ET = Endotrachealtubus

LT = Larynxtubus

DK = druckkontrollierter Beatmung (BiPaP/ BiLevel)

PCV = Pressure Controlled Ventilation

\bar{x} = arithmetisches Mittel / Mittelwert

KI = Konfidenzintervall

Einleitung

Das „International Liaison Committee on Resuscitation“, im Folgenden mit ILCOR abgekürzt, empfiehlt, dass bei der Reanimation ein Patient, bei dem der Atemweg durch ein Atemwegshilfsmittel gesichert ist, mit kontinuierlicher, also unterbrechungsfreier, Herzdruckmassage versorgt werden soll. Gleichzeitig trifft die ILCOR aber keine beweisbasierte Aussage, welche Form des Atemwegsmanagement (Larynxtubus vs. Endotrachealtubus) in Kombination mit einer Beatmungsmethode (Beatmung mit einem Beatmungsbeutel oder einem Beatmungsgerät) gewählt werden soll.

Die Reanimation (Wiederbelebung) von Menschen hat zwei zentrale Ziele: Die Wiederherstellung einer suffizienten Kreislauffunktion durch Herzdruckmassage und die ausreichende Sauerstoffversorgung durch Beatmung. Zu den erweiterten Maßnahmen gehört u. a. die Atemwegsicherung. Die effektive Kombination dieser Maßnahmen ist Gegenstand wissenschaftlicher Forschung. Weltweit werden alle veröffentlichten Ergebnisse zur Reanimation von der ILCOR ausgewertet und daraus Handlungsempfehlungen abgeleitet.

Bei Durchführung der Basismaßnahmen werden Beatmung und Herzdruckmassage im Wechsel durchgeführt. Eine optimale Frequenz und Abfolge ist nicht bekannt. Postuliertes Ziel sollte eine möglichst unterbrechungsfreie (kontinuierliche) Herzdruckmassage (HDM) sein, um ausreichende Blutdruckwerte und eine damit einhergehende Organperfusion zu erreichen. Bei intubierten Patienten wird nach aktuellen Empfehlungen eine kontinuierliche HDM möglich⁽¹⁾. Diese sollte erfolgen, da bei jeder Unterbrechung der HDM unter anderem der koronare Perfusionsdruck deutlich absinkt. Bei der Wiederaufnahme der HDM verzögert sich der Aufbau des koronaren Perfusionsdruckes. Daher garantiert eine unterbrechungsfreie HDM einen höheren mittleren koronaren Perfusionsdruck. Weiterhin kann der Einsatz eines automatischen Beatmungsgerätes im weiteren Verlauf der Maßnahmen erwogen werden. Dadurch hat das Notfallteam eine Aufgabe weniger durchzuführen, nämlich die Beatmung, und kann dadurch die vorhandenen Ressourcen

anderen Maßnahmen zuwenden. Über die Kombination dieser Techniken liegen bisher kaum Erfahrungen und keine Empfehlungen vor.

Es wurde von der ILCOR formuliert: „Es sind weitere Daten nötig über die Eignung von supraglottischen Atemwegshilfen bei kontinuierlicher HDM.“(2)

Laut Studien kann das Benutzen von Larynxtuben die Zeit ohne Blutfluss verringern(3).

Unter diesen Vorgaben ist Gegenstand dieser Arbeit herauszufinden, wie sich im Reanimationsmodell auf verschiedene Art und Weise applizierte Beatmungsvolumina unter kontinuierlicher HDM verhalten. Dafür werden Beatmungsvolumina bei endotrachealer Intubation und supraglottischer Intubation mit unterschiedlichen Beatmungsformen (Beutelbeatmung vs. Transportrespiratoren) verglichen. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass Beobachtungen an einem Modell durchgeführt werden, das nicht auf menschliche Verhältnisse übertragbar ist. Dennoch werden Hinweise zur Verbesserung der internationalen Leitlinien erhofft.

Material und Methode

Versuchsaufbau

Da es sich um eine Bachelorarbeit im Bereich Rettungsingenieurwesen handelt, wurde ein technischer Aufbau gewählt. Das Reanimationsmodell ist nicht mit dem menschlichen Körper vergleichbar. Die Lunge besteht aus einem Plastiksack, der durch den Brustkorb des Reanimationsmodells komprimiert wird, wenn dieser mit dem Thoraxkompressionsgerät komprimiert wird. Die Lunge kann im Thorax seitlich ausweichen, da bis auf den Brustkorb und die Auflagefläche der Lunge, kein geschlossener Brustkorb vorhanden ist. Die Anatomie des Mund-Rachen-Modells ist dem Menschen nachempfunden, aber bei Einsatz des Larynxtubus nicht dicht schließend. Dies liegt vermutlich an der fehlenden Feuchtigkeit und Weichheit des Modells, um sich dem Larynxtubus anzupassen.

Als Reanimationsmodell wird der Laerdal ALS Simulator (Resusci Anne Advanced Skilltrainer) von Laerdal Medical GmbH (Puchheim, Germany) verwendet. In die Atemwege des Modells ist ein Differenzdruckmessgerät DMG 3 von Kalinsky Sensor Elektronik (Erfurt) im Nebenstromverfahren angeschlossen. Die Daten des Differenzdruckmessgerätes werden mit Hilfe von LabVIEW (National Instruments Germany, München) ausgelesen.

Um die ein- und ausgeatmeten Volumina getrennt voneinander messen zu können, wurde ein spezielles Beatmungssystem konstruiert. Dieses besteht aus einem Y-Stück mit einem Inspirations- und einem Expirationszweig. In beiden Zweigen ist jeweils ein TSI 4040 (TSI Incorporated, Shoreview, Minnesota, USA) Volumenmessgerät eingesetzt. Im Y-Stück ist ein Einwegventil vorhanden, um zu garantieren, dass die Luft dem vorgegebenen Weg in und aus dem Modell folgt. Es wurden kurze Schläuche verwendet, um den Einfluss der Schlauchlänge möglichst gering zu halten. Die Messgeräte sind im Inspirationszweig direkt hinter der Beatmungsmöglichkeit und im Expirationszweig am distalen Ende angebracht. Dadurch ist ein konstanter Totraum vorhanden, der jedoch bei den Messungen zu vernachlässigen ist, da dieser Totraum sich nicht verändert. Die Volumenmessgeräte geben die Summe des Volumens pro Zeit aus.

Der Atemwiderstand ist durch den Versuchsaufbau und die Einwegventile erhöht. Dies könnte man ebenfalls vernachlässigen, da der Atemwiderstand des Versuchsaufbaus bei jedem Versuch konstant bleibt.

Am distalen Ende des Inspirationszweiges ist ein Normkonnektor angebracht, dort wird je nach Versuch ein Beatmungsbeutel oder ein Notfalltransportrespirator angeschlossen.

Die in Teilen der Versuche notwendige Thoraxkompression wird mit einem mechanischen Kompressionsgerät (LUCAS 2, Physio-Control, Meerbusch, Germany) durchgeführt. Dies ist nötig, um eine gleichbleibende Qualität der Thoraxkompression bei gleichbleibender Frequenz zu erhalten.

Nach Firmenangaben der Herstellerfirma des Reanimationsmodells, ist für dieses Reanimationsmodell idealerweise ein Endotrachealtubus der Größe 7,5 mm (ID) und ein Larynxtubus der Größe #5 zu verwenden, um die größtmögliche Dichtheit des Systems zu erreichen. Diese Aussage wurde dem Autor durch einen Vertreter der Herstellerfirma fernmündlich übertragen. Es kamen zum Einsatz: Endotrachealtubus Portex® Tracheal Tube mit einer Größe von 7,5 mm Innendurchmesser (ID)/ 10,2 mm Außendurchmesser (OD) (Smiths Medical International Ltd., Kent, UK) und Larynx-Tubus LT-D der Größe #5 (VBM Medizintechnik, Sulz a.N., Germany). Die Cuffs der Tuben werden mit einem Cuff-Druck-Messgerät (VBM Medizintechnik, Sulz a.N., Germany) überprüft und der Endotrachealtubus wird mit einem Cuffdruck von 22-32 mbar und der Larynxtubus mit einem Cuffdruck von 60-70 mbar geblockt.

Ziel der Versuche ist es, die Beatmung mit Beatmungsbeutel und die Beatmung mit unterschiedlichen Notfall- und Transportrespiratoren zu vergleichen. Dabei wird eine kontinuierliche Thoraxkompression durchgeführt. Um eine Aussage über eventuelle Undichtigkeiten beim Endotrachealtubus und beim Larynxtubus treffen zu können, vor allem im Hinblick auf die unterschiedlichen Cuff-Drücke, werden alle Versuche einmal beim endotracheal intubierten Modell und einmal beim supraglottisch intubiertem Modell durchgeführt. Die Intubation im Rahmen der Reanimation sorgt dafür, dass nach der Intubation eine kontinuierliche Thoraxkompression durchgeführt werden kann. Die endotracheale Intubation soll nur durch einen, in der Maßnahme trainierten Helfer

durchgeführt werden. Ist ein solcher Helfer nicht anwesend, kann über eine supraglottische Intubation nachgedacht werden (1).

Zur Verfügung stehende Beatmungsgeräte sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Zur Verfügung stehende Beatmungsgeräte

Bezeichnung	Gerätename	Hersteller
A	Beatmungsbeutel „Silicone Resuscitator Adult“	Laerdal Medical GmbH, Puchheim
B	MEDUMAT Standard	Weinmann Geräte für Medizin GmbH & Co. KG, Hamburg
C	Oxylog 1000	Dräger Medical Deutschland GmbH, Lübeck
D	MEDUMAT Transport	Weinmann Geräte für Medizin GmbH & Co. KG, Hamburg
E	Oxylog 3000+	Dräger Medical Deutschland GmbH, Lübeck

Versuchsablauf bei endotracheal intubiertem Reanimationsmodell

Um Vergleichswerte zu erhalten, wurde mit jedem Beatmungsgerät eine Messung ohne Thoraxkompression durchgeführt, im Folgenden als Grundmessung bezeichnet. Das Beatmungsgerät wurde so eingestellt, dass genau zehn Atemhübe pro Minute appliziert wurden. Diese Einstellung wurde dann für alle weiteren Versuche beibehalten. Die Grundmessung geht dabei von einem AMV von 5l/min und einem maximalen Druck von 40mbar aus. Als Grundbeatmungsform wurde IPPV (Intermittent Positive Pressure Ventilation= Beatmung mit intermittierend positivem Druck) gewählt. Für die Grundmessung wurden anschließend zehn Versuche mit einer Messdauer von jeweils 60 Sekunden durchgeführt. Dadurch konnte das Atemminutenvolumen bestimmt werden.

Diese Einstellungen wurden auch für die Messreihen mit Thoraxkompression gewählt. Da der Alltag im Rettungsdienst so aussieht, dass bei der Reanimation an den Beatmungsgeräten häufig ein höherer Druck gewählt wird, sollte dies auch in einer Messreihe im Rahmen dieser Arbeit berücksichtigt werden und eine Messung mit Pmax von 60mbar durchgeführt werden. Auch hier wurden zehn Versuche durchgeführt. Dies ist nötig, da die Erfahrung des Autors aus dem Rettungsdienst gezeigt hat, dass Beatmungsgeräte häufig bei niedrig eingestellten Drücken, das Druckmaximum erreichen und den Atemhub abbrechen.

Versuchsablauf bei supraglottisch intubiertem Reanimationsmodell

Alle vorherig beschriebenen Versuche werden auch bei liegenden Larynxtubus durchgeführt. So können Veränderungen beobachtet werden, die auf einem alternativen Atemweg beruhen.

Versuchsablauf bei Druckniveaubeatmung (BiPaP und BiLevel).

Um auch andere Beatmungsformen in die Betrachtung mit einbeziehen zu können, wurde bei den Transportrespiratoren mit entsprechender Funktion eine druckkontrollierte Beatmung durchgeführt und aufgezeichnet. Jedoch ist an dieser Stelle auf die Unterschiede zwischen dem Modell und dem humanen Thorax hinzuweisen. Beispielsweise ist der humane Thorax geschlossen, der Thorax im Modell ist es nicht. Jedoch vor allem bei der Thoraxkompression kann die Modelllunge zur Seite „ausweichen“.

BiPaP und BiLevel sind registrierte Markennamen von Beatmungsgeräteherstellern. Beide Formen sind druckkontrollierte Beatmungsformen, deren Gasaustausch durch Wechsel zwischen unterschiedlichen Druckniveaus bei der Inspiration und Expiration entsteht.

Durch den Erhalt eines Mindestdruckes in der Lunge bleibt das Lungengewebe leicht gebläht und muss beim nächsten Beatmungshub nicht erst wieder entfaltet werden.

Durchführung der Versuche

Die Durchführung der Versuche war bei den Beatmungsgeräten B bis E identisch. Vor der Grundmessung wurde das Atemminutenvolumen am jeweiligen Gerät auf 5 Liter, die Frequenz auf 10/min und die Beatmungsdrucklimitierung auf 40 mbar eingestellt. Das Reanimationsmodell wurde mit einem Tubus der Größe 7,5 intubiert und der Tubus wurde mit einem Tubushalter fixiert. Bevor die Grundmessung gestartet wurde, wurde überprüft, ob genau 10 Beatmungen in die 60 Sekunden Messzeit fielen. Das Gerät wurde entsprechend eingestellt. Während aller Versuche wurde regelmäßig der Cuffdruck überprüft.

Nach Durchführung der Grundeinstellung wurde die Grundmessung durchgeführt. Dafür wurde die Messung möglichst kurz vor Beginn einer Beatmung manuell gestartet. Es wurden zehn Messungen mit jeweils 60 Sekunden Messdauer durchgeführt.

Nach Einstellen des mechanischen Kompressionsgerätes (Zentrieren des Stempels, Einstellen der Thoraxhöhe und der Kompressionsfrequenz 100/min ohne Beatmungspausen) wurde die zweite Messreihe durchgeführt. Es wurden wieder zehn Messungen mit einer Dauer von 60 Sekunden durchgeführt.

Da im Rettungsdienstalltag bei Reanimationen die Beatmungsdruckbegrenzung bei Beatmungsgeräten häufig auf „Maximal“ gestellt wird (siehe S.10), sollte dies bei den Versuchen berücksichtigt werden. Aus diesem Grund wurden die Versuche mit Thoraxkompression bei maximaler Beatmungsdrucklimitierung (in diesem Fall 60mbar) wiederholt.

Beatmungsgerät B und C bieten keine unterschiedlichen Beatmungsformen, daher wurde hiernach bereits der komplette Versuch mit einem supraglottisch intubiertem Reanimationsmodell (LT Größe #5) wiederholt. Der Versuchsablauf wurde identisch wie oben beschrieben.

Die Werte von Inspiration und Expiration, sowie die Druckwerte kurz vor der Lunge wurden gemessen, aufgezeichnet und in Tabellenform aufgearbeitet. Um die Werte vergleichen zu können, wurden die Differenzen zwischen der Inspiration und der Expiration errechnet. Die

sich daraus ergebenden Werte wurden ins Verhältnis zur Inspiration gesetzt, sodass das Ergebnis in Prozent dargestellt werden kann. Da jeweils zehn Messungen pro Messreihe durchgeführt wurden, wurden anschließend die Mittelwerte berechnet und zugrunde gelegt. Die in den Tabellen angegebenen Werte entsprechen hierdurch dem Mittelwert von zehn Messungen einer Messdauer von 60 Sekunden. Dadurch lassen sich die Messreihen einfacher vergleichen.

Die gemessene Leckage („L“) in Prozent ist die Differenz von Inspiration und Expiration im Verhältnis zur Inspiration.

$$L = \frac{\textit{Inspiration} - \textit{Expiration}}{\textit{Inspiration}} * 100\%$$

Bei den Beatmungsgeräten D und E wurden auch andere mögliche Beatmungsformen untersucht (BiPaP und BiLevel).

Bei Beatmungsgerät A wurden die zehn Beatmungen manuell in 60s durchgeführt.

Ergebnisse

Alle Ergebnisse wurden bei der Statistikerstellung auf Ausreißer geprüft. Die Ausreißer wurden dann aus den Ergebnissen gestrichen. Das bedeutet dass die folgenden Ergebnisse ohne Ausreißer dargestellt werden. Dieses Verfahren ist laut Sachverständigen Prof. Dr. Marc Schütte (HAW Hamburg) zulässig.

Beatmungsvolumina und Leckage unter Verwendung von Beatmungsgerät A

Endotracheal intubiertes Reanimationsmodell

Beim endotracheal intubierten Reanimationsmodell lässt sich der Wert der Leckage in der Grundmessung mit dem Wert der Leckage bei Thoraxkompression vergleichen. Hier steht 4,4 % (KI: 4,3-4,5 %) einem Wert von 6,3 % (KI: 6,0-6,6 %) gegenüber (siehe Tabelle 2 auf S. 14 und Abbildung 1 auf S. 15). Der Wert bei der Thoraxkompression ist eindeutig größer als der Wert während der Grundmessung ($p=0,000$) (siehe Anlage Statistik 1).

Tabelle 2: Volumen- und Leckagewert bei Beatmungsgerät A und endotrachealer Intubation

Beatmungsgerät A ET	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Unter- grenze	Ober- grenze
Grundmessung	6,326	6,046	0,280	4,4	4,3	4,5
Thoraxkompression	6,543	6,131	0,412	6,3	6,0	6,6

Supraglottisch intubiertes Reanimationsmodell

Der Versuch beim supraglottisch intubierten Reanimationsmodell zeigt, dass die Leckagen in Bezug auf die Inspiration größer sind, als beim endotracheal intubierten Reanimationsmodell.

In der Grundmessung besteht eine Leckage von 30,8 % (KI: 30,4-31,3 %) und bei der Thoraxkompression von 46,3 % (KI: 45,6-47,0 %) (siehe Tabelle 3 auf S. 15 und Abbildung 1

auf S. 15). Der Wert der Leckage L bei der Thoraxkompression ist eindeutig größer als der Wert bei der Leckage L bei der Grundmessung ($p=0,000$) (siehe Anlage Statistik 1).

Tabelle 3: Volumen- und Leckagewert bei Beatmungsgerät A und supraglottischer Intubation

Beatmungsgerät A LT	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Unter- grenze	Ober- grenze
Grundmessung	5,905	4,084	1,821	30,8	30,4	31,3
Thoraxkompression	5,578	2,993	2,585	46,3	45,6	47,0

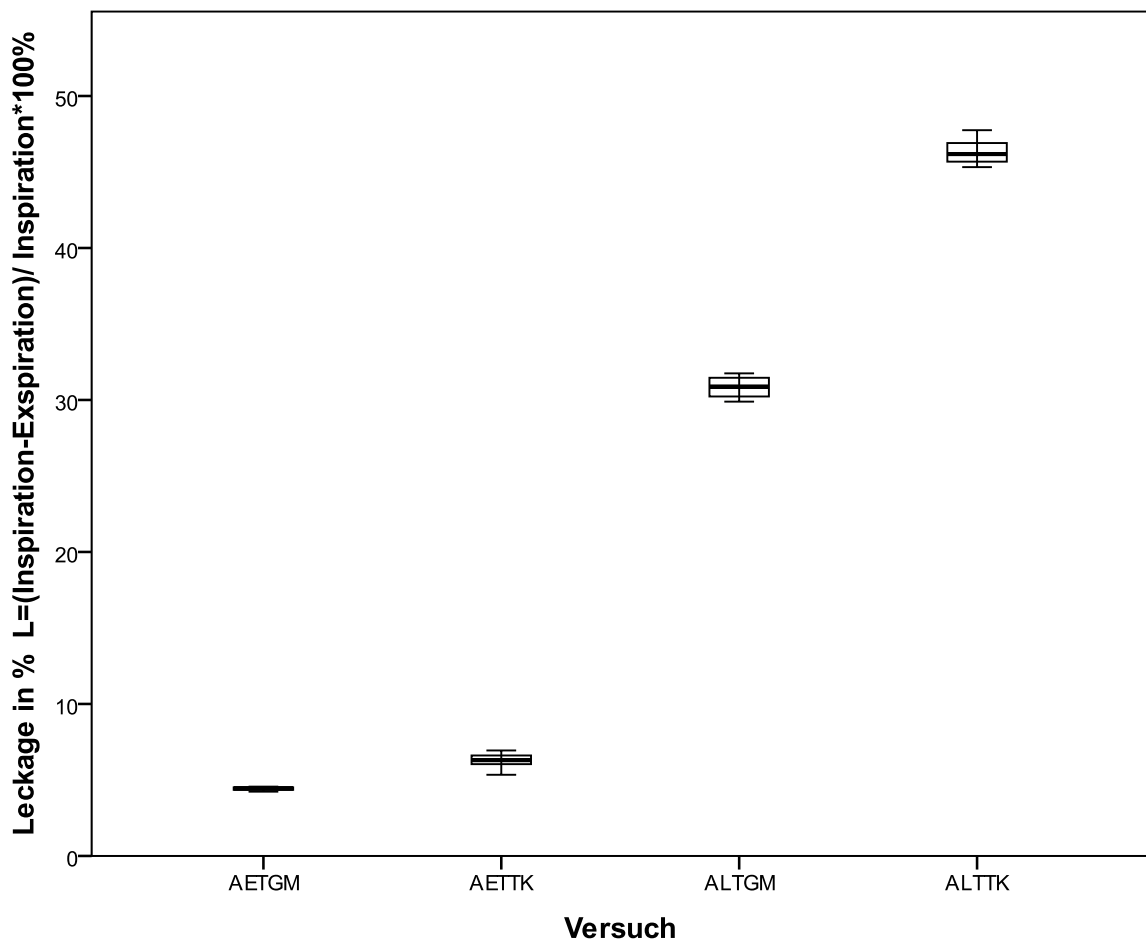


Abbildung 1: Vergleich zwischen Grundmessung und Thoraxkompression bei unterschiedlichem Atemweg bei Beatmungsgerät A (Abkürzungen siehe S. 4)

Beatmungsvolumina und Leckage unter Verwendung von Beatmungsgerät B

Endotracheal intubiertes Reanimationsmodell

Ist das Reanimationsmodell mit einem Endotrachealtubus intubiert, ist die Leckage zwischen Grundmessung und Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar um 2,0 % vergrößert (siehe Tabelle 4 auf S. 16 und Abbildung 2 auf S. 18). Zwischen Grundmessung und Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 60 mbar ist die Leckage um 1,6 % vergrößert. Die Leckage von 8,1 % (KI: 8,0-8,1 %) bei Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar ist eindeutig größer als die Leckage von 6,1 % (KI: 6,1-6,2 %) während der Grundmessung ($p=0,000$) (siehe Anlage Statistik 2). Genauso ist die Leckage von 7,7 % (KI: 7,6-7,8 %) während der Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 60 mbar eindeutig größer als die Leckage bei der Grundmessung ($p=0,000$). Die Leckage zwischen den beiden Messreihen Thoraxkompression, also Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar Beatmungsdruck und einer Leckage von 8,1 % und Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 60 mbar Beatmungsdruck mit einer Leckage von 7,7 % beträgt 0,4 % und die Werte unterscheiden sich eindeutig ($p=0,000$).

Tabelle 4: Volumen- und Leckagewert bei Beatmungsgerät B und endotrachealer Intubation

Beatmungsgerät B ET	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Unter- grenze	Ober- grenze
Grundmessung	4,880	4,581	0,299	6,1	6,1	6,2
Thoraxkompression 40 mbar	4,710	4,330	0,380	8,1	8,0	8,1
Thoraxkompression 60 mbar	5,103	4,710	0,393	7,7	7,6	7,8

Supraglottisch intubiertes Reanimationsmodell

Beim Reanimationsmodell, intubiert mit einem Larynxtubus, ist die Leckage der Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar von 51,3 % (KI: 51,2-51,3 %) eindeutig größer als die Leckage der Grundmessung mit 36,9 % (KI: 36,9-36,9 %) ($p=0,000$) (siehe Anlage Statistik 2). Ebenso ist der Unterschied der Leckagen zwischen der Grundmessung und der Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 60 mbar mit einer Leckage von 50,5 % (KI: 50,4-50,6) eindeutig ($p=0,000$). Der Unterschied der Leckagen bei Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar und Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 60 mbar beträgt 0,8 % und ist ebenfalls eindeutig ($p=0,000$) (siehe Tabelle 5 auf S. 17 und Abbildung 2 auf S. 18).

Tabelle 5: Volumen- und Leckagewert bei Beatmungsgerät B und supraglottischer Intubation

Beatmungsgerät B LT	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Unter- grenze	Ober- grenze
Grundmessung	5,203	3,283	1,920	36,9	36,9	36,9
Thoraxkompression 40 mbar	5,474	2,667	2,807	51,3	51,2	51,3
Thoraxkompression 60 mbar	5,502	2,722	2,780	50,5	50,4	50,6

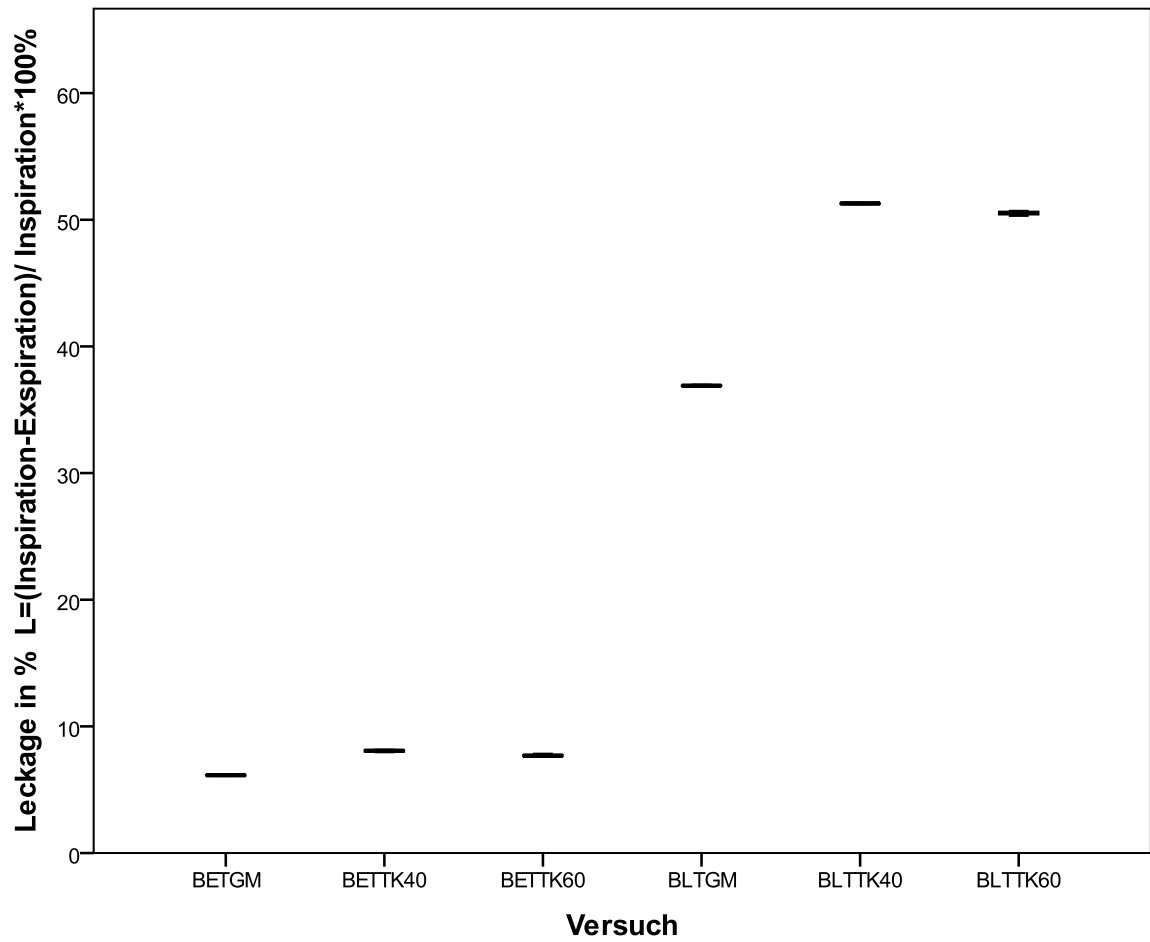


Abbildung 2: Vergleich zwischen Grundmessung und Thoraxkompression bei unterschiedlichem Atemweg bei Beatmungsgerät B (Abkürzungen siehe S. 4)

Beatmungsvolumina und Leckage unter Verwendung von Beatmungsgerät C

Endotracheal intubiertes Reanimationsmodell

Das endotracheal intubierte Reanimationsmodell hat in der Grundmessung eine Leckage von 3,2 % (KI: 3,1-3,2 %) (siehe Tabelle 6 auf S. 19 und Abbildung 3 auf S. 20) Unter Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar beträgt die Leckage 6,7% (KI: 6,6-6,8 %). Der Wert der Leckage der Thoraxkompression ist eindeutig größer als der Wert der Leckage der Grundmessung ($p=0,000$). Bei Thoraxkompression bei maximaler Beatmungsdrucklimitierung (entspricht 60 mbar) beträgt die Leckage 6,6 % (KI: 6,5-6,6 %) und ist damit eindeutig größer als der Wert der Leckage bei der Grundmessung ($p=0,000$). Es besteht kein Unterschied zwischen den Leckagewerten bei Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar und Thoraxkompression bei maximaler Beatmungsdrucklimitierung ($p=0,643$) (siehe Anlage Statistik 3).

Tabelle 6: Volumen- und Leckagewert bei Beatmungsgerät C und endotrachealer Intubation

Beatmungsgerät C ET	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Unter- grenze	Ober- grenze
Grundmessung	5,109	4,948	0,161	3,2	3,1	3,2
Thoraxkompression 40 mbar	4,861	4,536	0,325	6,7	6,6	6,8
Thoraxkompression Pmax	5,032	4,702	0,330	6,6	6,5	6,6

Supraglottisch intubiertes Reanimationsmodell

Bei dem Reanimationsmodell das mit einem Larynx-tubus intubiert ist, beträgt die Leckage bei der Grundmessung 30,6 % (KI: 30,5-30,8 %) (siehe Tabelle 7 auf S. 20 und Abbildung 3 auf S. 20). Dies ist ein Unterschied von 18,3 % zur Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar (KI: 48,7-49,1 %) und 17,7 % zur Thoraxkompression bei maximaler Beatmungsdrucklimitierung (KI: 48,2-48,3 %). Die Werte der Leckagen der beiden Thoraxkompressionen, bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar und bei maximaler Beatmungsdrucklimitierung, sind eindeutig größer als bei der

Grundmessung ($p=0,000$). Der Leckagewert der Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar ist eindeutig größer als der Leckagewert bei Thoraxkompression bei maximaler Beatmungsdrucklimitierung ($p=0,000$) (siehe Anlage Statistik 3).

Tabelle 7: Volumen- und Leckagewert bei Beatmungsgerät C und supraglottischer Intubation

Beatmungsgerät C LT	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Unter- grenze	Ober- grenze
Grundmessung	5,250	3,643	1,608	30,6	30,5	30,8
Thoraxkompression 40 mbar	5,204	2,657	2,547	48,9	48,7	49,1
Thoraxkompression Pmax	5,202	2,691	2,511	48,3	48,2	48,3

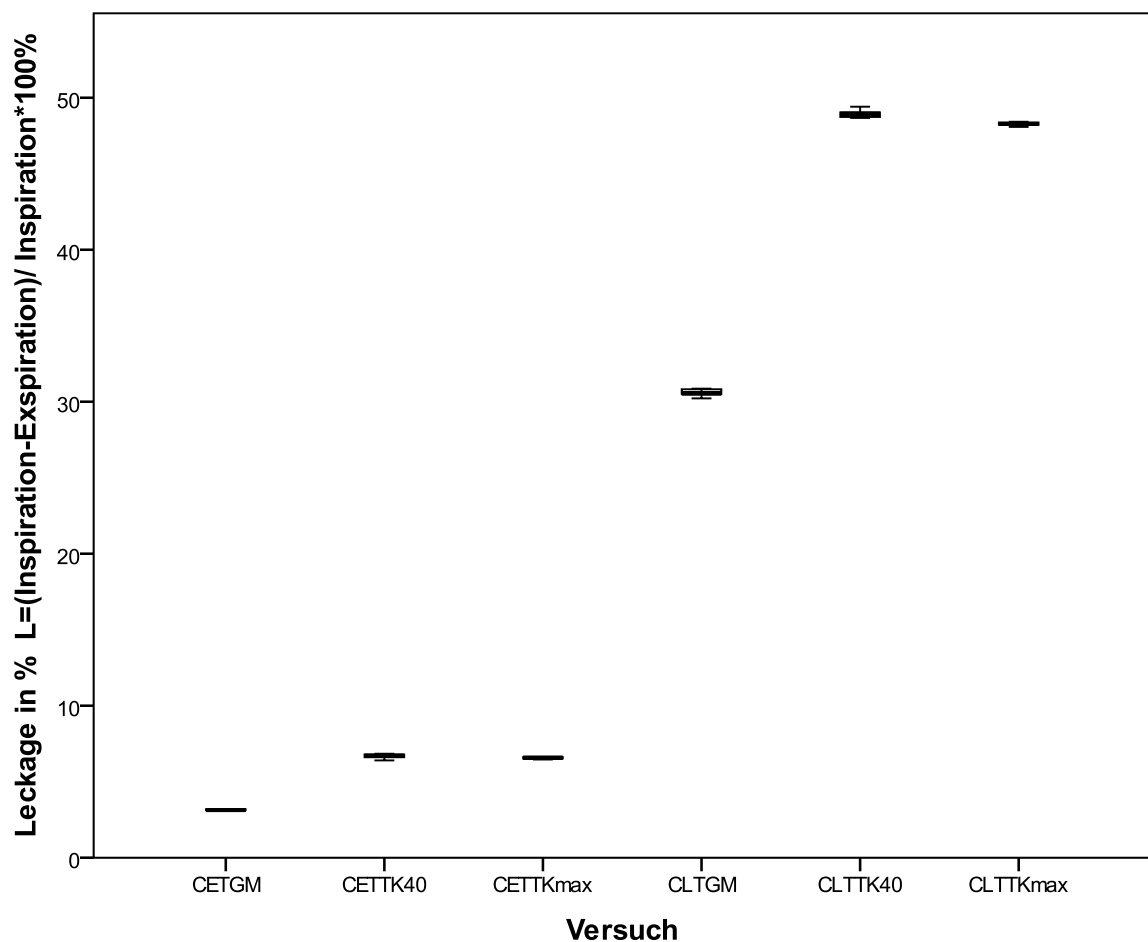


Abbildung 3: Vergleich zwischen Grundmessung und Thoraxkompression bei unterschiedlichem Atemweg bei Beatmungsgerät C (Abkürzungen siehe S. 4)

Beatmungsvolumina und Leckage unter Verwendung von Beatmungsgerät D

Endotracheal intubiertes Reanimationsmodell

Das endotracheal intubierte Reanimationsmodell zeigt in der Grundmessung eine Leckage von 3,6 % (KI: 3,6-3,6 %) (siehe Tabelle 8 auf S. 21 und Abbildung 4 auf S. 24). Die Leckage unter Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar beträgt 6,4 % (KI: 6,2-6,6 %). Die Leckage der Thoraxkompression ist eindeutig größer, als die Leckage der Grundmessung ($p=0,000$) (siehe Anlage Statistik 4). Die Leckage unter Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 60 mbar beträgt 6,7 % (KI: 6,3-7,0 %). Die Leckage der Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 60 mbar ist eindeutig größer als die Leckage bei der Grundmessung ($p=0,000$). Vergleicht man die beiden Leckagen unter Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar und bei Beatmungsdrucklimitierung von 60 mbar miteinander, fällt eine Differenz von 0,3% auf, die nicht eindeutig unterschiedlich ist ($p=1,000$).

Tabelle 8: Volumen- und Leckagewert bei Beatmungsgerät D und endotrachealer Intubation

Beatmungsgerät D ET	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Unter- grenze	Ober- grenze
Grundmessung	6,149	5,927	0,222	3,6	3,6	3,6
Thoraxkompression 40 mbar	5,918	5,542	0,376	6,4	6,2	6,6
Thoraxkompression 60 mbar	6,079	5,674	0,405	6,7	6,3	7,0

Bei der BiPaP/BiLevel Beatmung ist der Leckagewert bei der Grundmessung 4,1 % (KI: 3,8-4,4 %) und unter Thoraxkompression (Inspirationsdruck=20 mbar; Maximaldruck=40 mbar; PEEP=0 mbar; $f=10/\text{min}$; Inspirations- zu Expirationsverhältnis=1:1,5) beträgt der Wert 13,6 % (KI: 12,2-15,0 %) (siehe Tabelle 9 auf S. 22). Der Wert der Leckage der Thoraxkompression ist also eindeutig größer als der Wert der Leckage bei der Grundmessung ($p=0,000$) (siehe Anlage Statistik 4).

Tabelle 9: Volumen- und Leckagewert bei Beatmungsgerät D und endotrachealer Intubation bei druckkontrollierter Beatmung

Beatmungsgerät D ET (BiPaP/BiLevel)	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Unter- grenze	Ober- grenze
Grundmessung	6,963	6,677	0,286	4,1	3,8	4,4
Thoraxkompression	4,881	4,217	0,664	13,6	12,2	15,0

Bei Wahl der druckkontrollierten Beatmungsform PCV (PCV=pressure controlled ventilation), mit den Werten inspiratorischer Druck 20 mbar und Maximaldruck 40 mbar bei einem Inspirations- zu Expirationsverhältnis von 1 zu 1,5 beträgt der Leckagewert in der Grundmessung 5,9 % (KI: 5,6-6,1 %). Während der Thoraxkompression beträgt der Leckagewert 4,4 % (KI: 4,1-4,6 %). Der Leckagewert während der Thoraxkompression ist eindeutig kleiner als der Leckagewert während der Grundmessung (p=0,000), allerdings wird weniger Luft verabreicht als in der Grundmessung.

Die dazugehörigen Volumenwerte sind in Tabelle 10 aufgeführt.

Tabelle 10: Volumen- und Leckagewert bei Beatmungsgerät D und endotrachealer Intubation bei PCV-Beatmung

Beatmungsgerät D ET (PCV)	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Unter- grenze	Ober- grenze
Grundmessung	6,114	5,756	0,358	5,9	5,6	6,1
Thoraxkompression	3,535	3,381	0,154	4,4	4,1	4,6

Supraglottisch intubiertes Reanimationsmodell

Ist das Reanimationsmodell mit einem Larynx-tubus intubiert, sind die Leckagewerte deutlich größer. Im Vergleich der Grundmessung mit der Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar ergibt sich ein Unterschied von 15,8 % (Grundmessung 33,4 % (KI: 33,3-33,5 %); Thoraxkompression 40 mbar 49,2 % (KI: 48,8-49,5 %)) (siehe Tabelle 11 auf S. 23 und Abbildung 4 auf S. 24). Vergleicht man die Grundmessung mit der Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 60 mbar sieht man einen Unterschied von 15,5 % (Grundmessung 33,4 % (KI: 33,3-33,5 %); Thoraxkompression 60 mbar 48,9 % (KI: 48,6-49,2 %)). Die Leckagewerte der Thoraxkompressionen mit unterschiedlichen Drucklimitierungen sind eindeutig größer als

der Leckagewert der Grundmessung ($p=0,000$). Die Leckagewerte zwischen Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar und Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 60 mbar unterscheiden sich nicht eindeutig ($p=1,000$) (siehe Anlage Statistik 4).

Tabelle 11: Volumen- und Leckagewert bei Beatmungsgerät D und supraglottischer Intubation

Beatmungsgerät D LT	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Unter- grenze	Ober- grenze
Grundmessung	6,049	4,030	2,019	33,4	33,3	33,5
Thoraxkompression 40 mbar	6,005	3,054	2,951	49,2	48,8	49,5
Thoraxkompression 60 mbar	5,965	3,048	2,917	48,9	48,6	49,2

Wird das Reanimationsmodell druckkontrolliert BiPaP/BiLevel (mit Larynxtrubus intubiert) beatmet, hat es in der Grundmessung eine Leckage von 36,0 % (KI: 35,4-36,6 %) und unter Thoraxkompression von 57,8 % (KI: 57,6-58,0 %) (siehe Tabelle 12 auf S. 23). Der Leckagewert der Thoraxkompression ist eindeutig größer als der Leckagewert in der Grundmessung ($p=0,000$) (siehe Anlage Statistik 4).

Tabelle 12: Volumen- und Leckagewert bei Beatmungsgerät D und supraglottischer Intubation bei druckkontrollierter Beatmung

Beatmungsgerät D LT (BiPaP/BiLevel)	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Unter- grenze	Ober- grenze
Grundmessung	9,217	5,900	3,317	36,0	35,4	36,6
Thoraxkompression	7,472	3,155	4,317	57,8	57,6	58,0

Wird das Reanimationsmodell druckkontrolliert (PCV) beatmet, hat es in der Grundmessung bereits eine Leckage von 46,5 % (KI: 46,0-46,9 %) und unter Thoraxkompression eine Leckage von 61,1 % (KI: 60,7-61,4 %). Die Leckage unter Thoraxkompression ist eindeutig größer als die Leckage bei der Grundmessung ($p=0,000$) (siehe Anlage Statistik 4) und beträgt 14,6 %. Die Werte der Volumina sind in Tabelle 13 auf S. 24 dargestellt.

Tabelle 13: Volumen- und Leckagewert bei Beatmungsgerät D und supraglottischer Intubation bei PCV-Beatmung

Beatmungsgerät A LT (PCV)	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Unter- grenze	Ober- grenze
Grundmessung	9,632	5,156	4,476	46,5	46,0	46,9
Thoraxkompression	7,180	2,795	4,385	61,1	60,7	61,4

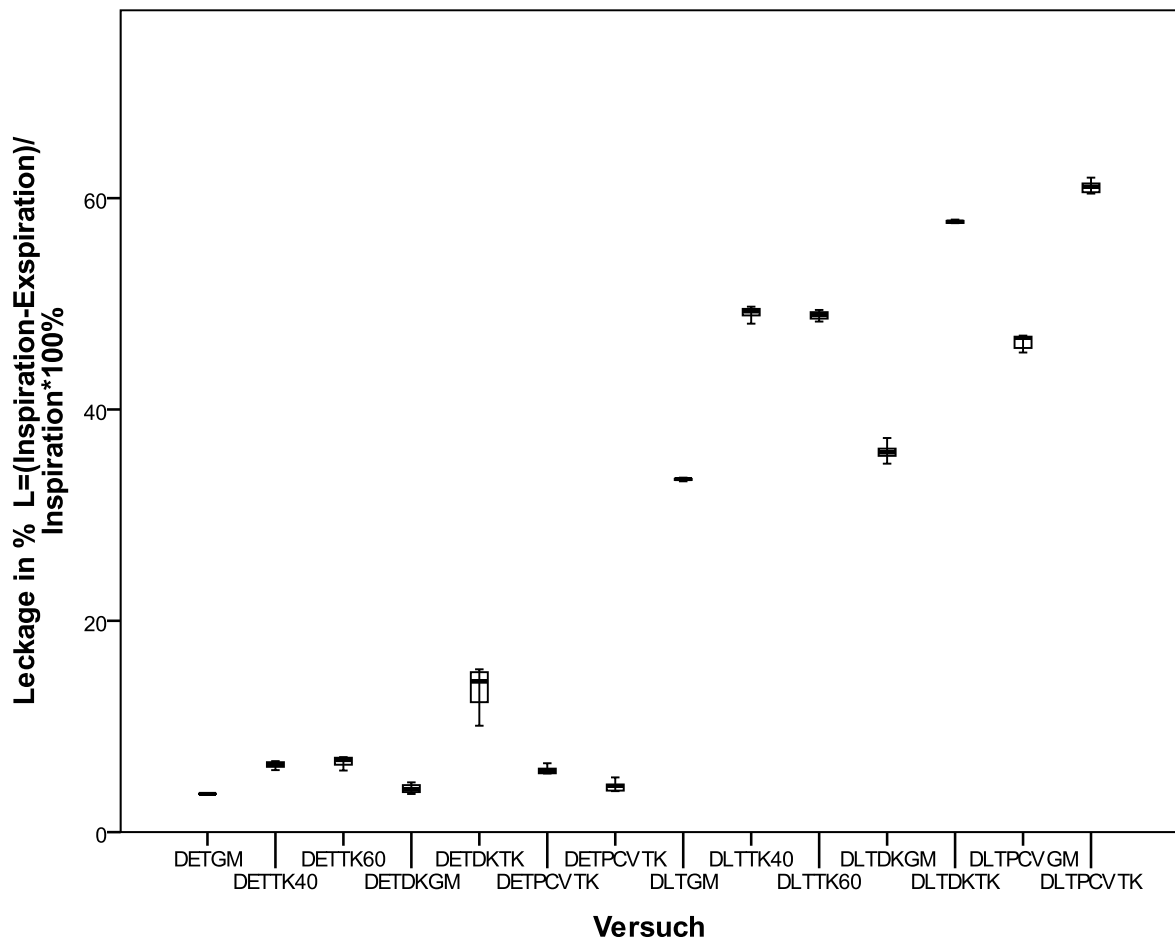


Abbildung 4: Vergleich zwischen Grundmessung und Thoraxkompression bei unterschiedlichem Atemweg bei Beatmungsgerät D (Abkürzungen siehe S. 4)

Beatmungsvolumina und Leckage unter Verwendung von Beatmungsgerät E

Endotracheal intubiertes Reanimationsmodell

Die Leckage der Grundmessung beim endotracheal intubierten Reanimationsmodell beträgt 5,7 % (KI: 5,4-6,1 %) (siehe Tabelle 14 auf S. 25 und Abbildung 5 auf S. 27). Bei Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar beträgt die Leckage 7,3 % (KI: 7,2-7,3 %). Das entspricht einer Differenz von 1,6 % und ist nicht eindeutig unterschiedlich ($p=0,988$) (siehe Anlage Statistik 5). Die Differenz der Leckage von Grundmessung und Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 60 mbar (Leckage 7,1 % (KI: 7,1-7,1 %)) beträgt 1,4 %. Auch diese Differenz ist nicht eindeutig unterschiedlich ($p=1,000$). Die Differenz der Leckagen zwischen der Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar und der Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 60 mbar beträgt 0,2 % und ist damit nicht unterschiedlich ($p=1,000$).

Tabelle 14: Volumen- und Leckagewert bei Beatmungsgerät E und endotrachealer Intubation

Beatmungsgerät E ET	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Unter- grenze	Ober- grenze
Grundmessung	4,325	4,077	0,248	5,7	5,4	6,1
Thoraxkompression 40 mbar	4,261	3,952	0,309	7,3	7,2	7,3
Thoraxkompression 60 mbar	4,308	4,003	0,305	7,1	7,1	7,1

Wird das Reanimationsmodell dann druckkontrolliert BiPaP/BiLevel beatmet, beträgt die Leckage bei der Grundmessung 3,8 % (KI: 3,8-4,0 %) und unter Thoraxkompression 10,1 % (KI: 8,4-11,8 %) (siehe Tabelle 15 auf S. 26). Das entspricht einer Differenz von 6,2 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$).

Tabelle 15: Volumen- und Leckagewert bei Beatmungsgerät E und endotrachealer Intubation bei druckkontrollierter Beatmung

Beatmungsgerät E ET (BiPaP/BiLevel)	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Unter- grenze	Ober- grenze
Grundmessung	6,125	5,884	0,241	3,9	3,8	4,0
Thoraxkompression	3,946	3,548	0,398	10,1	8,4	11,8

Supraglottisch intubiertes Reanimationsmodell

Ist das Reanimationsmodell mit einem Larynxtubus intubiert, beträgt die Differenz der Leckagen zwischen der Grundmessung und der Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar 4,1 %. Der Leckagewert bei Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar von 51,6 % (KI: 51,4-51,8 %) ist größer als der Leckagewert in der Grundmessung von 47,5 % (KI: 45,5-49,5 %) ($p=0,021$). Der Leckagewert der Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 60 mbar von 51,4 % (KI: 50,9-51,9 %) ist ebenfalls größer als der Leckagewert in der Grundmessung von 47,5 % ($p=0,022$). Die Differenz der beiden Thoraxkompressionen von 0,2 % ist nicht eindeutig unterschiedlich ($p=1,000$).

Tabelle 16: Volumen- und Leckagewert bei Beatmungsgerät E und supraglottischer Intubation

Beatmungsgerät E LT	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Unter- grenze	Ober- grenze
Grundmessung	4,366	2,290	2,076	47,5	45,5	49,5
Thoraxkompression 40 mbar	4,451	2,156	2,295	51,6	51,4	51,8
Thoraxkompression 60 mbar	4,500	2,186	2,314	51,4	50,9	51,9

Bei der druckkontrollierten BiPaP/BiLevel-Beatmung beträgt die Leckage der Grundmessung 54,5 % (KI: 53,2-55,8 %) und die Leckage unter Thoraxkompression 61,4 % (KI: 60,8-62,0 %) (siehe Tabelle 17 auf S. 27). Das entspricht einer Differenz von 6,9 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$).

Tabelle 17: Volumen- und Leckagewert bei Beatmungsgerät E und supraglottischer Intubation bei druckkontrollierter Beatmung

Beatmungsgerät E LT (BiPaP/BiLevel)	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Unter- grenze	Ober- grenze
Grundmessung	8,575	3,901	4,674	54,5	53,2	55,8
Thoraxkompression	6,875	2,652	4,223	61,4	60,8	62,0

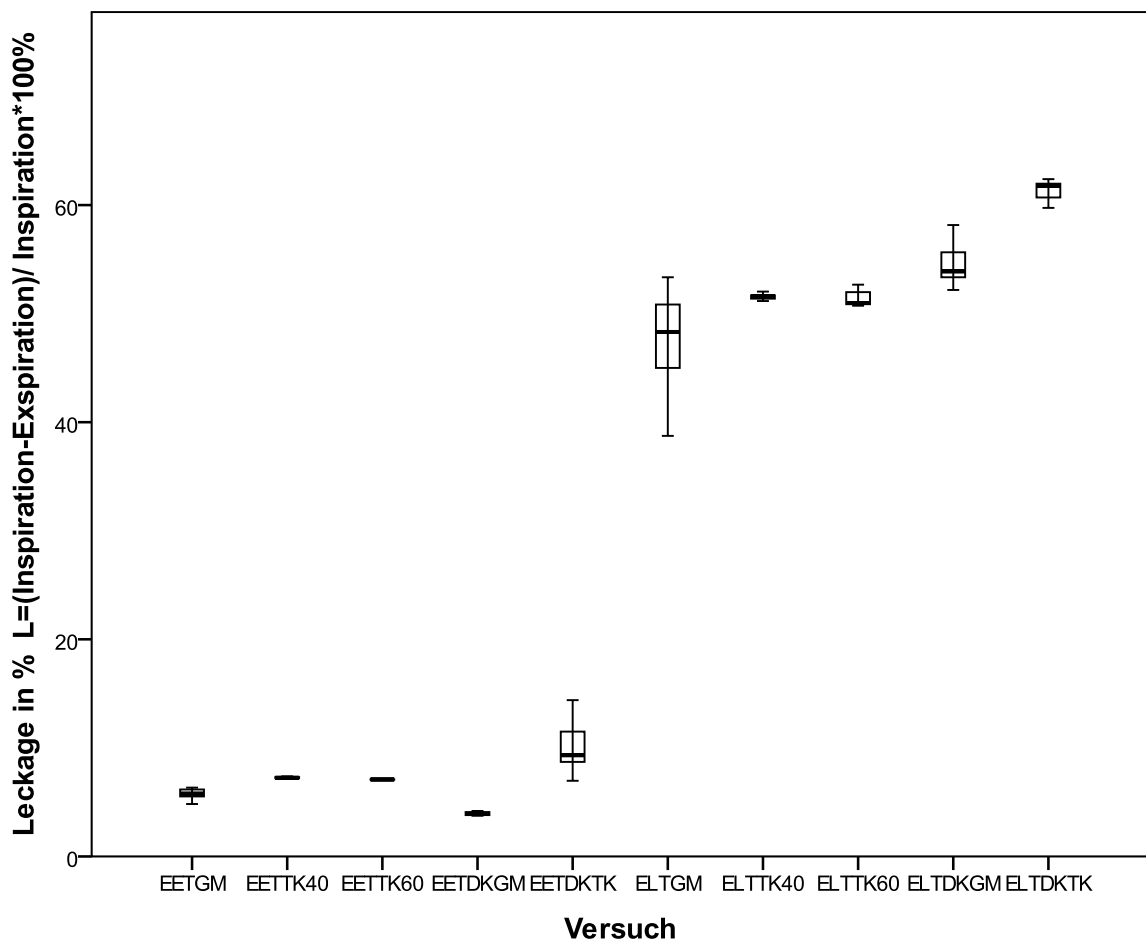


Abbildung 5: Vergleich zwischen Grundmessung und Thoraxkompression bei unterschiedlichem Atemweg bei Beatmungsgerät E (Abkürzungen siehe S. 4)

Vergleich der Beatmungsvolumina und Leckage bei Grundmessung bei endotrachealer Intubation

Ist das Reanimationsmodell mit einem Endotrachealtubus intubiert, beträgt die Leckage beim Beatmungsgerät A 4,4 % (KI: 4,3-4,5 %) und beim Beatmungsgerät B 6,1 % (KI: 6,1-6,2 %) (siehe Tabelle 18 auf S. 28 und Abbildung 6 auf S. 29). Das entspricht einer Differenz von 1,7 %, der Unterschied ist eindeutig ($p=0,000$) (siehe Anlage Statistik 6). Das Beatmungsgerät C hat eine Leckage von 3,2 % (KI: 3,1-3,2 %) was einer Differenz zum Beatmungsgerät A von 1,2 % entspricht. Diese Differenz ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$). Das Beatmungsgerät D hat eine Leckage von 3,6 % (KI: 3,6-3,6 %). Die Differenz zu Beatmungsgerät A beträgt 0,8 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$). Das Beatmungsgerät E hat eine Leckage von 5,7 % (KI: 5,4-6,1 %). Hier beträgt die Differenz zu Beatmungsgerät A 1,3 % was ebenfalls eindeutig unterschiedlich ist ($p=0,000$). Die Leckagen von Beatmungsgerät B und E sind größer als beim Beatmungsgerät A.

Die Differenz zwischen den Leckagen von Beatmungsgerät B und Beatmungsgerät C beträgt 2,9 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$). Die Differenz zwischen den Leckagen von Beatmungsgerät B und Beatmungsgerät D beträgt 2,5 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$). Die Differenz zwischen den Leckagen von Beatmungsgerät B und Beatmungsgerät E beträgt 0,4 % und ist unterschiedlich ($p=0,017$).

Der Unterschied der Leckagen von Beatmungsgerät C und Beatmungsgerät D beträgt 0,4 % und ist unterschiedlich ($p=0,009$). Der Unterschied der Leckagen von Beatmungsgerät C und Beatmungsgerät E beträgt 2,5 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$).

Die Differenz der Leckagen von Beatmungsgerät D und Beatmungsgerät E beträgt 2,1 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$).

Tabelle 18: Vergleich der Volumen- und Leckagewerte bei endotrachealer Intubation in der Grundmessung

Beatmungsgerät	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Untergrenze	Obergrenze
A	6,326	6,046	0,280	4,4	4,3	4,5
B	4,880	4,581	0,299	6,1	6,1	6,2
C	5,109	4,948	0,161	3,2	3,1	3,2
D	6,149	5,927	0,222	3,6	3,6	3,6
E	4,325	4,077	0,248	5,7	5,4	6,1

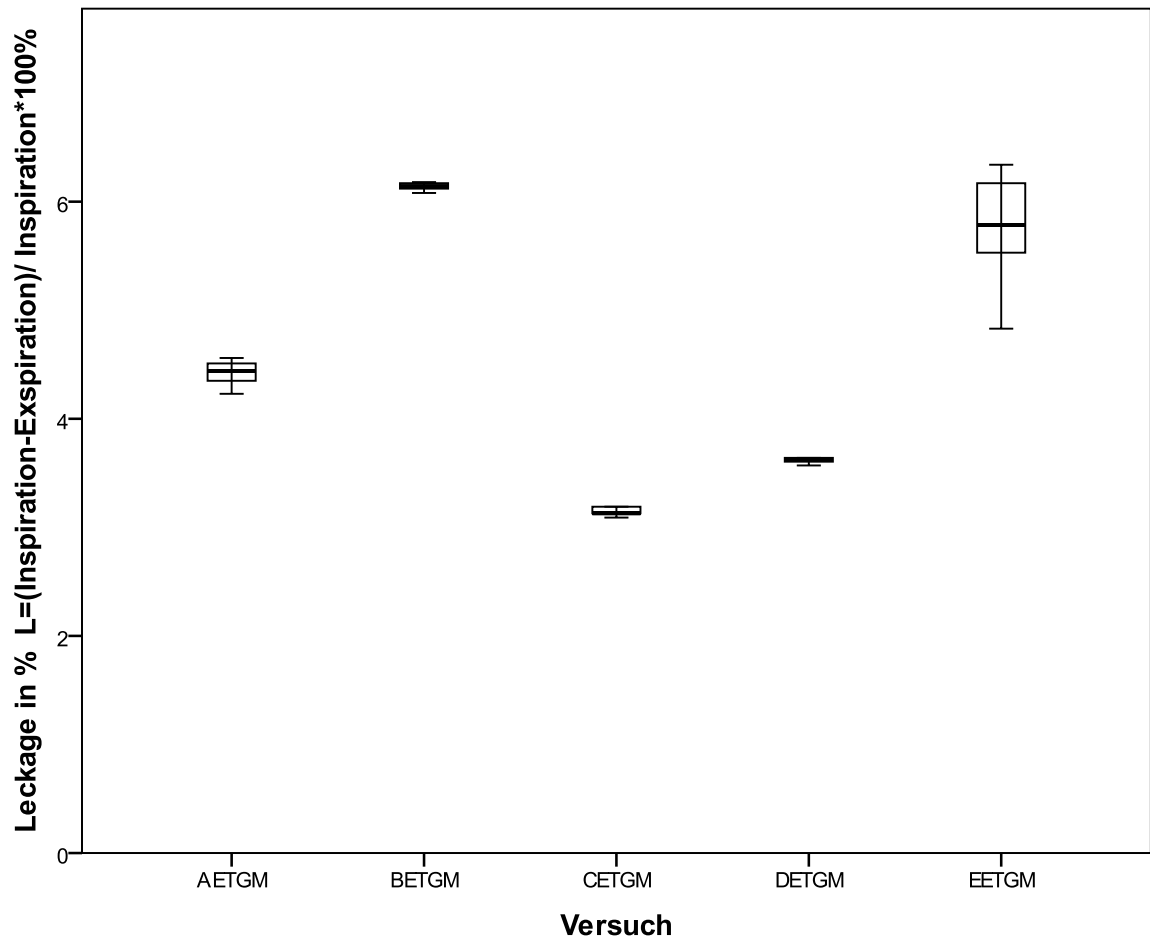


Abbildung 6: Vergleich der Leckagen bei Grundmessung bei endotracheal intubiertem Reanimationsmodell (Abkürzungen siehe S. 4)

Vergleich der Beatmungsvolumina und Leckage bei Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar bei endotrachealer Intubation

Beim endotracheal intubiertem Reanimationsmodell beträgt die Leckage bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar bei Beatmungsgerät A 6,3 % (KI: 6,0-6,6 %) (Thoraxkompression ohne Beatmungsdrucklimitierung), bei Beatmungsgerät B 8,1 % (KI: 8,0-8,1 %), bei Beatmungsgerät C 6,7 % (KI: 6,6-6,8 %), bei Beatmungsgerät D 6,4 % (KI: 6,2-6,6 %) und bei Beatmungsgerät E 7,3 % (KI: 7,2-7,3 %) (siehe Tabelle 19 auf S. 31 und Abbildung 7 auf S. 31). Die Differenz der Leckagen zwischen Beatmungsgerät A und Beatmungsgerät B beträgt 1,8 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$) (siehe Anlage Statistik 7). Zwischen Beatmungsgerät A und Beatmungsgerät C beträgt die Differenz der Leckagen 0,4 % und ist nicht unterschiedlich ($p=0,053$). Die Differenz der Leckagen zwischen Beatmungsgerät A und Beatmungsgerät D beträgt 0,1 % und ist nicht unterschiedlich ($p=0,992$). Zwischen Beatmungsgerät A und Beatmungsgerät E beträgt der Unterschied zwischen den Leckagen 1,0 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$).

Die Unterschiede zwischen den Leckagen der Beatmungsgeräte B und C beträgt 1,4 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$). Zwischen den Beatmungsgeräten B und D beträgt die Differenz 1,7 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$). Der Unterschied der Leckagen der Beatmungsgeräte B und E beträgt 0,8 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$).

Die Differenz der Leckagen von Beatmungsgerät C und Beatmungsgerät D beträgt 0,3 % und ist nicht unterschiedlich ($p=0,142$). Zwischen Beatmungsgerät C und Beatmungsgerät E beträgt die Differenz der Leckagen 0,6 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,002$).

Bei den Beatmungsgeräten D und E beträgt die Differenz der Leckagen 0,9 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$).

Tabelle 19: Vergleich der Volumen-und Leckagewerte bei endotrachealer Intubation bei Thoraxkompression mit maximalem Beatmungsdruck von 40 mbar

Beatmungsgerät	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Untergrenze	Obergrenze
A	6,543	6,131	0,412	6,3	6,0	6,6
B	4,710	4,330	0,380	8,1	8,0	8,1
C	4,861	4,536	0,325	6,7	6,6	6,8
D	5,918	5,542	0,376	6,4	6,2	6,6
E	4,261	3,952	0,309	7,3	7,2	7,3

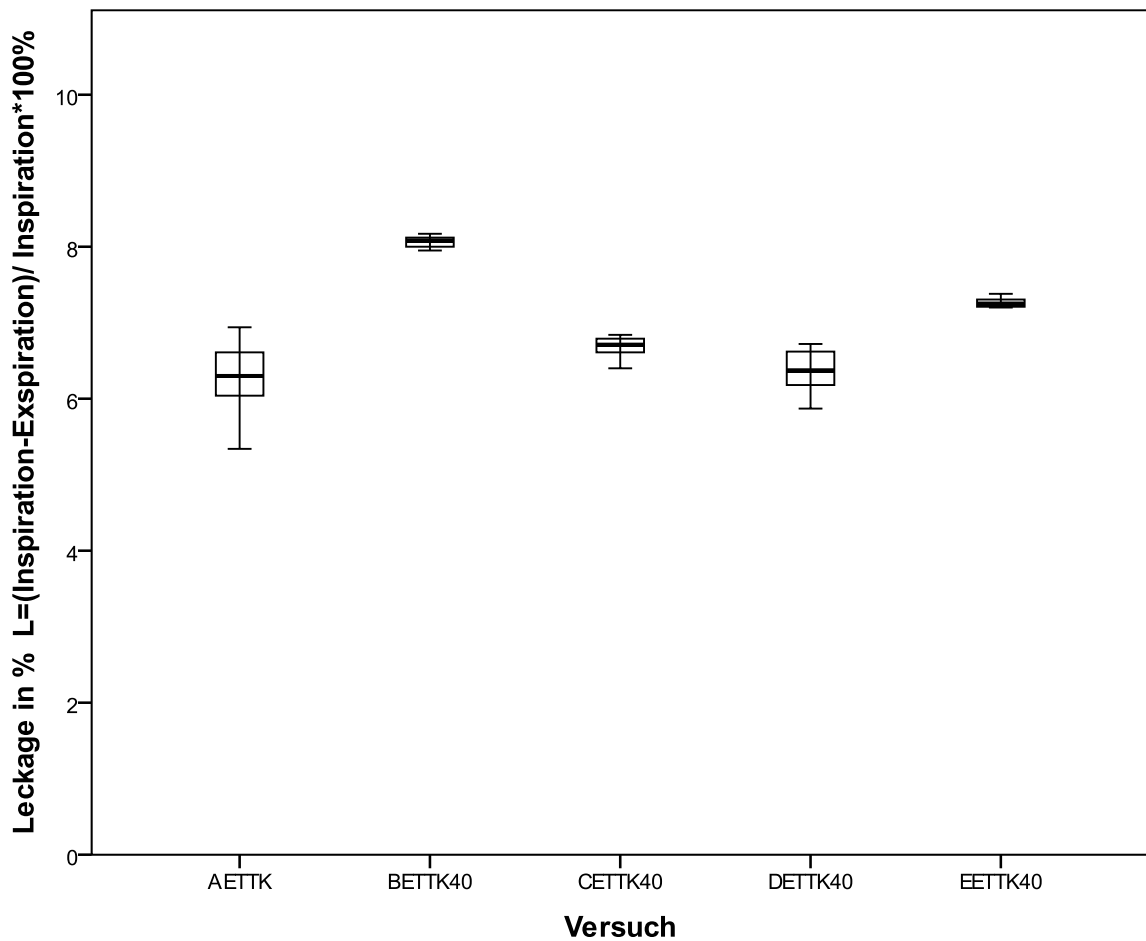


Abbildung 7: Vergleich der Leckagen bei Thoraxkompression bei maximaler Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar bei einem endotracheal intubiertem Reanimationsmodell (Abkürzungen siehe S. 4)

Vergleich der Beatmungsvolumina und Leckage bei Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 60 mbar/ bei maximaler Beatmungsdrucklimitierung bei endotrachealer Intubation

Bei einem Reanimationsmodell unter Thoraxkompression mit maximaler Beatmungsdrucklimitierung (60 mbar), das mit einem endotrachealen Tubus intubiert ist, beträgt die Leckage von Beatmungsgerät A 6,3 % (KI: 6,0-6,6 %) (Thoraxkompression ohne Beatmungsdrucklimitierung) und von Beatmungsgerät B 7,7 % (KI: 7,6-7,8 %) (siehe Tabelle 20 auf S. 33 und Abbildung 8 auf S. 33). Das entspricht einer Differenz von 1,4 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$) (siehe Anlage Statistik 8). Das Beatmungsgerät C hat eine Leckage von 6,6 % (KI: 6,5-6,6 %), was einer Differenz zu Beatmungsgerät A von 0,3 % entspricht und nicht unterschiedlich ist ($p=0,504$). Beatmungsgerät D hat eine Leckage von 6,7 % (KI: 6,3-7,0 %). Dies entspricht einer Differenz zu Beatmungsgerät A von 0,4 %, was ebenfalls nicht unterschiedlich ist ($p=0,167$). Beatmungsgerät E hat eine Leckage von 7,1 % (KI: 7,1-7,1 %), was einer Differenz zu Beatmungsgerät A von 0,8 % entspricht und eindeutig unterschiedlich ist ($p=0,017$).

Die Differenz der Leckagen zwischen Beatmungsgerät B und Beatmungsgerät C beträgt 1,1 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$). Vergleicht man Beatmungsgerät B mit Beatmungsgerät D sieht man eine Differenz von 1,0 %, die eindeutig unterschiedlich ist ($p=0,000$). Beatmungsgerät B und Beatmungsgerät E haben eine Differenz von 0,6 %, die nicht unterschiedlich ist ($p=0,117$).

Vergleicht man die Leckagen von Beatmungsgerät C mit Beatmungsgerät D, ist dort eine Differenz von 0,1 % vorhanden, die nicht eindeutig unterschiedlich ist ($p=0,960$). Die Differenz zwischen Beatmungsgerät C und Beatmungsgerät E beträgt 0,5 % und ist nicht unterschiedlich ($p=0,216$).

Beim Vergleich der Leckagen von Beatmungsgerät D und Beatmungsgerät E ist eine Differenz von 0,4 % vorhanden, die nicht eindeutig unterschiedlich ist ($p=0,454$).

Tabelle 20: Vergleich der Volumen- und Leckagewerte bei endotrachealer Intubation bei Thoraxkompression mit maximalem Beatmungsdruck von 60 mbar/ maximal möglicher Beatmungsdrucklimitierung

Beatmungsgerät	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Untergrenze	Obergrenze
A	6,543	6,131	0,412	6,3	6,0	6,6
B	5,103	4,710	0,393	7,7	7,6	7,8
C	5,032	4,702	0,330	6,6	6,5	6,6
D	6,079	5,674	0,405	6,7	6,3	7,0
E	4,308	4,003	0,305	7,1	7,1	7,1

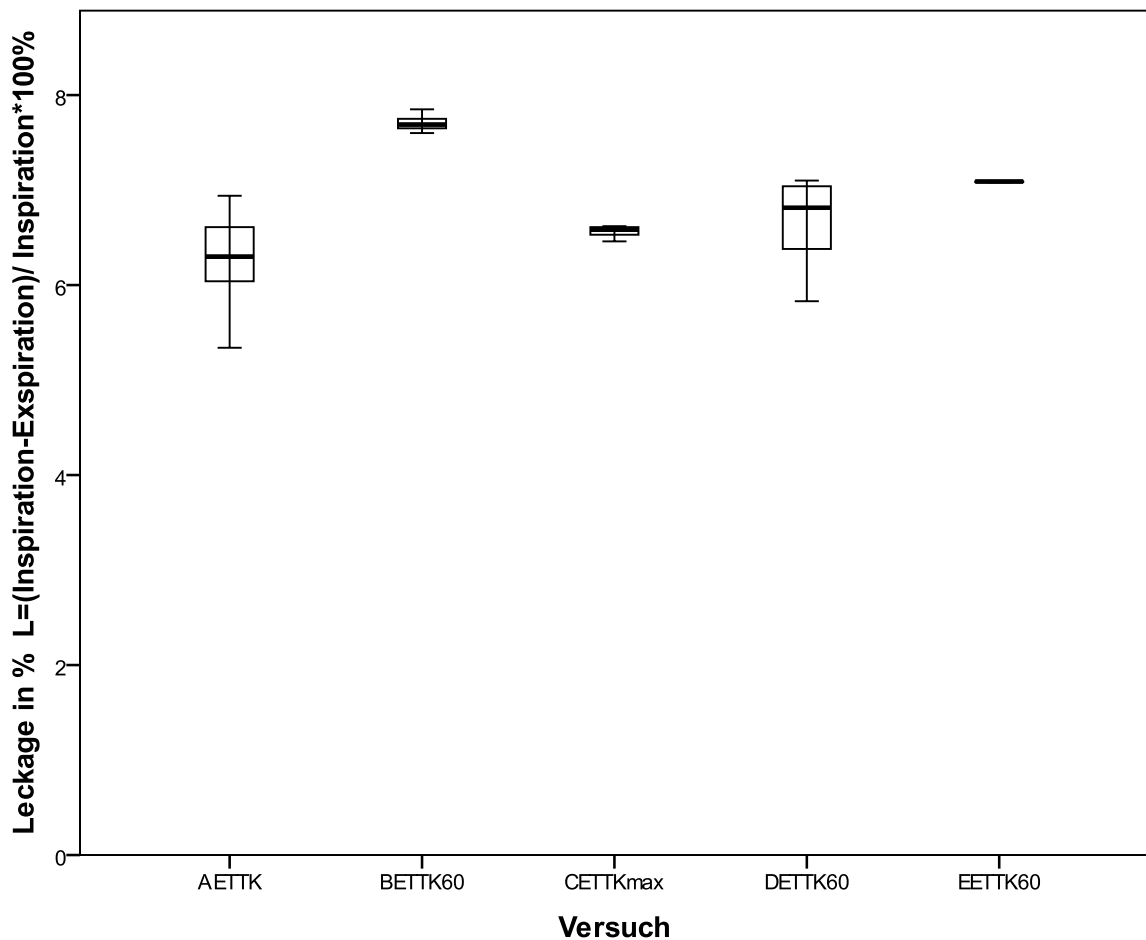


Abbildung 8: Vergleich der Leckagen bei Thoraxkompression bei maximaler Beatmungsdrucklimitierung von 60 mbar/Pmax bei einem endotracheal intubiertem Reanimationsmodell (Abkürzungen siehe S. 4)

Vergleich der Beatmungsvolumina und Leckage bei druckkontrollierter-Beatmungsform (BiPAP/BiLevel) bei endotracheal intubiertem Reanimationsmodell

Grundmessung

Beim endotracheal intubierten Reanimationsmodell kann man Beatmungsgerät D und Beatmungsgerät E, die eine positive druckkontrollierte Beatmung durchführen können, miteinander vergleichen. In der Grundmessung hat Beatmungsgerät D eine Leckage von 4,1 % (KI: 3,8-4,4 %) und Beatmungsgerät E von 3,9 % (KI: 3,8-4,0 %) (siehe Tabelle 21 auf S. 34, Tabelle 22 auf S. 35 und Abbildung 1 auf S. 15), was einer Differenz von 0,2 % entspricht. Diese Differenz ist nicht eindeutig unterschiedlich ($p=0,996$) (siehe Anlage Statistik 9). Die gemessenen Drücke bei Beatmungsgerät D haben einen Mittelwert von 19,9 mbar und bei Beatmungsgerät E von 18,6 mbar (siehe Tabelle 23 auf S. 35).

Thoraxkompression

Bei der Thoraxkompression hat Beatmungsgerät D eine Leckage von 13,6 % (KI: 12,2-15,0 %) und Beatmungsgerät E von 10,1 % (KI: 8,4-11,8 %). Das entspricht einer Differenz von 3,5 % und ist deutlich unterschiedlich ($p=0,000$). Die gemessenen Drücke bei Beatmungsgerät D haben einen Mittelwert von 23,9 mbar und bei Beatmungsgerät E von 19,8 mbar (siehe Tabelle 23 auf S. 35).

Tabelle 21: Volumen- und Leckagewerte für Beatmungsgerät D bei liegendem Endotrachealtubus und BiPAP/BiLevel Beatmung

Beatmungsgerät D ET (BiPaP/BiLevel)	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Unter- grenze	Ober- grenze
Grundmessung	6,963	6,677	0,286	4,1	3,8	4,4
Thoraxkompression	4,881	4,217	0,664	13,6	12,2	15,0

Tabelle 22: Volumen- und Leckagewerte für Beatmungsgerät E bei liegendem Endotrachealtubus und BiPAP/BiLevel Beatmung

Beatmungsgerät E ET (BiPAP/BiLevel)	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Unter- grenze	Ober- grenze
Grundmessung	6,125	5,884	0,241	3,9	3,8	4,0
Thoraxkompression	3,946	3,548	0,398	10,1	8,4	11,8

Tabelle 23: Druckwerte in mbar für BiPAP/BiLevel Beatmung bei endotracheal intubierten Reanimationsmodell (Abkürzungen siehe S. 4)

	D ET DK GM	D ET DK TK	E ET DK GM	E ET DK TK
Mittelwert	19,9	23,9	18,6	19,8
Median	19,9	23,7	18,6	19,7
Max	20,0	24,8	18,7	19,9
Min	19,7	23,3	18,5	19,7

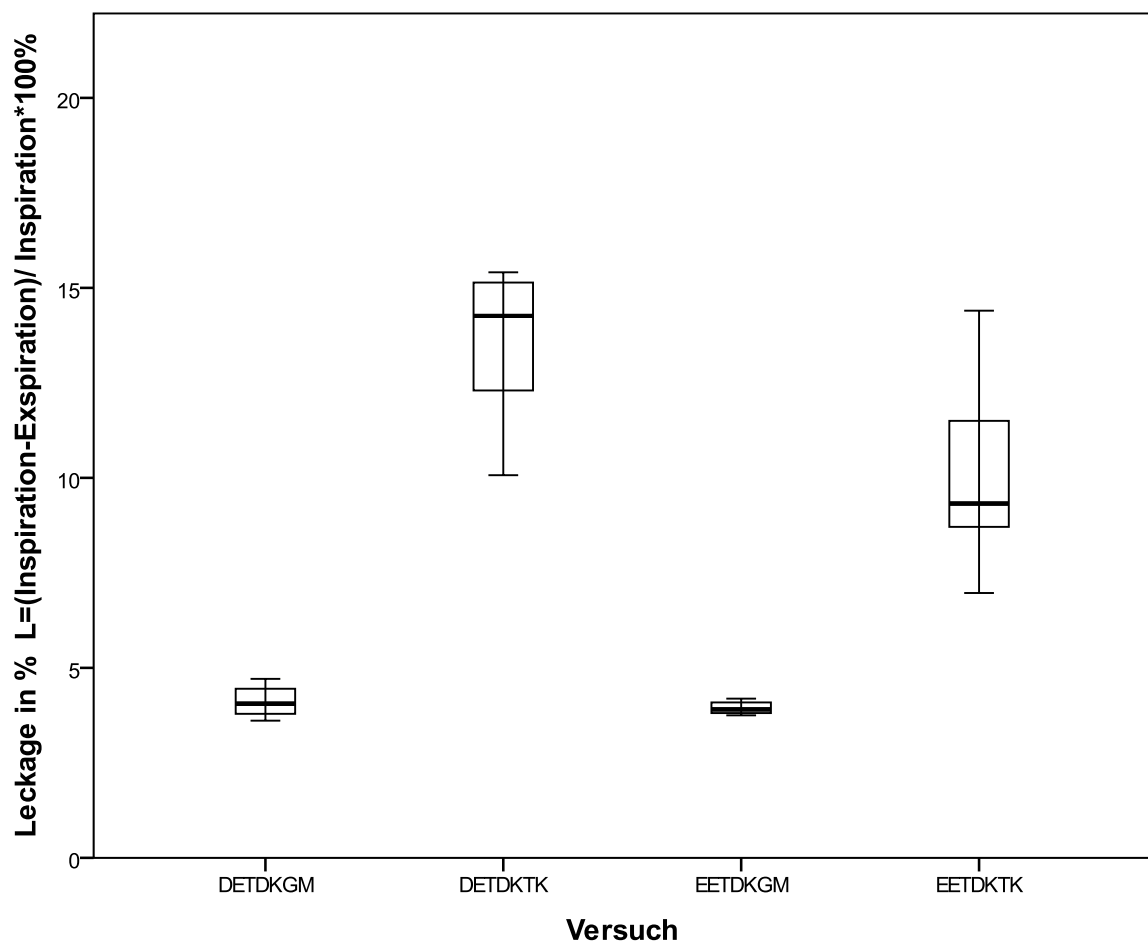


Abbildung 9: Vergleich der Leckagen bei Grundmessung und Thoraxkompression bei BiPAP/BiLevel-Beatmung bei einem endotracheal intubiertem Reanimationsmodell (Abkürzungen siehe S. 4)

Vergleich der Beatmungsvolumina und Leckage bei Grundmessung bei einem mit einem Larynxtubus intubiertem Reanimationsmodell

Im Folgenden wird die Grundmessung bei einem mit Larynxtubus intubiertem Reanimationsmodell betrachtet (siehe Tabelle 24 auf S. 36 und Abbildung 10 auf S. 37). Das Beatmungsgerät A hat eine Leckage von 30,8 % (KI: 30,4-31,3 %), das Beatmungsgerät B von 36,9 % (KI: 36,9-36,9 %). Das entspricht einer Differenz von 6,1 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$) (siehe Anlage Statistik 10). Das Beatmungsgerät C hat eine Leckage von 30,6 % (KI: 30,5-30,8 %), was einer Differenz zu Beatmungsgerät A von 0,2 % entspricht und nicht eindeutig unterschiedlich ist ($p=1,000$). Beatmungsgerät D hat eine Leckage von 33,4 % (KI: 33,3-33,5 %). Dies entspricht einer Differenz zu Beatmungsgerät A von 2,6 %, die nicht unterschiedlich ist ($p=0,297$). Beatmungsgerät E hat eine Leckage von 47,5 % (KI: 45,5-49,5 %). Die Differenz zwischen Beatmungsgerät A und Beatmungsgerät E beträgt 16,7 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$).

Die Differenz zwischen Beatmungsgerät B und Beatmungsgerät C beträgt 6,3 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$). Die Differenz zwischen Beatmungsgerät B und Beatmungsgerät D beträgt 3,5 % und ist nicht unterschiedlich ($p=0,072$). Die Differenz zwischen Beatmungsgerät B und Beatmungsgerät E beträgt 10,6 % und ist ebenfalls eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$).

Vergleicht man Beatmungsgerät C mit Beatmungsgerät D, sieht man eine Differenz von 2,8 % die nicht unterschiedlich ist ($p=0,216$). Die Differenz zwischen Beatmungsgerät C und Beatmungsgerät E beträgt 16,9 % und ist ebenfalls eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$).

Die Differenz von Beatmungsgerät D und Beatmungsgerät E beträgt 14,1 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$).

Tabelle 24: Vergleich der Volumen- und Leckagewerte bei supraglottischer Intubation in der Grundmessung

Beatmungsgerät	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Untergrenze	Obergrenze
A	5,905	4,084	1,821	30,8	30,4	31,3
B	5,203	3,283	1,920	36,9	36,9	36,9
C	5,250	3,643	1,608	30,6	30,5	30,8
D	6,049	4,030	2,019	33,4	33,3	33,5
E	4,366	2,290	2,076	47,5	45,5	49,5

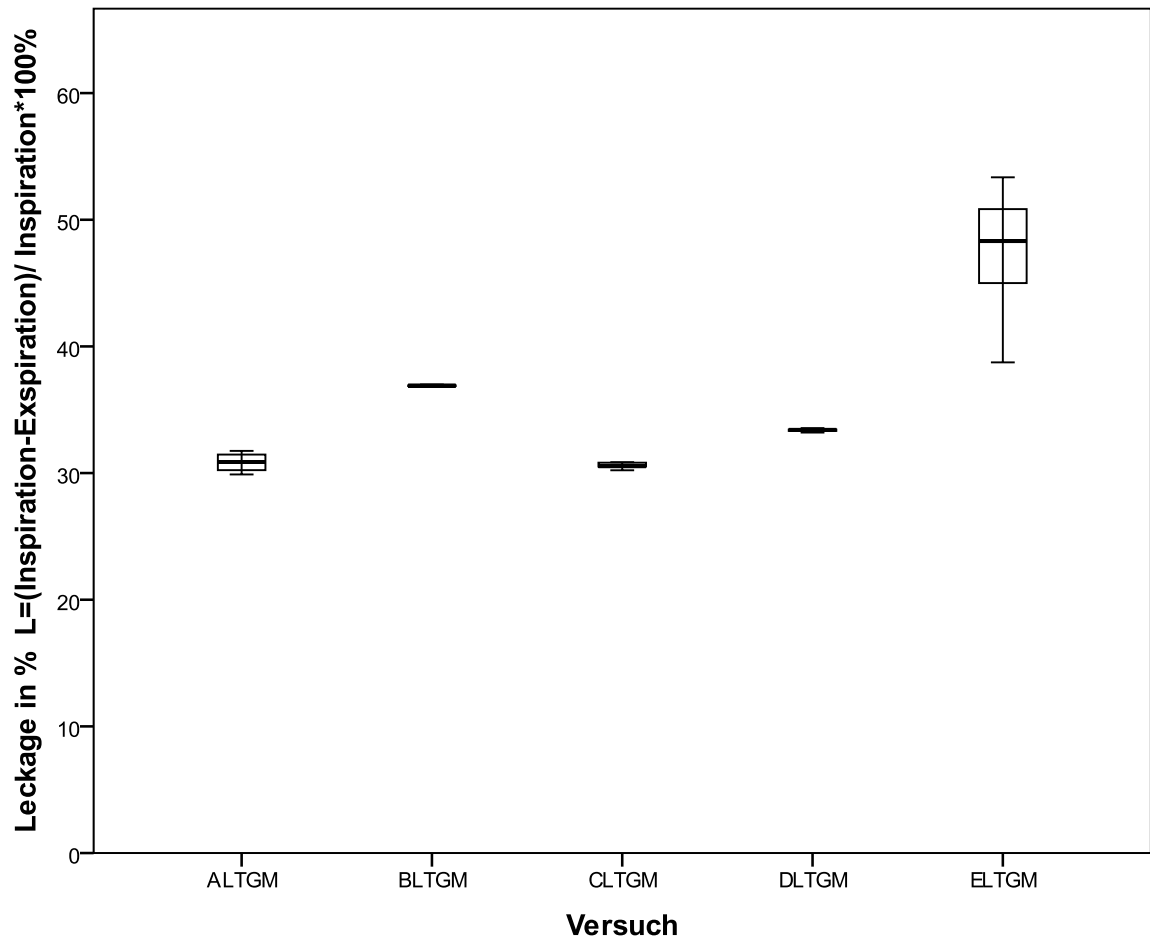


Abbildung 10: Vergleich der Leckagen bei Grundmessung bei einem supraglottisch intubiertem Reanimationsmodell (Abkürzungen siehe S. 4)

Vergleich der Beatmungsvolumina und Leckage bei Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar bei einem mit einem Larynxtubus intubiertem Reanimationsmodell

Ist das Reanimationsmodell mit einem Larynxtubus intubiert, ergeben sich bei der Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar die folgenden Leckagewerte (Tabelle 25 auf S. 39 und Abbildung 11 auf S. 39). Beatmungsgerät A 46,3 % (KI: 45,6-47,0 %), Beatmungsgerät B 51,3 % (KI: 51,2-51,3 %), Beatmungsgerät C 48,9 % (KI: 48,7-49,1 %), Beatmungsgerät D 49,2 % (KI: 48,8-49,5 %) und Beatmungsgerät E 51,6 % (KI: 51,4-51,8 %). Daraus ergeben sich folgende Differenzen der Leckagen. Zwischen Beatmungsgerät A und Beatmungsgerät B beträgt die Differenz 5,0 % und diese Differenz ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$) (siehe Anlage Statistik 11). Zwischen Beatmungsgerät A und Beatmungsgerät C beträgt die Differenz 2,6 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$). Zwischen Beatmungsgerät A und Beatmungsgerät D beträgt die Differenz 2,9 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$). Und zwischen Beatmungsgerät A und Beatmungsgerät E beträgt die Differenz 5,3 %, die ebenfalls eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$) ist.

Die Differenz der Leckagen zwischen Beatmungsgerät B und Beatmungsgerät C beträgt 2,4 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$). Die Differenz der Leckagen zwischen Beatmungsgerät B und Beatmungsgerät D beträgt 2,1 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$). Die Differenz der Leckagen zwischen Beatmungsgerät B und Beatmungsgerät E beträgt 0,3 % und ist nicht unterschiedlich ($p=0,812$).

Zwischen Beatmungsgerät C und Beatmungsgerät D beträgt die Differenz der Leckagen 0,3 %, was nicht eindeutig unterschiedlich ist ($p=0,926$). Die Differenz der Leckagen zwischen Beatmungsgerät C und Beatmungsgerät E beträgt 2,7 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$).

Zwischen Beatmungsgerät D und Beatmungsgerät E beträgt die Differenz der Leckagen 2,4 % und ist ebenfalls eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$).

Tabelle 25: Vergleich der Volumen-und Leckagewerte bei supraglottischer Intubation bei Thoraxkompression mit maximalem Beatmungsdruck von 40 mbar

Beatmungsgerät	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Untergrenze	Obergrenze
A	5,578	2,993	2,585	46,3	45,6	47,0
B	5,474	2,667	2,807	51,3	51,2	51,3
C	5,204	2,657	2,547	48,9	48,7	49,1
D	6,005	3,054	2,951	49,2	48,8	49,5
E	4,451	2,156	2,295	51,6	51,4	51,8

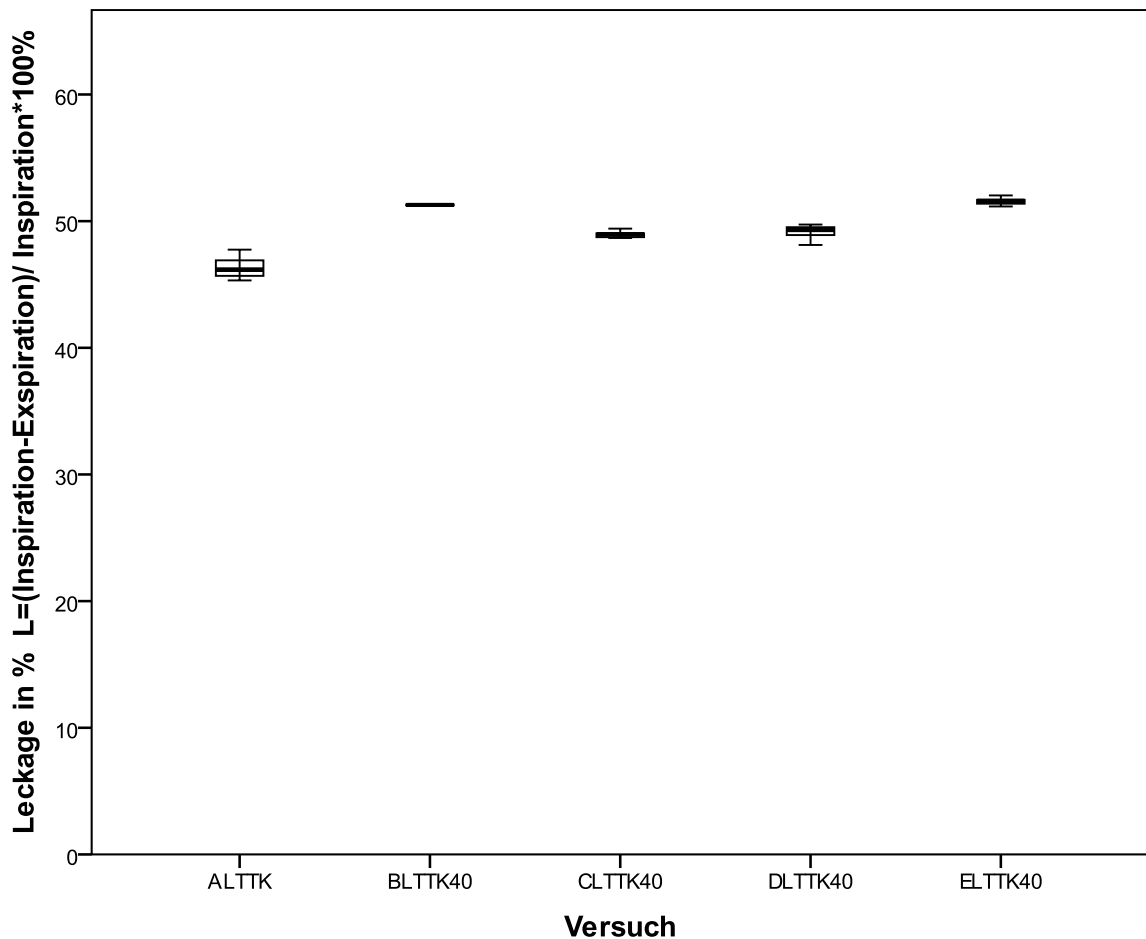


Abbildung 11: Vergleich der Leckagen bei Thoraxkompression bei maximaler Beatmungsdrucklimitierung von 40 mbar bei einem supraglottisch intubiertem Reanimationsmodell (Abkürzungen siehe S. 4)

Vergleich der Beatmungsvolumina und Leckage bei Thoraxkompression bei Beatmungsdrucklimitierung von 60 mbar/ bei maximaler Beatmungsdrucklimitierung bei einem mit einem Larynxtubus intubiertem Reanimationsmodell

In diesem Abschnitt ist das Reanimationsmodell mit einem Larynxtubus intubiert und die maximale Beatmungsdrucklimitierung bei der Thoraxkompression beträgt 60 mbar. Dabei zeigen sich folgende Leckagewerte (siehe Tabelle 26 auf S. 41 und Abbildung 12 auf S. 41): Beatmungsgerät A 46,3 % (KI: 45,6-47,0 %), Beatmungsgerät B 50,5 % (KI: 50,4-50,6 %), Beatmungsgerät C 48,3 % (KI: 48,2-48,3 %), Beatmungsgerät D 48,9 % (KI: 48,6-49,2 %) und Beatmungsgerät E 51,4 % (KI: 50,9-51,9 %).

Die Differenz der Leckagen zwischen Beatmungsgerät A und Beatmungsgerät B beträgt 4,2 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$) (siehe Anlage Statistik 12). Zwischen Beatmungsgerät A und Beatmungsgerät C beträgt die Differenz 2,0 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$). Die Differenz der Leckagen zwischen Beatmungsgerät A und Beatmungsgerät D beträgt 2,6 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$). Zwischen Beatmungsgerät A und Beatmungsgerät E beträgt die Differenz der Leckagen 5,1 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$).

Die Differenz der Leckagen zwischen Beatmungsgerät B und Beatmungsgerät C beträgt 2,2 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$). Zwischen Beatmungsgerät B und Beatmungsgerät D beträgt die Differenz der Leckagen 1,6 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$). Die Differenz der Leckagen zwischen Beatmungsgerät B und Beatmungsgerät E beträgt 0,9 % und ist deutlich unterschiedlich ($p=0,011$).

Zwischen Beatmungsgerät C und Beatmungsgerät D beträgt die Differenz der Leckagen 0,6 % und ist nicht unterschiedlich ($p=0,123$). Die Differenz der Leckagen zwischen Beatmungsgerät C und Beatmungsgerät E beträgt 3,1 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$).

Zwischen Beatmungsgerät D und Beatmungsgerät E beträgt die Differenz der Leckagen 2,5 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$).

Tabelle 26: Vergleich der Volumen-und Leckagewerte bei supraglottischer Intubation bei Thoraxkompression mit maximalem Beatmungsdruck von 60 mbar/ maximal möglicher Beatmungsdrucklimitierung

Beatmungsgerät	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Untergrenze	Obergrenze
A	5,578	2,993	2,585	46,3	45,6	47,0
B	5,502	2,722	2,780	50,5	50,4	50,6
C	5,202	2,691	2,511	48,3	48,2	48,3
D	5,965	3,048	2,917	48,9	48,6	49,2
E	4,500	2,186	2,314	51,4	50,9	51,9

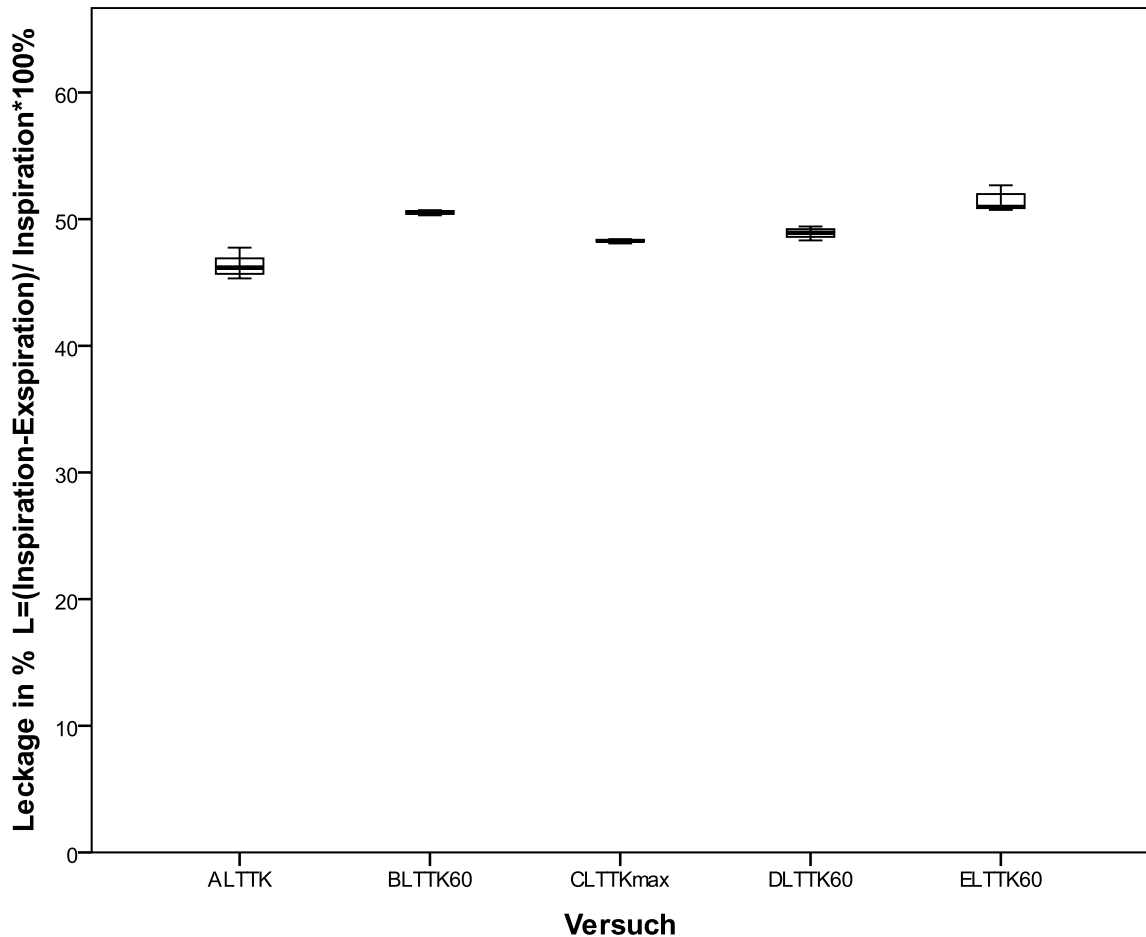


Abbildung 12: Vergleich der Leckagen bei Thoraxkompression bei maximaler Beatmungsdrucklimitierung von 60 mbar/Pmax bei einem supraglottisch intubiertem Reanimationsmodell (Abkürzungen siehe S. 4)

Vergleich der Beatmungsvolumina und Leckage bei druckkontrollierter-Beatmungsform (BiPAP/BiLevel) bei einem mit einem Larynxtubus intubiertem Reanimationsmodell

Grundmessung

Ist das Reanimationsmodell mit einem Larynxtubus intubiert und wird druckkontrolliert BiPAP/BiLevel beatmet, beträgt die Leckage in der Grundmessung von Beatmungsgerät D 36,0 % (KI: 35,4-36,6 %) und beim Beatmungsgerät E 57,8 % (57,6-58,0 %) (siehe Tabelle 27 auf S. 42 und Tabelle 28 auf S. 43). Das entspricht einer Differenz von 21,8 % und ist eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$). Die gemessenen Drücke bei Beatmungsgerät D haben einen Mittelwert von 17,4 mbar und bei Beatmungsgerät E von 17,7 mbar (siehe Tabelle 29 auf S. 43).

Thoraxkompression

Bei der Thoraxkompression hat das Beatmungsgerät D eine Leckage von 57,8 % (KI: 57,6-58,0 %) und das Beatmungsgerät E von 61,4 % (KI: 60,8-62,0 %) (siehe Tabelle 27 auf S. 42 auf Tabelle 28 auf S. 43). Die Differenz beträgt 3,6 % und ist ebenfalls eindeutig unterschiedlich ($p=0,000$). Die gemessenen Drücke bei Beatmungsgerät D haben einen Mittelwert von 18,5 mbar und bei Beatmungsgerät E von 16,4 mbar (siehe Tabelle 29 auf S. 43).

Tabelle 27: Volumen- und Leckagewerte für Beatmungsgerät D bei liegendem Larynxtubus und BiPAP/BiLevel Beatmung

Beatmungsgerät D LT (BiPaP/BiLevel)	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Unter- grenze	Ober- grenze
Grundmessung	9,217	5,900	3,317	36,0	35,4	36,6
Thoraxkompression	7,472	3,155	4,317	57,8	57,6	58,0

Tabelle 28: Volumen- und Leckagewerte für Beatmungsgerät E bei liegendem Larynxtubus und BiPAP/BiLevel Beatmung

Beatmungsgerät E LT (BiPaP/BiLevel)	Mittelwert Inspiration in l/min	Mittelwert Expiration in l/min	Mittelwert Differenz in l/min	Mittelwert Leckage in %	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert der Leckage in %	
					Unter- grenze	Ober- grenze
Grundmessung	8,575	3,901	4,674	54,5	53,2	55,8
Thoraxkompression	6,875	2,652	4,223	61,4	60,8	62,0

Tabelle 29: Druckwerte in mbar für BiPAP/BiLevel Beatmung bei supraglottisch intubiertem Reanimationsmodell (Abkürzungen siehe S. 4)

	D LT DK GM	D LT DK TK	E LT DK GM	E LT DK TK
Mittelwert	17,4	18,5	17,7	16,4
Median	17,4	18,6	17,7	16,4
Max	17,6	18,7	17,8	16,6
Min	17,3	18,0	17,7	16,2

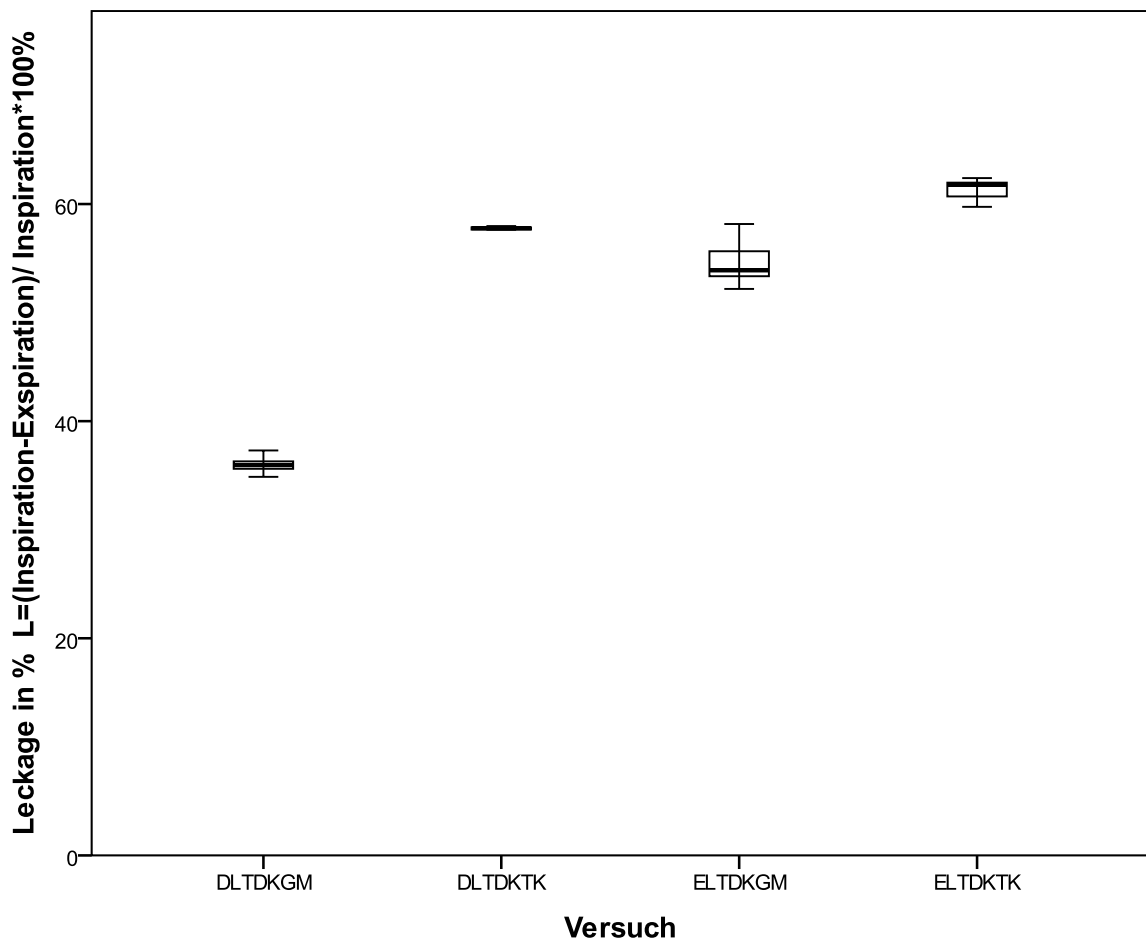


Abbildung 13: Vergleich der Leckagen bei Grundmessung bei BiPAP/BiLevel-Beatmung bei einem supraglottisch intubiertem Reanimationsmodell (Abkürzungen siehe S. 4)

Diskussion

Undichtigkeit des Larynxtubus

Die Versuche beim LT intubiertem Reanimationsmodell zeigen, dass die Leckagen in Bezug auf die Inspiration deutlich größer sind, als beim endotracheal intubierten Reanimationsmodell. Dies könnte an der nicht vorhandenen Dichtigkeit des Larynxtubus im Reanimationsmodell liegen. Da diese nicht vorhandene Dichtigkeit bei allen anderen Beatmungsgeräten festzustellen ist, wird davon ausgegangen, dass die Ergebnisse untereinander vergleichbar sind. Es ist zu beobachten, dass bei höheren Drücken die Undichtigkeit zunimmt, also die Leckagen höher sind, als bei niedrigen Drücken (z.B. während der Grundmessung).

Entstehung der höheren Differenzen zwischen Inspiration und Expiration unter Thoraxkompression

Es sind höhere Differenzen zwischen Inspiration und Expiration bei beiden Atemwegen unter Thoraxkompression aufgezeichnet worden. Diese lassen sich durch das Vorbeiströmen der Luft an den Cuffs der Tuben erklären. Durch die Thoraxkompression steigen die intrathorakalen Drücke, dadurch kommt es zu Druckspitzen bei der Beatmung.

Beim LT-intubierten Reanimationsmodell strömt die Luft bei Thoraxkompression durch den erhöhten Druck in der Lunge noch mehr am Cuff vorbei, als ohnehin bei der Grundmessung.

Beim endotracheal intubierten Reanimationsmodell sind die Drücke während der Thoraxkompression teilweise höher als der Cuffdruck im Tubus. Also wird hierdurch mehr Luft am Cuff des Tubus vorbeiströmen, als bei der Grundmessung, da der Rest des Systems fast geschlossen ist. Dadurch lassen sich auch die hier genannten Differenzen erklären.

Geringere Leckagewerte bei höheren Beatmungsdrücken

Es wurde beobachtet, dass bei höherer Beatmungsdrucklimitierung geringfügig kleinere Leckagewerte entstehen. Eine Erklärung für die geringere Leckage bei höherem Druck könnte die Volumendehnbarkeit der Schläuche sein, wodurch mehr Luft in die Schläuche gegeben wird, diese sich ausdehnen und dadurch die gemessene Inspiration steigt. Auch die Größe der gemessenen Expiration steigt entsprechend an. Die Differenz von Inspiration und Expiration bleibt gleich, allerdings sinkt die Größe des errechneten Wertes der Leckage, da das Verhältnis zwischen Inspiration und der Differenz zwischen Inspiration und Expiration anders ist. Der prozentuale Leckagewert ist geringfügig kleiner. Dies bedeutet aber, dass der Realwert des verlorengegangenen Volumens gleich bleibt. Es ist auch möglich, dass mehr Volumen in das System gebracht wird, um den höheren Druck zu erreichen. Dadurch bleibt die Differenz zwischen In- und Expiration zwar gleich, aber das Verhältnis zur größeren Inspiration sorgt für einen geringeren Leckagewert.

Einfluss der Thoraxkompression auf die gemessenen Druckwerte in der Lunge

Da der Thorax des Reanimationsmodells nicht geschlossen ist, sind die gemessenen Druckwerte in der Lunge bei der Thoraxkompression nicht interpretierbar. Die „Lunge“ kann zu den Seiten ausweichen und so könnte ein niedrigerer Gesamtdruck entstehen. Deshalb erhöht zwar die Thoraxkompression den Druck in der Lunge, aber die Werte sind nicht verwendbar. Dies ist auch der Grund, weshalb nur bei der BiPAP/BiLevel Beatmung Druckwerte, um zu veranschaulichen, genannt werden. Es wurde auf die Interpretation der Druckwerte verzichtet.

Der Larynxtubus ist, trotz großer Leckage, nur mit 60-70mbar geblockt

Wird der Larynxtubus mit der vom Hersteller mitgelieferten Blockerspritze geblockt, entsprechend dem Farbcode, wurde im vorhandenen Reanimationsmodell ein Cuffdruck von

ca. 120 mbar gemessen. Es wurden daher vor Beginn der eigentlichen Versuche Vorversuche durchgeführt, ob die Leckage bei unterschiedlichen Cuffdrücken größer oder kleiner wird. Dabei ist aufgefallen, dass es bei den Leckagewerten keinen Unterschied gibt, ob der Tubus mit 120 mbar oder mit 60-70 mbar geblockt ist. Um die Versuche vergleichbar zu halten, wurde entschieden, den Larynxtubus mit Hilfe des Cuffdruckprüfgerätes zu füllen und zu kontrollieren. Dabei blieb der Druck während der Versuche immer in dem vom Hersteller vorgegebenen Druckbereich.

Probleme bei der Messung mit BiPAP/ BiLevel-Beatmungsgeräten

Gerade bei den Versuchsreihen mit den Beatmungsgeräten D und E, und vor allem bei den Versuchsreihen mit druckkontrollierter Beatmung fielen Probleme auf. Die Beatmungsgeräte gaben Alarme bezüglich fehlender Messung der Expirationsvolumina und Drücke ab. Moderne Beatmungsgeräte können ihre Inspirations- und Expirationsvolumina und Drücke selbst messen. Dies geschieht durch Messeinrichtungen innerhalb der Schlauchsysteme. Durch den gegebenen Versuchsaufbau ist es möglich, dass die Geräte dies nicht funktionsgetreu durchführen konnten, da der Expirationszweig separat geführt wurde. Dies könnte zu Ungenauigkeiten bei der Beatmung durch diese Geräte geführt haben. Die Beatmungsgeräte gaben kontinuierliche Alarme, bezüglich der Fehlmessung, ab. Trotz der Alarme, haben die Beatmungsgeräte durchgehend beatmet. Ungenauigkeiten entstanden durch zu viele Beatmungen, trotz eingestellter Frequenz von 10/min. Dadurch kam es teilweise zur Beatmung genau während des Endes der Versuchszeit. Dies wurde durch die Verwerfung der Ergebnisse und Neumessung versucht zu korrigieren. Auch der Zeitpunkt zum Starten der Messung war teilweise schwer vorhersehbar, sodass die Messung bei Durchgang von 1 mbar Druck in der Lunge gestartet wurde, obwohl der Beginn des nächsten Atemhubes nicht unmittelbar bevorstand. Diese Fehler können dazu führen, dass die Beatmungsgeräte, durch erhöhte Inspirationsvolumina, versuchen die „Leckage“(fehlende Expiration) auszugleichen.

Leckagewerte und Inspirationsvolumina sind in der Grundmessung teilweise eindeutig unterschiedlich

Die Beatmungsgeräte B bis E wurden manuell an den Verstelleinrichtungen auf eine Frequenz von 10 Atemzügen pro Minute und ein Atemminutenvolumen von 5 l eingestellt. Die Beatmungsgeräte geben unterschiedliche Atemminutenvolumina ab, dadurch entstehen unterschiedlich hohe Inspirationsvolumina. Da der Leckagewert direkt vom Inspirationsvolumen abhängt, kommt es hier zu eindeutig unterschiedlichen Leckagewerten. Die Beatmung scheint bauartbedingt unterschiedlich zu sein.

Einfluss der Beatmungsdrucklimitierung auf die Leckagewerte

Die Erhöhung der Beatmungsdrucklimitierung von 40 auf 60 mbar hat eine geringe bis keine eindeutige Auswirkung auf die Leckagewerte. Deshalb erscheint es nicht sinnvoll mit hohen Beatmungsdrucklimitierungen zu beatmen.

Einfluss der Thoraxkompression auf die Leckagewerte

Durch die Thoraxkompression unterscheiden sich die Leckagewerte zur Grundmessung eindeutig. Dies könnte an den Druckspitzen innerhalb der „Lunge“ liegen, wenn zeitgleich eine Beatmung mit einer Kompression durchgeführt wird. Der Raum für die Luft im Thorax wird kleiner, aber dieselbe Menge Luft wie ohne Thoraxkompression wird in das Atemsystem gegeben. Luft ist eine Mischung aus Gasen und Gase sind komprimierbar. Das bedeutet, dass ein Gas bei größerem Druck weniger Volumen einnimmt. Dies könnte heißen dass in der „Lunge“ ein hoher Druck entsteht, da weniger Volumen an Platz vorhanden ist. Dieser Druck könnte höher sein, als der Cuffdruck dadurch kann Luft am Cuff vorbei aus dem System entweichen.

Beatmungsgerät A

Bei Beatmungsgerät A fällt auf, dass die Inspirationswerte mit 5,5 bis 6,5 l/min deutlich über den gewünschten 5 l/min liegen, die für die Versuche vorgesehen waren. Die höheren und unterschiedlich hohen Inspirationswerte bei Beatmungsgerät A sind durch den versierten Anwender zu erklären, der versucht hat, bei den Versuchen möglichst gleichbleibende Atemhübe zu verabreichen. Trotzdem ist es nicht gelungen genau 5 l/min zu verabreichen, wie für die Versuchsreihen ideal gewesen wäre. Beatmungsgerät A ist ein Beatmungsbeutel der manuell bedient wurde und nicht maschinell einheitlich.

Beatmungsgerät B

Trotz Einstellung eines Inspirationswertes von 5 l/min verabreicht Beatmungsgerät B über alle Versuchsreihen hinweg 4,7-5,5 l/min. Es wurde am Manometer des Beatmungsgerätes beobachtet, dass bei kleinerem Spitzenbeatmungsdruck mehr Luft verabreicht wurde, als bei hohem Spitzenbeatmungsdruck der nahe an der Grenze zur Drucklimitierung liegt. Je geringer der Widerstand für das Beatmungsgerät ist, desto mehr Luft wird verabreicht. Diese Beobachtung hat zwei Effekte: Es wird abströmende Luft (die am Cuff vorbeiströmt) teilweise kompensiert und eine Überblähung der „Lunge“ wird verhindert. Dies ist unabhängig von der Höhe der Beatmungsdrucklimitierung.

Beatmungsgerät C

Nach Einstellung des Gerätes auf 5 l/min wurden Inspirationswerte von 4,9-5,3 l/min gemessen. Das Beatmungsgerät C lieferte die beständigsten Werte von Volumina und Differenzen. Dies könnte am einfachen Aufbau des Beatmungsgerätes C liegen, das rein pneumatisch betrieben wird, ohne Elektrik und Flow-Messeinrichtungen. Es werden lediglich der Versorgungsdruck und der hohe und niedrige Beatmungsdruck überwacht und als

optischer und akustischer Alarm ausgegeben. Dadurch regelt das Gerät bei steigenden Widerständen die Erhöhung des Volumens nicht.

Beatmungsgerät D

Trotz einer Grundeinstellung von 5 l/min verabreichte das Beatmungsgerät D zwischen 5,9 und 6,2 l/min bei volumenkontrollierter Beatmung. Dies könnte an der fehlenden Messmöglichkeit der Expiration durch das Gerät liegen, da der Expirationszweig in diesem Versuchsaufbau getrennt wurde. Bei der druckkontrollierten PCV und BiPAP/BiLevel-Beatmung schwankten die Werte der Inspiration zwischen 3,5 und 9,6 l/min. Durch die geräteeigene Druckmessung reagierte das Beatmungsgerät mit mehr oder weniger häufigen und starken Atemhüben. Das Gerät versuchte sich den Druckverhältnissen anzupassen. Es stellt sich die Frage, ob eine druckkontrollierte Beatmung unter Thoraxkompression sinnvoll ist, da nicht deutlich wird, ob nun „nur“ 3,5 l/min oder „sogar“ 9,6 l/min in die Lunge gelangen. Besonders kritisch könnte dies bei der PCV-Beatmung sein, wo das Beatmungsgerät in der Grundmessung (ET intubiert) 6,1 l/min verabreicht, aber unter Thoraxkompression nur 3,5 l/min. Dadurch sinkt zwar auch die Leckage um 1,5%, allerdings werden in der Expiration nur noch 3,4 l/min gemessen. Beim LT- intubiertem Reanimationsmodell gibt es dafür Leckagewerte von über 60%. Es kann festgestellt werden, dass die Leckagen bei druckkontrollierter Beatmung höher sind, als bei volumenkontrollierter Beatmung. Im Notfall und sich ständig ändernden Druckverhältnissen in den Atemwegen erscheint es sinnvoll, bei der Thoraxkompression volumengesteuerte Beatmungsmuster zu verwenden(4).

Beatmungsgerät E

Bei Einstellung des Atemminutenvolumens bei volumenkontrollierter Beatmung bei Beatmungsgerät E auf 5 l/min wurden lediglich zwischen 4,3 und 4,5 l/min gemessen. Es gelangt also weniger als das eingestellte Beatmungsvolumen in die Atemwege. Bei druckkontrollierter Beatmung verabreicht das Gerät zwischen 3,9 und 8,6 l/min. Die Beatmungsvolumina sind unterschiedlich groß und auch hier ist die Anwendung während

der Thoraxkompression fraglich (4). Es kann festgestellt werden, dass die Leckagen bei druckkontrollierter Beatmung höher sind, als bei volumenkontrollierter Beatmung.

Direktvergleich der Beatmungsgeräte bei endotrachealer Intubation und Thoraxkompression

Während der Thoraxkompression hat das Beatmungsgerät A die geringste Leckage. Jedoch gibt es keinen eindeutigen Unterschied zu den Beatmungsgeräte C und D (bei 40 mbar Beatmungsdrucklimitierung). Es gibt auch keinen eindeutigen Unterschied zu Beatmungsgerät C und D bei 60 mbar Beatmungsdrucklimitierung. Dies könnte für den Rettungseinsatz bedeuten, dass diese Beatmungsgeräte Kapazitäten in Form von Personal schaffen könnten, da kein Helfer mehr bei der Beatmung eingebunden ist.

Bei der druckkontrollierten Beatmung unter Thoraxkompression hat Beatmungsgerät E zwar eine geringere Leckage als Beatmungsgerät D, beatmet aber auch mit deutlich weniger als 5 l/min. Beatmungsgerät D beatmet mit 4,9 l/min hat dafür aber eine größere Leckage. In beiden Versuchen wird deutlich, dass eine druckkontrollierte Beatmung einer volumenkontrollierten Beatmung nicht vorzuziehen ist.

Die endotracheale Intubation im Reanimationsmodell sorgt insgesamt für geringere Leckagen von maximal 13,6 % bei druckkontrollierter Beatmung, als bei der supraglottischen Intubation.

Direktvergleich der Beatmungsgeräte bei Intubation mit Larynx-tubus und Thoraxkompression

Aufgrund des Versuchsaufbaus und der vorhandenen hohen Leckagewerte beim Larynx-tubus sind die Interpretationen der Werte und die Reihenfolge der Beatmungsgeräte kritisch zu hinterfragen. Während der Thoraxkompression hat das Beatmungsgerät A die geringste Leckage. Gefolgt von Beatmungsgerät C (bei 40 mbar Beatmungsdrucklimitierung) und

Beatmungsgerät D, wobei der Unterschied zwischen den Beatmungsgeräten D und C nicht eindeutig ist. Bei 60 mbar Beatmungsdrucklimitierung folgt auf Beatmungsgerät A, Beatmungsgerät C und darauf Beatmungsgerät D. Durch den fehlenden Widerstand im Atemsystem aufgrund der geringen Abdichtung beim Larynxtubus und des daraus resultierenden geringeren Atemwiderstandes, beatmen die Beatmungsgerät D und E bei der druckkontrollierten Beatmung mit großen Atemhüben um den Inspirationsdruck von 20 mbar zu erreichen. Es entstehen durch die Undichtigkeit enorme Differenzen zwischen Inspiration und Expiration, so dass bei der Expiration nur Werte zwischen 2,7 und 3,2 l/min zu messen waren. Dabei lieferte Beatmungsgerät D bei der Thoraxkompression höhere Expirationsvolumina und kleinere Leckagewerte. Eine Interpretation der Werte erscheint nicht sinnvoll. Niedrigere Atemminutenvolumina wurden beim Reanimationsmodell mit Intubation mit Larynxtubus beschrieben (4), wobei nicht untersucht wurde, wodurch diese „Leckagen“ entstehen. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass dies ebenfalls durch die nicht vorhandene Abdichtung durch den Larynxtubus im Pharynx des Reanimationsmodells liegt. Dies sollte gesondert in anderen Versuchen untersucht werden.

Empfehlungen

Die Expirationsvolumina beim endotracheal intubierten Reanimationsmodell unter kontinuierlicher Thoraxkompression sind immer groß genug, um davon ausgehen zu können, dass genügend Luft am Gasaustausch in der Lunge teilnehmen würde. Es gibt keine Anzeichen dafür, dass die gängige Praxis im Rettungsdienst, dass Beatmungsdrucklimit auf die größte Einstellung zu stellen, die Beatmungsvolumina vergrößern würde. Die volumenkontrollierte Beatmungsform IPPV sorgt für die geringsten Leckagen und die sicherste Belüftung der Lunge im Reanimationsmodell.

Die Empfehlungen beziehen sich, wie vorher beschrieben, auf das endotracheal intubierte Reanimationsmodell. Da die Leckagewerte bei kleinerer Beatmungsdrucklimitierung (40 mbar) in etwa gleich groß sind, im Vergleich zu den Beatmungsdrücken mit hoher Beatmungsdrucklimitierung (60 mbar), ist anzustreben geringere Beatmungsdrücke in einer Reanimationssituation anzuwenden. Dadurch könnten Barotraumata und sehr hohe

intrathorakale Drücke vermieden werden. Hohe Drücke würden auch auf den rechten Vorhof wirken, wodurch der venöse Rückstrom zum Herzen verringert werden würde (5). Zusätzlich ist die Gefahr der Ösophagusinsufflation bei niedrigeren Beatmungsdrücken geringer (6).

Die kontinuierliche Thoraxkompression verbessert die Hämodynamik (1). Das Rettungsteam kann bei endotrachealer Intubation überlegen, einen Notfall-/ oder Transportrespirator einzusetzen und volumenkontrollierte Beatmung durchführen zu lassen. Dadurch wären das Volumen und die Beatmungsfrequenz konstant und nicht anwenderabhängig. Eine Hyperventilation würde vermieden werden. Zusätzlich hätte das Rettungsteam Kapazitäten frei, um andere Maßnahmen zu ergreifen. Dies könnte die Qualität der manuellen Thoraxkompression verbessern, da die Helfer sich gegenseitig besser ablösen können und mehr Pausen hätten und dadurch ausgeruhter wären.

Neue Beatmungsmuster, die speziell für die Reanimation, also die Beatmung während kontinuierlicher Thoraxkompression, entwickelt werden, zeigen gute Erfolge bei der Beatmung (7).

Fazit

In dieser Arbeit wurde untersucht, welche Differenzen zwischen Inspirationsvolumina und Expirationsvolumina bei einem Reanimationsmodell entstehen. Dabei wird das Reanimationsmodell mechanisch und kontinuierlich mit einem Thoraxkompressionsgerät komprimiert. Es wurden als Atemwege ein Endotrachealtubus und ein Larynxtubus verwendet. Zur Beatmung kamen unterschiedliche Transportrespiratoren und ein Beatmungsbeutel zum Einsatz. Dabei wurde zwischen volumen- und druckkontrollierter Beatmung unterschieden.

Insgesamt kann gesagt werden, dass der versierte Anwender mit einem Beatmungsbeutel während der Thoraxkompression die geringsten prozentuellen Leckagen zwischen Inspiration und Expiration erreicht. Da dieses Mittel auch am schnellsten zur Verfügung steht, ist es Mittel der Wahl. Allerdings gibt es bei der volumenkontrollierten Beatmung und endotrachealer Intubation keine signifikanten Unterschiede zu den Beatmungsgeräten Oxylog 1000 von Dräger und Medumat Transport von Weinmann.

Dies könnte bedeuten, dass Beatmungsgeräte das Rettungsteam in ihrer Arbeit unterstützen, indem sie Kapazitäten schaffen, da kein Mitglied des Teams bei der Beatmung gebunden ist. Eine weitere Überlegung wäre, dass die Teammitglieder sich bei der manuellen kontinuierlichen Thoraxkompression noch einfacher nach 2 Minuten abwechseln könnten, sich die Ruhezeiten erhöhen und dadurch die Qualität der Thoraxkompressionen steigern könnten.

Da es sich bei dieser Arbeit um eine technische handelt, könnten die Überlegungen und Ergebnisse als Expertenmeinung gelten, da sie logik- und wertebasiert sind. Es müssen weitere und genaue medizinische Untersuchungen durchgeführt werden, um eine Anwendung am Menschen zu begründen.

Auch die Anlegung einer Reihenfolge bei den Beatmungsgeräten unterliegt keiner Wertung, sondern lediglich den Ergebnissen der technischen Untersuchung.

Quellenverzeichnis

1. **European Resuscitation Council.** Erweiterte Reanimationsmaßnahmen für Erwachsene;Sektion 4 der Leitlinien zur Reanimation 2010. *Notfall + Rettungsmedizin.* 2010, 13, S. 572.
2. **Nolan, J., et al.** Part 1: Executive summary: 2010 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations. *Resuscitation.* 2010, Bd. Vol. 81, No.1, S. 95.
3. **Morrison, L., et al.** Part 8: Advanced Life Support: 2010 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations. *Circulation.* 122, 2010, Bd. 6, S. 347.
4. **Genzwürker, H., et al.** Auswirkungen der kontinuierlichen Thoraxkompression auf die maschinelle Beatmung - eine Untersuchung am Reanimationsmodell. *A&I Anästhesiologie & Intensivmedizin.* Supplement Nr. 2, 2012, Bd. 53, S. 42-43.
5. **Striebel, H.** *Anästhesie - Intensivmedizin - Notfallmedizin: Für Studium und Ausbildung 7. Auflage.* Stuttgart : Schattauer GmbH, 2009, S. 358.
6. **Schmidbauer, W., et al.** Cadaver study of oesophageal insufflation with supraglottic airway devices during positive pressure ventilation in an obstructed airway. *British Journal of Anaesthesia.* Advance Access publication 1, 2012, Bd. 109, S. 454.
7. **Kill, C., et al.** Chest compression synchronized ventilation bei der Reanimation: Einfluss unterschiedlicher Druck-/ Zeitverläufe auf den Gasaustausch im Cross-over-Versuch am porcinen Tiermodell. *A&I Anästhesiologie & Intensivmedizin.* Supplement Nr. 2, 2012, Bd. 53, S. 41.

Anlagen

Bilder des Versuchaufbaus

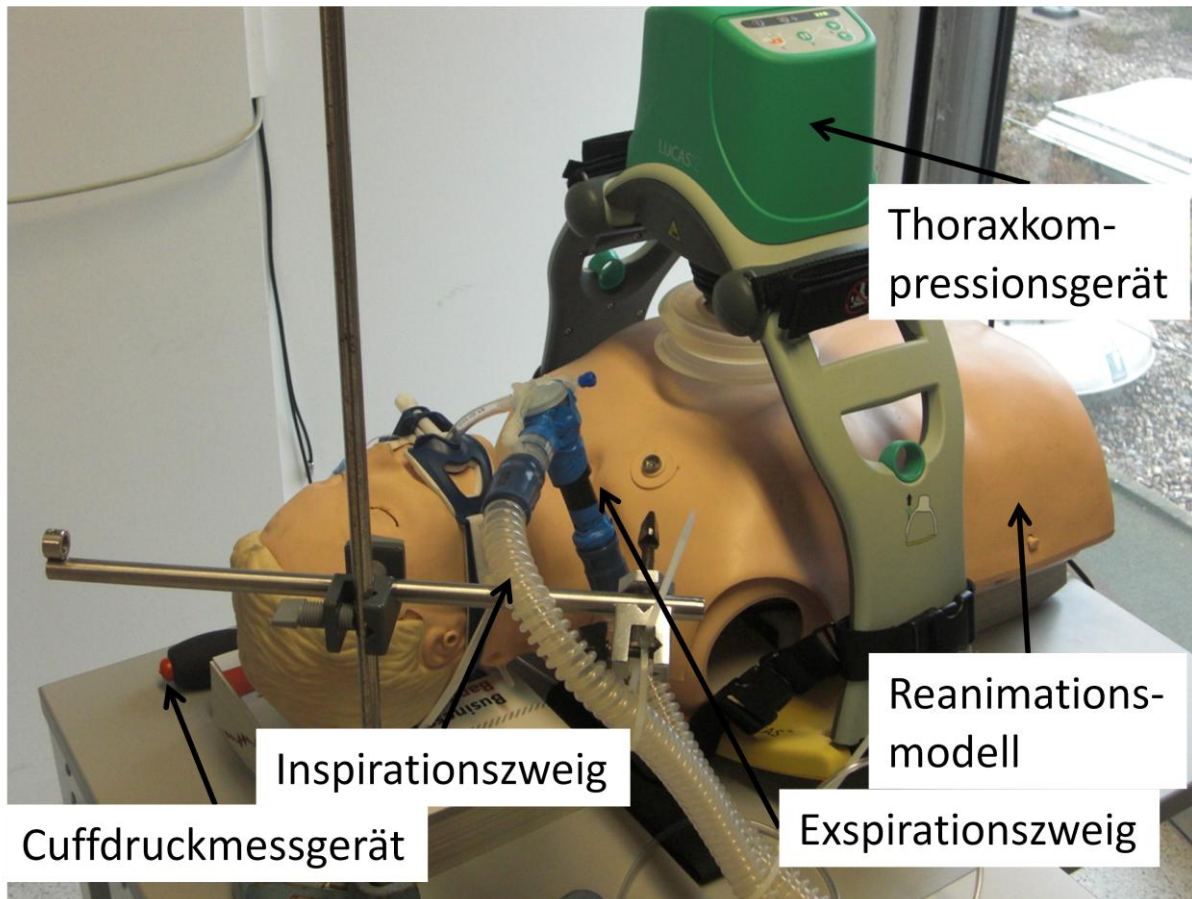


Abbildung 14: Das Reanimationsmodell ist endotracheal intubiert, das Thoraxkompressionsgerät ist installiert und die Beatmungsschläuche für In- und Expiration sind gesichert.

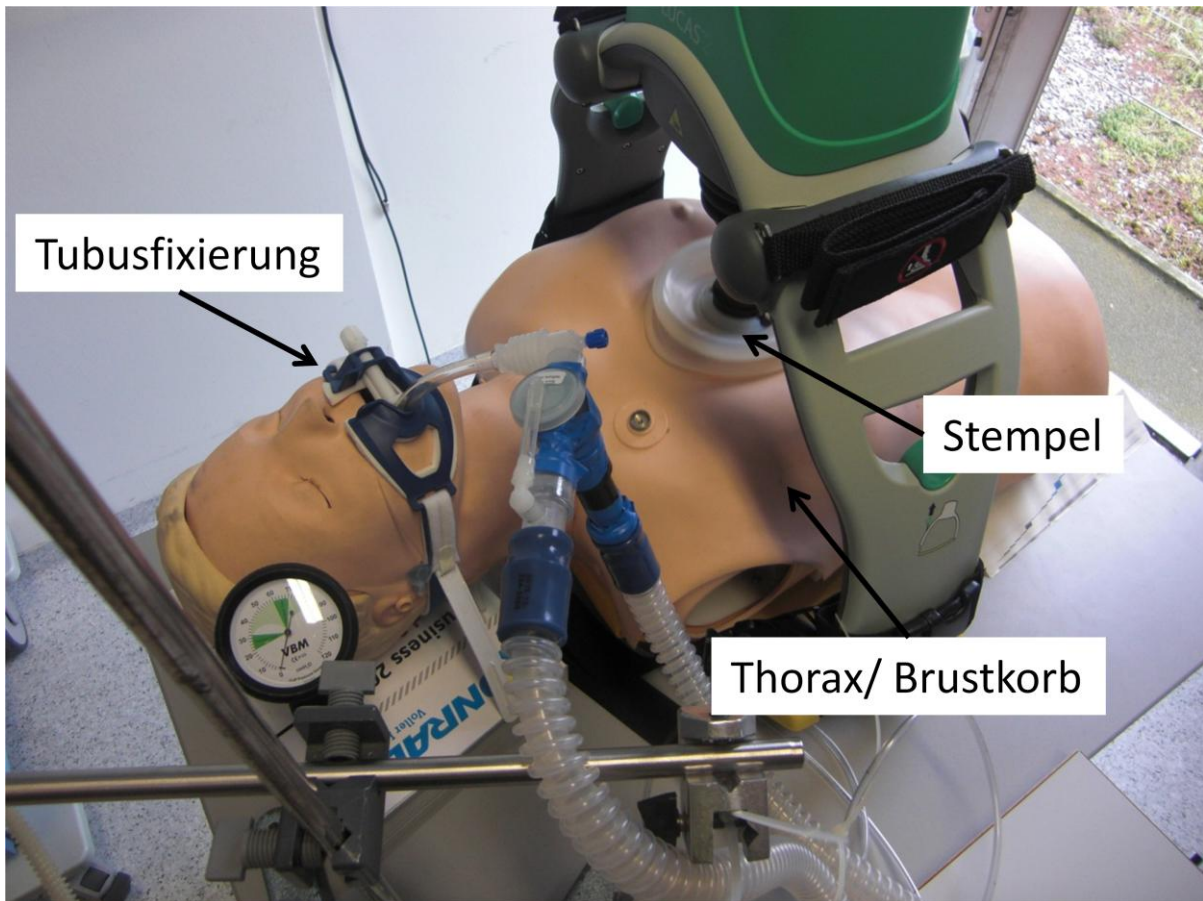


Abbildung 15: Der Stempel des Thoraxkompressionsgerätes liegt auf der Mitte des Brustkorbes auf.

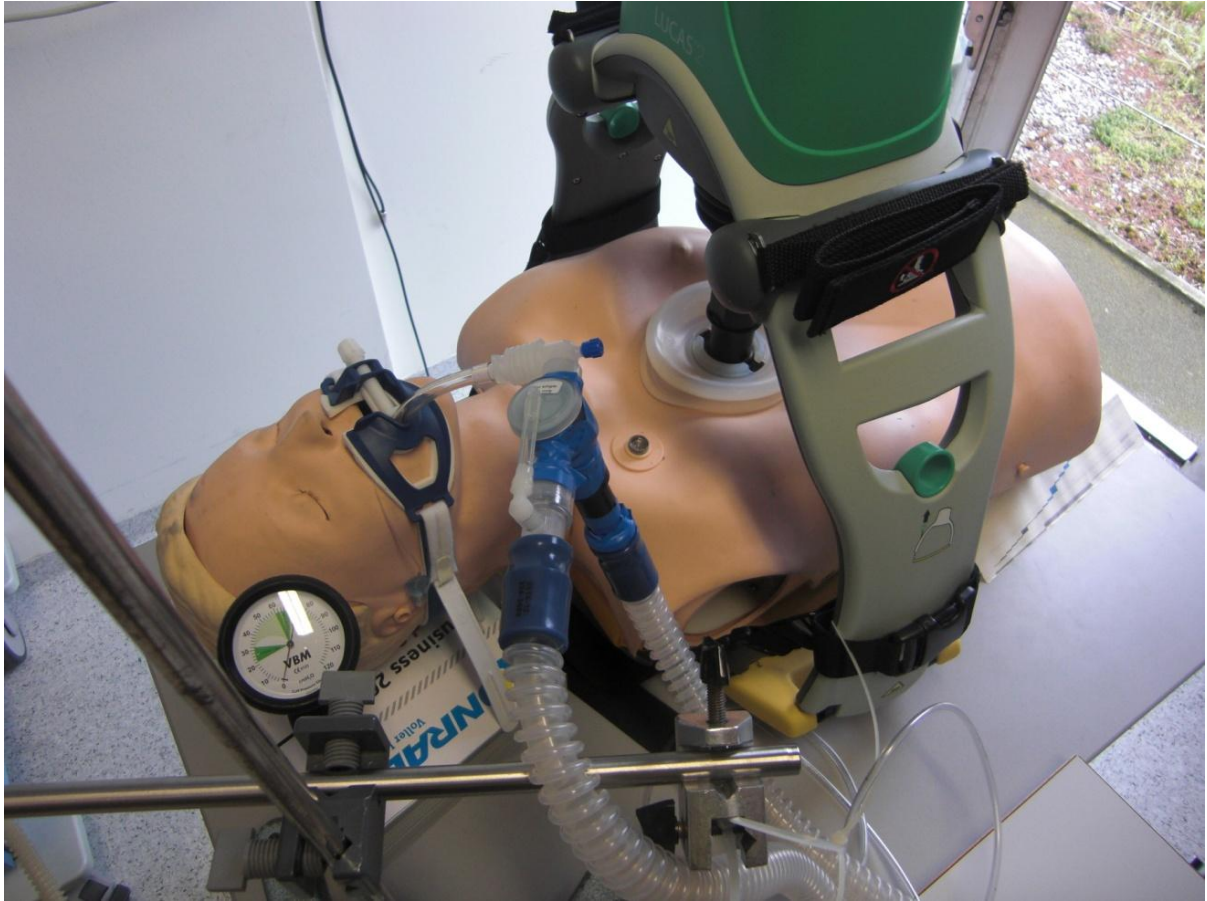


Abbildung 16: Der Stempel des Thoraxkompressionsgerätes komprimiert den Brustkorb.



Abbildung 17: Flowmeter zum Messen der Expiration. Ein baugleiches Gerät wurde auch zum Messen der Inspiration benutzt.

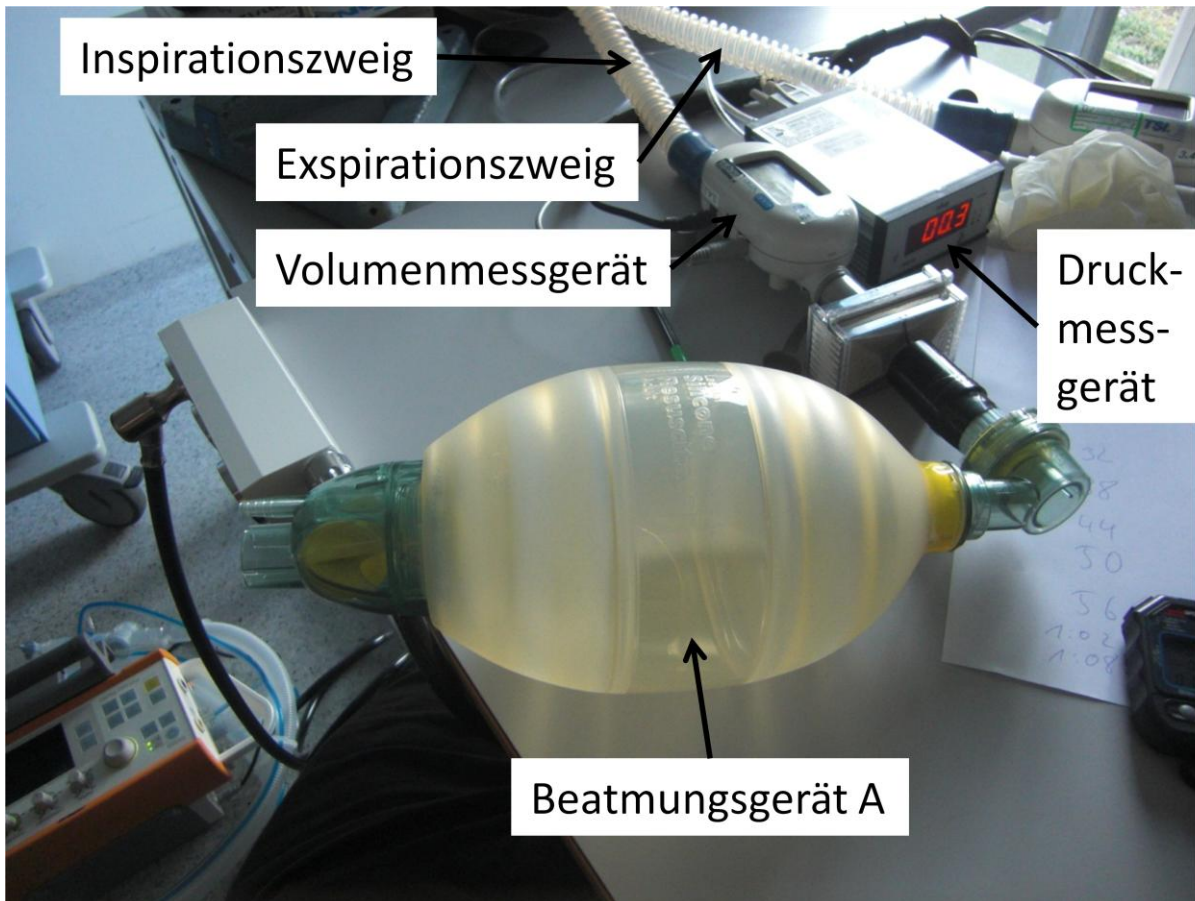


Abbildung 18: Beatmungsgerät A ist an den Inspirationszweig angeschlossen. Zu sehen ist zwischen den beiden Flowmetern das Druckmessgerät.

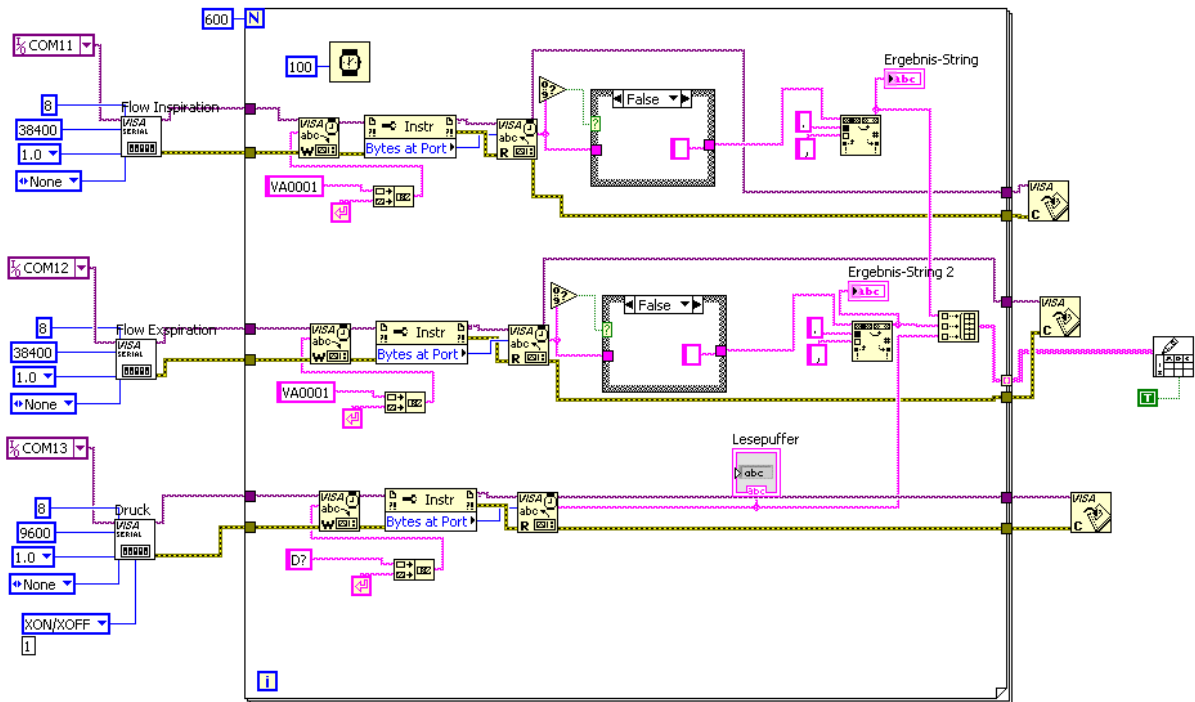


Abbildung 19: Darstellung aus der Auswertungssoftware Labview: Softwarelösung um die Messgeräte anzusteuern (links) und auszuwerten und in dateiform die gemessenen Werte auszugeben (rechts)

Statistikauswertung mit Statistikprogramm

Abkürzungsverzeichnis für Zusammensetzung der zu vergleichenden Werte:

A= Beatmungsbeutel / Beatmungsgerät A

B= Medumat Standard / Beatmungsgerät B

C= Oxylog 1000 / Beatmungsgerät C

D= Medumat Transport / Beatmungsgerät D

E= Oxylog 3000+ / Beatmungsgerät E

ET= Reanimationsmodell ist endotracheal intubiert

LT= Reanimationsmodell ist supraglottisch intubiert

GM= Grundmessung

TK= Thoraxkompression

40= maximaler Beatmungsdruck 40 mbar

60= maximaler Beatmungsdruck 60 mbar

Pmax= Beatmung mit maximalen Beatmungsdruck (entspricht 60 mbar)

DK= druckkontrollierte Beatmung (BiPAP/BiLevel)

PCV= PCV Beatmung