

Universitätsklinik für Anästhesiologie Ulm

Ärztlicher Direktor:

Prof. Dr. Dr. h.c. M. Georgieff

Können Sicherheitsventile die notfallmäßige Maskenbeatmung
durch Ersthelfer unterschiedlicher Berufsgruppen
verbessern?

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität Ulm

Elke Elisabeth Mutzbauer
geboren in Bautzen

2004

Amtierender Dekan: Prof. Dr. Klaus-Michael Debatin

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Manfred Weiß

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Andreas Hannekum

Tag der Promotion: 20. Oktober 2005

0	Abkürzungen.....	3
1	Einleitung	4
	Herz-Kreislauf-Stillstand.....	4
1.1	Epidemiologie, Ätiologie und Therapie	4
1.2	Vergleich der Anwendung zweier Maskentypen mit Sicherheitsventilvorrichtung mit der konventionellen Technik bei Beatmung und Reanimation	14
1.3.	Vergleich der Maskenbeatmung <i>mit</i> und <i>ohne Sicherheitsventil</i> mit der <i>konventionellen</i> Technik hinsichtlich Beatmung und Reanimation.....	16
1.4	Einfluss unterschiedlicher Rahmenbedingungen auf die Durchführung von Beatmung und Reanimation.....	17
1.5	Einfluss einer akustischer Kontrollvorrichtung auf die Durchführung der Beatmung.....	19
2	Material und Methoden	19
3	Ergebnisse	27
3.1	Probanden	27
3.2	Einfluss der Anwendung zweier Maskentypen mit Sicherheitsventilvorrichtung im Vergleich zur konventionellen Technik auf die Durchführung der Beatmung und der Reanimation	28
3.3	Vergleich der Beatmungstechnik Mund zu Maske <i>mit</i> und <i>ohne</i> Sicherheitsventil sowie der konventionellen Mund zu Mund-Technik (Testgruppe Zahnärzte).....	40
3.4	Einfluss unterschiedlicher Rahmenbedingungen auf die Durchführung der Beatmung und der Reanimation	47

3.5 Beurteilung der Effektivität der akustischen Kontrollvorrichtung zur Überprüfung der Lungenbeatmung durch den Anwender	57
4 Diskussion.....	57
4.1 Allgemeine Vorbemerkungen.....	57
4.2 Vergleiche zweier Maskentypen mit Sicherheitsventil mit der konventionellen Beatmung.....	58
4.3 Vergleich der Beatmungstechnik Mund zu Maske <i>mit</i> und <i>ohne</i> Sicherheitsventil sowie der konventionellen Mund zu Mund-Technik (Testgruppe Zahnärzte).....	60
4.4 Einfluss unterschiedlicher Rahmenbedingungen auf die Durchführung der Beatmung und der Reanimation.....	62
4.5 Effektivität des akustischen Signalgebers	64
4.6 Effektivität des Sicherheitsventils und Literaturvergleich.....	65
5 Zusammenfassung	76
6 Literaturverzeichnis	78
7 Danksagung.....	82

0 Abkürzungen

Abb.	–	Abbildung
al.	–	andere
Ambu SV	–	Kombination von Ambu-Maske und Sicherheitsventil
bzw.	–	beziehungsweise
cm	–	Zentimeter
d.h.	–	das heisst
ERC	–	European Resuscitation Council
H ₂ O	–	Wassersäule
IQR	–	Inter Quartil Range
konv.	–	konventionell
l	–	Liter
Ltd.	–	Limited
mbar	–	Millibar
min	–	Minute
ml	–	Milliliter
n	–	Anzahl von Beobachtungen
p	–	Irrtumswahrscheinlichkeit
s	–	Sekunde
Soft SV	–	Kombination aus VBM-Maske ("Softmaske") – Maske Größe 3 der Firma VBM-Medizintechnik (Sulz am Neckar, Deutschland) – und Sicherheitsventil
SV	–	Sicherheitsventil
Std.	–	Standard
TLOS _R	–	transiente Relaxationen des unteren Ösophagussphincters
Vol ¹ , Vol ²	–	Volumeter (integriert in Phantom-Messeinrichtung)

1 Einleitung

Herz-Kreislauf-Stillstand

Definition:

Bei einem Herz-Kreislauf-Stillstand kommt die Blutzirkulation zum Erliegen und die Organe werden nicht mehr mit Sauerstoff versorgt. Ein Herz-Kreislauf-Stillstand ist durch eine der folgenden elektrischen Herzaktionen gekennzeichnet (1):

Kammerflimmern

Ventrikuläre Tachykardie

Asystolie

Pulslose elektrische Aktivität.

1.1 Epidemiologie, Ätiologie und Therapie

Nach den offiziellen Angaben (27) starben im Jahr 2001 in Deutschland 71.000 Menschen an einem Myokardinfarkt, das entspricht 8,6% aller Todesfälle. Die Hauptursache für ein Versterben der Patienten in der Frühphase dieser Erkrankung sind Herzrhythmusstörungen, die in ein Kammerflimmern übergehen (27).

Für einen Laien ohne Hilfsmittel besteht die einzige Möglichkeit, diese Situation ohne weitere Organschäden bis zum Eintreffen professioneller medizinischer Hilfe zu überbrücken, in der Durchführung von Basismaßnahmen der Herz-Lungen-Wiederbelebung.

Diese besteht aus der künstlichen Beatmung im Wechsel mit einer Herzdruckmassage durch intermittierende Thoraxkompressionen.

1.1.1 Basismassnahmen der Herz-Lungen-Wiederbelebung

Die aktuellen Empfehlungen zu den Basismaßnahmen der Herz-Lungen-Wiederbelebungen orientieren sich an den Empfehlungen des European Resuscitation

Council von 2000 (13). Sie werden in Deutschland in leicht modifizierter Form umgesetzt (4). Danach hat der Algorithmus bei der Reanimation die Bestandteile der Abbildung 1.

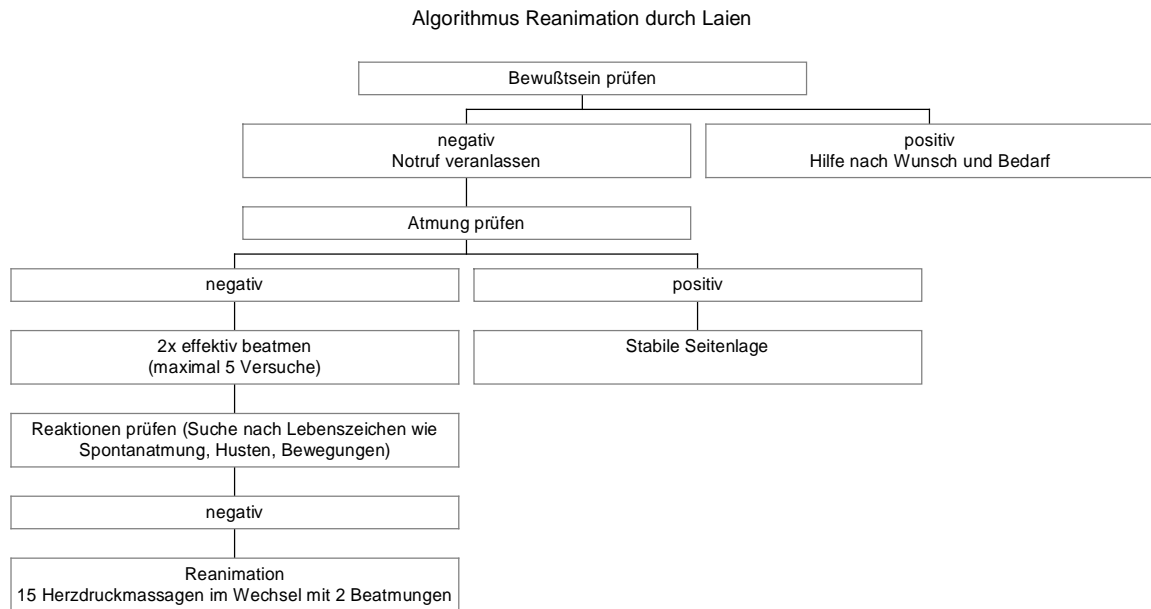


Abbildung 1: Algorithmus Wiederbelebung durch Laien

Die Beatmung ist integraler Bestandteil der Herz-Lungen-Wiederbelebung. Im Gegensatz zur Herz-Druckmassage bestehen für einen Laien bei der Beatmung mehrere Durchführungsmöglichkeiten.

1.1.2 Beatmung – Techniken und Hilfsmittel

Die künstliche Beatmung durch Ausatemluft des Ersthelfers durch Mund zu Mund oder Mund zu Maske-Technik wurde schon in den fünfziger Jahren des letzten Jahrhunderts beschrieben. (12, 21). Die gegenwärtigen Empfehlungen des European Resuscitation Council beinhalten ein Tidalvolumen durch den Ersthelfer von 700-1000 Milliliter pro Atemhub, wobei dies nur ein Anhaltspunkt für den Ausbilder darstellt. Jeder Atemhub bei der Beatmung von Erwachsenen soll 2 Sekunden dauern (13).

In der Praxis gilt die Anweisung: "Beatmen Sie...bis sich der Brustkorb des Patienten wie bei einem normalen Atemzug hebt" (8)

Beatmungstechniken ohne Hilfsmittel (1)

Mund zu Mund-Beatmung



Abbildung 2: Mund zu Mund-Beatmung ohne Hilfsmittel. Hierbei kniet der Helfer seitlich des Patienten, überstreckt den Kopf mit der stirnseitigen Hand und verschließt mit Daumen und Zeigefinger dieser Hand gleichzeitig die Nase; mit den Fingern der kinnseitigen Hand wird der Unterkiefer nach ventral gezogen und gleichzeitig die Kopfüberstreckung unterstützt; die Luft wird unter dichtem Umschließen der Lippen des Patienten durch die des Helfers insuffliert

Mund zu Nase-Beatmung

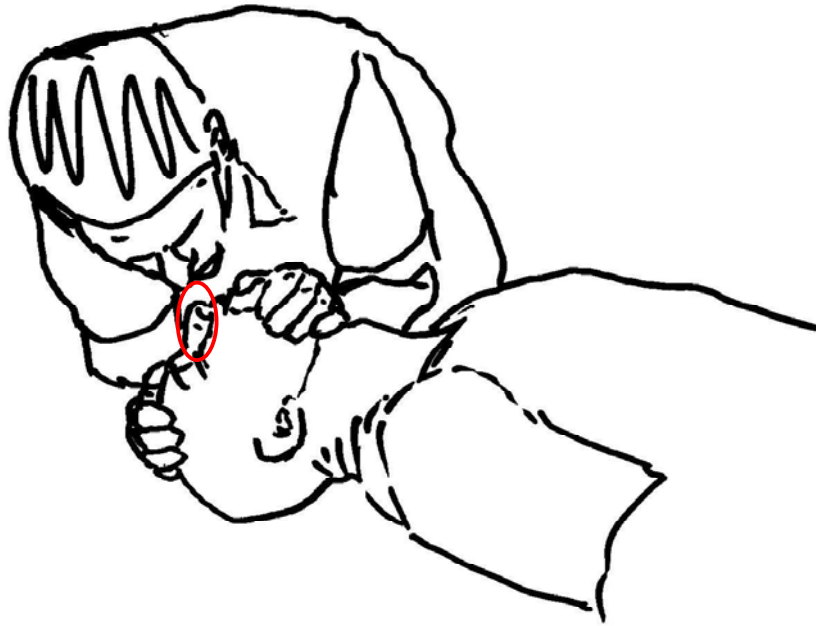


Abbildung 3: Mund zu Nase-Beatmung ohne Hilfsmittel. Hierbei kniet der Helfer seitlich des Patienten, überstreckt den Kopf mit der stirnseitigen Hand; mit den Fingern der kinnseitigen Hand wird der Unterkiefer nach ventral gezogen und gleichzeitig die Kopfüberstreckung unterstützt, mit dem Daumen dieser Hand werden die Lippen verschlossen; die Luft wird in die Nase insuffliert, wobei diese mundstückartig von den Lippen des Helfers umschlossen wird. Auf der Abbildung ist die Phase kurz vor Umschließen der Nase dargestellt.

Techniken mit Hilfsmitteln (1)

Beatmung über Barriere-Vorrichtungen



Abbildung 4: Beatmung über Barriere-Vorrichtung (hier Kunststoffuch mit mittig angebrachtem flachem Filter); Anwendung seitlich – hierbei kniet der Helfer seitlich des Patienten, überstreckt den Kopf mit der stirnseitigen Hand und verschließt mit Daumen und Zeigefinger dieser Hand gleichzeitig die Nase; mit den Fingern der kinnseitigen Hand wird der Unterkiefer nach ventral gezogen und gleichzeitig die Kopfüberstreckung unterstützt; die Luft wird über die Filteröffnung des Tuches in den Mund insuffliert

Beatmung über Mund zu Maske-Vorrichtungen



Abbildung 5: Beatmung über Mund zu Maske-Technik; Anwendung seitlich – hierbei kniet der Helfer seitlich des Patienten und preßt die Maske mit beiden Daumenballen und Daumen von der Stirn und Kinnseite her dicht auf das Gesicht, wobei mit den übrigen Fingern der kinnseitigen Hand der Unterkiefer nach ventral und gegen die Maske gezogen wird; die Luft wird in die Beutelanschlußöffnung der Maske oder ein dort angebrachtes Mundstück insuffliert

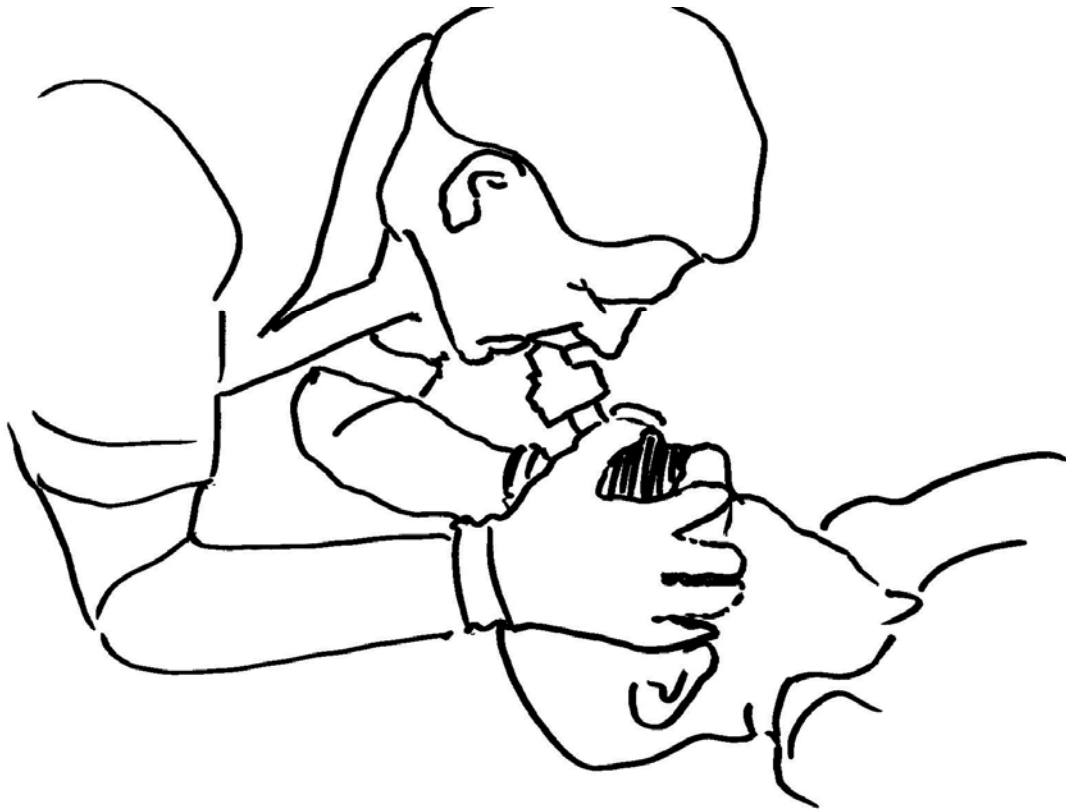


Abbildung 6: Beatmung über Mund zu Maske-Technik; Anwendung über Kopf – hierbei kniet oder sitzt der Helfer hinter dem Patienten und preßt die Maske mit beiden Daumenballen und Daumen dicht auf das Gesicht, wobei mit den übrigen Fingern beider Hände der Unterkiefer nach ventral und gegen die Maske gezogen wird; die Luft wird in die Beutelanschlußöffnung der Maske oder ein dort angebrachtes Mundstück insuffliert

Beatmung über Beutel-Maske-Vorrichtungen



Abbildung 7: Beatmung über Beutel Maske-Technik durch einen Helfer; Anwendung über Kopf – hierbei kniet oder sitzt der Helfer hinter dem Patienten und preßt die Maske mit einer Hand mittels des sogenannten C-Griffes (Daumen und Zeigefinger der Masken-Hand bilden ein "C", um über Druck auf den Maskenkörper den Maskenwulst gegen das Gesicht abzudichten) auf das Gesicht, während die übrigen Finger derselben Hand den Unterkiefer ventralwärts gegen die Maske ziehen und dabei gleichzeitig den Kopf überstrecken. Mit der anderen Hand wird der Beatmungsbeutel vorsichtig zusammengedrückt, sodaß die darin enthaltene Luft (bzw. Luft-Sauerstoffgemisch) in die Atemwege des Patienten gelangen kann



Abbildung 8: Beatmung über Beutel Maske-Technik durch zwei Helfer; hierbei kniet oder sitzt ein Helfer hinter dem Patienten und preßt die Maske mit beiden Händen beispielsweise mittels des sogenannten C-Griffes (Daumen und Zeigefinger beider Hände bilden jeweils ein "C", um über Druck auf den Maskenkörper den Maskenwulst gegen das Gesicht abzudichten) auf das Gesicht, während die jeweils übrigen Finger der Hand den Unterkiefer ventralwärts gegen die Maske ziehen und dabei gleichzeitig den Kopf überstrecken. Der andere Helfer drückt den Beatmungsbeutel vorsichtig zusammen, sodaß die darin enthaltene Luft (bzw. Luft-Sauerstoffgemisch) in die Atemwege des Patienten gelangen kann.

Beatmung über modifizierte Vorrichtungen

Jüngst wurde von einer Innsbrucker Arbeitsgruppe ein Verfahren getestet, welches als Mund zu Beutel-Technik beschrieben wird. Hierbei wurden die Beatmungseffekte eines von der Firma Ambu neu entwickelten Beatmungsbeutels geprüft. Dieser kann sowohl mit der konventionellen Methode von Hand als auch über einen integrierten luftballonähnlichen Innenbeutel durch Exhalation des Atemgases des Helfers in den Beutel betrieben werden. Die Maske wird bei diesem Verfahren mit beiden Händen auf das Gesicht aufgepreßt und der in den an die Maske angeschlossenen Ambu-Beutel integrierte Innenbeutel mit dem Mund aufgeblasen. Dabei kommt die Luft des Helfers mit den Atemwegen des Patienten gar nicht in Berührung, sondern führt zu einer Verdrängung des im Ambu-Beutel enthaltenen Gases, welches durch entsprechende Zufuhr von außen auch reiner Sauerstoff sein kann (29).

1.1.3 Problemstellung und Ziel der Arbeit

Wird ein nicht intubierter bewußtloser Mensch beatmet, hängt die Verteilung der Luft auf Lungen und Magen vom Öffnungsdruck des unteren Ösophagussphincters, der Compliance des respiratorischen Systems (6), und dem Grad der Atemwegsobstruktion (22) ab.

Die Insufflation von Luft in den Magen stellt im Rahmen der Basismaßnahmen der Herz-Lungen-Wiederbelebung ein wichtiges Problem dar. Durch Blähung des Magens können Regurgitation (18) und Aspiration von Mageninhalt auftreten. Außerdem kann die Insufflation von Luft in den Magen zu einer Erhöhung des Mageninnendruckes (24) mit Reduktion der Compliance des respiratorischen Systems (31) führen. Mit Abnahme der Compliance kommt es dann zu einer vorzugsweisen Insufflation von Beatmungsluft in den Magen (16). Einige Punkte sind jedoch noch unklar.

Ziele der vorliegenden Arbeit waren daher:

die Überprüfung der Effekte der Beatmung über eine Maskenvorrichtung mit Sicherheitsventilmechanismus zur Vermeidung übermäßiger Drucke im Vergleich zu der konventionellen Mund zu Mund-Beatmungstechnik im Rahmen einer Wiederbelebungssimulation an einem Reanimationsphantom. Diese Effekte sollten

insbesondere im Hinblick auf die respiratorische Variable Tidalvolumen und Mageninsufflationsvolumen mit der konventionellen Mund zu Mund-Beatmungstechnik verglichen werden.

- der Vergleich von zwei verschiedenen Maskentypen, die in Kombination mit dem Sicherheitsventilmechanismus zur Beatmung eingesetzt wurden. Auch hier sollten die respiratorischen Variablen Tidalvolumen und Mageninsufflationsvolumen beurteilt werden.
- die Darstellung der Durchführungsqualität der Beatmungsmassnahmen unter Anwendung verschiedener Maskentypen in Kombination mit Sicherheitsventil beziehungsweise in konventioneller Mund zu Mund-Technik in verschiedenen Kollektiven nichtärztlicher Berufsgruppen.

Im Speziellen sollte die vorliegende Arbeit folgende noch offene Fragen klären:

1.2 Vergleich der Anwendung zweier Maskentypen mit Sicherheitsventilvorrichtung mit der konventionellen Technik bei Beatmung und Reanimation

1.2.1 Bei Einsatztauchern

1.2.1.1 Im Hinblick auf die Beatmungsvolumina

Um den Einfluss des Maskentyps mit dem angeschlossenen Sicherheitsventil auf die Beatmung zu überprüfen, sollten zwei verschiedene Masken getestet und mit der konventionellen Beatmungstechnik verglichen werden. Die Hypothese bestand darin, dass sich unabhängig vom Maskentyp annähernd gleiche Tidalvolumina erzielen lassen und diese sich von der konventionellen Mund zu Mund-Beatmungstechnik ebenfalls nicht unterscheiden.

1.2.1.2 Im Hinblick auf die Mageninsufflation

Um den Einfluss des Maskentyps mit dem angeschlossenen Sicherheitsventil auf die Mageninsufflation zu überprüfen, sollten zwei verschiedene Masken getestet und mit der konventionellen Beatmungstechnik verglichen werden.

Die Hypothese bestand darin, dass sich eine Mageninsufflation unabhängig vom Maskentyp mit Hilfe der Sicherheitsvorrichtung im Vergleich zur konventionellen Mund zu Mund-Beatmung vermeiden oder zumindest deutlich reduzieren lässt.

1.2.1.3 Im Hinblick auf den Zeitbedarf bei der Reanimation

Um den Einfluss des Maskentyps mit dem angeschlossenen Sicherheitsventil auf den Zeitbedarf bei der Reanimation zu überprüfen, sollten zwei verschiedene Masken getestet und mit der konventionellen Beatmungstechnik verglichen werden. Die Hypothese bestand darin, dass die Beatmung mit unterschiedlichen Maskentypen im Vergleich zur konventionellen Mund zu Mund-Beatmung den Zeitbedarf bei der Reanimation nicht beeinflusst.

1.2.2 Bei Sanitätspersonal

1.2.2.1 Im Hinblick auf die Beatmungsvolumina

Um den Einfluss des Maskentyps mit dem angeschlossenen Sicherheitsventil auf die Beatmung zu überprüfen, sollten zwei verschiedene Masken getestet und mit der konventionellen Beatmungstechnik verglichen werden. Die Hypothese bestand darin, dass sich annähernd gleiche Tidalvolumina erzielen lassen, gleichgültig ob eine Masken- oder die konventionelle Mund zu Mund-Beatmungstechnik zum Einsatz kommt.

1.2.2.2 Im Hinblick auf die Mageninsufflation

Um den Einfluss des Maskentyps mit dem angeschlossenen Sicherheitsventil auf die Mageninsufflation zu überprüfen, sollten zwei verschiedene Masken getestet und mit der konventionellen Beatmungstechnik verglichen werden.

Die Hypothese bestand darin, dass sich eine Mageninsufflation unabhängig vom Maskentyp mit Hilfe der Sicherheitsventilvorrichtung im Vergleich zur konventionellen Mund zu Mund-Beatmung vermeiden oder zumindest deutlich reduzieren lässt.

1.2.2.3 Im Hinblick auf den Zeitbedarf bei der Reanimation

Um den Einfluss des Maskentyps mit dem angeschlossenen Sicherheitsventil auf den Zeitbedarf bei der Reanimation zu überprüfen, sollten zwei verschiedene Masken getestet und mit der konventionellen Beatmungstechnik verglichen werden. Die Hypothese bestand darin, dass die Beatmung mit unterschiedlichen Maskentypen im Vergleich zur

konventionellen Mund zu Mund-Beatmung den Zeitbedarf bei der Reanimation nicht nachteilig beeinflusst.

1.3 Vergleich der Maskenbeatmung mit und ohne Sicherheitsventil mit der konventionellen Technik hinsichtlich Beatmung und Reanimation

1.3.1 Im Hinblick auf die Beatmungsvolumina

Um den Einfluss der Zwischenschaltung des Sicherheitsventils auf die Beatmung zu überprüfen, sollte jeweils die selbe Maske mit und ohne das Ventil getestet und mit der konventionellen Beatmungstechnik verglichen werden. Die Hypothese bestand darin, dass sich bei Beatmung mit der Maske unabhängig von der Zwischenschaltung des Ventils im Vergleich zur konventionellen Mund zu Mund-Beatmung im Hinblick auf die erzielten Tidalvolumina keine Unterschiede ergeben.

1.3.2 Im Hinblick auf die Mageninsufflation

Um den Einfluss der Zwischenschaltung des Sicherheitsventils auf die Mageninsufflation zu überprüfen, sollte jeweils die selbe Maske mit und ohne das Ventil getestet und mit der konventionellen Beatmungstechnik verglichen werden. Die Hypothese bestand darin, dass eine Mageninsufflation durch die Anwendung der Masken-Beatmungstechnik in einer ähnlich hohen Grössenordnung liegen würde wie bei der konventionellen Mund zu Mund-Technik und dass durch Zwischenschaltung des Sicherheitsventils eine Reduktion der Mageninsufflation erzielbar wäre.

1.3.3 Im Hinblick auf die Flussgeschwindigkeit der Ausatemluft der beatmenden Probanden

Um den Einfluss der Zwischenschaltung des Sicherheitsventils auf die Flussgeschwindigkeit der Ausatemluft der beatmenden Probanden bei der Reanimation zu

überprüfen, sollte jeweils die selbe Maske mit und ohne das Ventil getestet und mit der konventionellen Beatmungstechnik verglichen werden. Die Hypothese bestand in einer Verminderung der Flussgeschwindigkeit durch die Beatmungsmaske an sich, und dass diese durch das Ventil noch weiter abgeschwächt werden würde.

1.3.4 Im Hinblick auf den Zeitbedarf bei der Reanimation

Um den Einfluss der Zwischenschaltung des Sicherheitsventils auf den Zeitbedarf bei der Reanimation zu überprüfen, sollte jeweils die selbe Maske mit und ohne das Ventil getestet und mit der konventionellen Beatmungstechnik verglichen werden.

Die Hypothese bestand darin, dass die Beatmung mit der Maske mit und ohne Zwischenschaltung des Ventils im Vergleich zur konventionellen Mund zu Mund-Beatmung den Zeitbedarf bei der Reanimation nicht beeinflusst.

1.4 Einfluss unterschiedlicher Rahmenbedingungen auf die Durchführung von Beatmung und Reanimation

Mit zunehmender Dauer eines Herz-Kreislauf-Stillstandes vermindert sich der Öffnungsdruck des unteren Ösophagussphincters auch während einer Reanimation (3). Daher sind unterschiedliche Rahmenbedingungen konstruierbar. Von diesen sollten drei Szenarien geprüft werden:

1. weniger ausgebildeter Ersthelfer und sehr niedriger Ösophagussphincter-Öffnungstonus bei sehr hohem Sicherheitsventilöffnungsdruck (worst case scenario)
2. professioneller Ersthelfer und hoher Ösophagussphincter-Öffnungstonus bei gleich hohem Sicherheitsventilöffnungsdruck (best case scenario)
3. gut ausgebildeter Ersthelfer und niedriger Ösophagussphincter-Öffnungstonus bei etwas darüberliegendem Sicherheitsventilöffnungsdruck (ein intermediate case scenario)

Die in sich homogenen Probandenkollektive, die die Massnahmen durchführten, waren Einsatztaucher des Bundesgrenzschutzes als Laienhelfer mit Schulung in Wiederbelebungsmaßnahmen auf regelmässiger Basis (gut ausgebildete Ersthelfer), nichtärztliches Sanitätspersonal der Bundeswehr mit Schulung in Wiederbelebungsmaßnahmen auf regelmässiger Basis (professionelle Ersthelfer) und Zahnärzte als Ersthelfer mit medizinischen Grundkenntnissen, aber länger zurückliegenden Schulungsmaßnahmen in Wiederbelebungs-techniken (schlecht ausgebildete Ersthelfer).

1.4.1 Im Hinblick auf das Beatmungsvolumen

Die Hypothese bestand darin, dass sich durch die professionellen Ersthelfer im best case scenario im Vergleich zu den regelmässig geschulten Laienhelfern im intermediate case scenario deutlich höhere Beatmungsvolumina erzielen lassen, und dass die Beatmungsvolumina der Laienhelfer im intermediate case scenario noch deutlich über denen der kaum geschulten Zahnärzte im worst case scenario liegen würden. Es wurde zudem erwartet, dass die Beatmungstechnik mit Ventil entsprechend den Szenarien ebenso unterschiedliche Verteilungen der erzielten Tidalvolumina ergeben würde.

1.4.2 Im Hinblick auf die Mageninsufflation

Die Hypothese bestand darin, dass durch die professionellen Ersthelfer im best case scenario im Vergleich zu den regelmässig geschulten Laienhelfern im intermediate case scenario deutlich niedrigere Mageninsufflationsvolumina erzielt werden würden, und dass die Mageninsufflationsvolumina der Laienhelfer im intermediate case scenario noch deutlich unter denen der kaum geschulten Zahnärzte im worst case scenario liegen würden. Bei der Beatmungstechnik mit Sicherheitsventil wurde nur für das worst case scenario die Beobachtung einer Mageninsufflation erwartet.

1.4.3 Im Hinblick auf den Zeitbedarf bei der Reanimation

Die Hypothese bestand darin, dass die professionellen Ersthelfer im Vergleich zu den regelmässig geschulten Laienhelfern einen deutlich niedrigeren Zeitbedarf für zehn Reanimationszyklen benötigen würden als die Taucher als Laienhelfer und das deren Zeitbedarf noch deutlich unter dem der kaum geschulten Zahnärzte liegen würde.

1.5 Einfluss einer akustischer Kontrollvorrichtung auf die Durchführung der Beatmung

Die in das Sicherheitsventil eingebaute akustische Erfolgskontrolle muss der Laienhelfer auch als solche wahrnehmen und interpretieren. Das Ausbleiben der akustischen Erfolgskontrolle bei der Beatmung sollte also Anlass geben, die Technik der Beatmung so zu modifizieren, dass das Signal wahrgenommen wird.

Die Hypothese war, dass die Behandler versuchen würden, ihre Beatmungstechnik so anzupassen, dass sie das Signal wahrnehmen, welches ihnen den Hinweis auf eine regelrechte passive Ausatmung des Beatmungsphantoms gibt.

2 Material und Methoden

Die Darstellung der Meßeinrichtung und des Versuchsaufbaus ist aus Abbildung 9 ersichtlich.

Die Messung der Resistance und der Compliance des Phantomaufbaus und der angeschlossenen Meßapparaturen erfolgte mittels eines an die künstliche Trachea angeschlossenen Intensiv-Respirators vom Typ Evita II (Dräger, Lübeck). Es ergab sich bei einem Inspirations-Expirations-Verhältnis von 1:1 bei einem Atemwegsspitzenruck von 26 und einem Plateau von 18mbar bei einem Flow von 25l/min eine Resistance von 13mbar/l*s bei einer Compliance von 51ml/mbar.

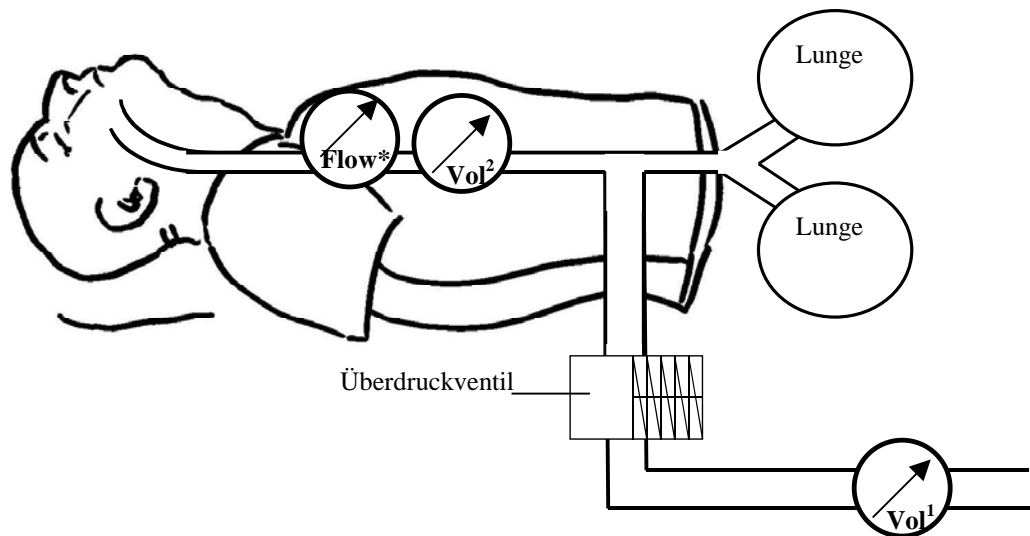


Abbildung 9: Meßeinrichtung zur Evaluation von Reanimationsübungen unter spezieller Berücksichtigung der Ventilation und Magenbelüftung im Rahmen der künstlichen Beatmung. Über ein Überdruckventil kann ein Druckgrenzwert vorgegeben werden, bei dem die Beatmung eine Magenbelüftung bewirkt. Das entsprechende Volumen kann mit dem stromabwärts montierten Volumeter (Vol¹) bestimmt werden. Im kombinierten Atemweg ist ein weiteres Volumeter (Vol²) eingebaut.

*Im dritten Experiment wurde zusätzlich eine Flow-Meßröhre in den künstlichen Atemweg integriert (Bailey Fischer Porter, Göttingen, Deutschland).

2.1.1 Sicherheitsventil

Das Sicherheitsventil wurde aus einer Kombination konventioneller im Handel erhältlicher Bauteile für die künstliche Beatmung von Patienten zusammengesetzt. Zusätzlich wurde eine aus dem Spielwarenhandel stammende Pfeife in die Expirationsöffnung des in die Apparatur integrierten Ambu Mark III-Ventils eingebaut.

Als Grundlage für die Konfiguration des Sicherheitsventils diente eine Gebrauchsmuster-Skizze beim Deutschen Patentamt. Das Ventil ist in dieser Form nicht im Handel erhältlich.

Das Sicherheitsventil-Konzept beinhaltet eine Ventilkombination für eine gegen Fehlbeatmung gesicherte Beatmungsmaske insbesondere zur Anwendung durch Ersthelfer bei Wiederbelebensmaßnahmen.

Die Beatmungsmaske ist zur Vermeidung der Situation der Mageninsufflation und zur Gewährleistung einer adäquaten Beatmung der Lungen mit einer Kombination aus zwei Ventilen ausgestattet. Ein Ventil wird als Beatmungsventil, das andere als Sicherheitsventil bezeichnet. Zur Erfolgskontrolle weist die Apparatur einen dem Beatmungsventil im Ausatemteil zugeordneten, akustischen Signalgeber auf.

Eine Darstellung des Sicherheitsventil-Konzeptes ist in Figur 1 der Abbildung 10 wiedergegeben. Beide Ventile sind hier aus Gründen der besseren Übersicht in Offen- bzw. in einer Mittelstellung dargestellt. Bei der Benutzung des Systems treten diese Ventilstellungen nicht gleichzeitig auf. Die verschiedenen Arbeitsphasen der Ventile sind in den Figuren 2-4 wiedergegeben.

Die Vorrichtung gemäß Figur 1 ist gekennzeichnet durch eine Ventilkombination zur Vermeidung eines exzessiv hohen Beatmungsdruckes bei der Maskenbeatmung durch Ersthelfer. Sie besteht aus einem Rohrabschnitt (1), der an eine Patientenmaske P angeschlossen werden kann und einem Rohrabschnitt (2), zum Einblasen von Luft mittels eines Mundstückes M. Zwischen Rohrabschnitt (2) und dem Außenlufttraum ist ein Ventilkörper (3a) angeordnet, mit einem einfachwirkenden, bei Überschreiten eines voreingestellten Druckes im Rohrabschnitt (1) zum Außenraum öffnenden Sicherheitsventil (3) und einem zwischen den Rohrabschnitten (1) und (2) einerseits und dem Außenlufttraum andererseits angeordneten Ventilkörper (4a), der ein doppelt wirkendes Ausatemventil (4) aufweist. An das Ausatemventil (4) ist zur Außenraumseite hin ein Geber (5) für ein akustisches Signal angeschlossen, das das Ausatmen hörbar macht.

Die Funktionsweise ist in den Figuren 2 und 3 wiedergegeben. Figur 2 zeigt den Beatmungsvorgang, d.h. das helfergestützte Einatmen (kontrollierte Beatmung) und Figur 3 den Ausatemvorgang des Patienten durch die jeweiligen Ventilstellungen und die sich ergebenden Luftströmungen. Figur 4 gibt die Ventilstellungen beim Ansprechen des Sicherheitsventils (Überdruckventil) wieder.

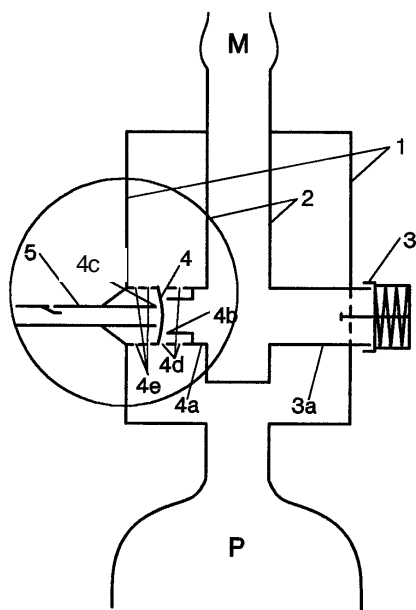
Demnach funktioniert die Maske bei Anwendung folgendermaßen (Figur 1/2): zunächst bläst der Helfer im Sinne der Atemspende Luft in das Mundstück M. Dabei wird das Membranventil (4) gegen den Ventilsitz (4c) am Rohrstück 5 gedrückt und verschließt diesen. Die Luft gelangt vom Rohrabschnitt (2) über die Bohrungen (4d)

des Rohrabschnittes (4a) in den vom Rohrabschnitt (1) gebildeten Raum und über die Maske P in die Atemwege des Patienten.

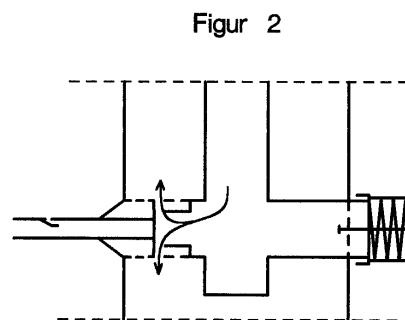
Während der folgenden Ausatemphase (Figur3) unterbricht der Helfer die Beatmung, sodaß der Druck im Innern der Maske auf den Außendruck absinkt und sich die Ventilmembran (4) vom Ventilsitz (4c) abzuheben beginnt. Jetzt atmet der Patient aus. Entweder erfolgt dies spontan oder durch die intermittierend durchgeführte Thoraxkompression im Rahmen der Herzdruckmassage. Der sich einstellende leicht erhöhte Druck innerhalb der Maske bzw. des Rohrabschnittes (1) gelangt über die Bohrungen (4e) des Rohrabschnittes (4a) zur Ventilmembran (4) und verschließt den gegenüberliegenden Stutzen (4b) bzw. öffnet den Luftweg nach (5), sodaß die Expirationsluft des Patienten die Maske über den akustischen Signalgeber verläßt.

Hat der Helfer nun versucht, den Patienten mit einem Druck zu beatmen, der höher ist, als am Sicherheitsventil (3) eingestellt, öffnet sich dieses (Figur 4) und es kann sich höchstens der zulässige Druck in der Maske aufbauen; der Druck der an den Patienten abgegebenen Ausatemluft wird auf das eingestellte Maß verringert.

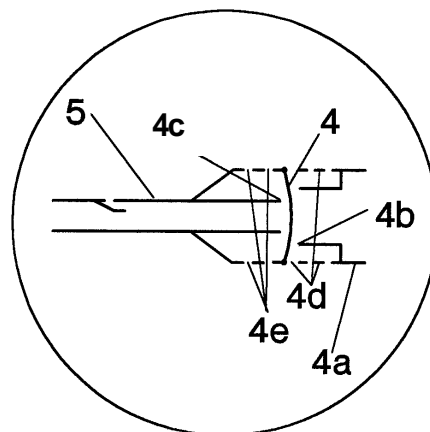
Ist hingegen die Maske nicht dicht auf das Gesicht und die Atemwege des Patienten aufgesetzt, wird die Beatmungsluft über die undichte Stelle entweichen. Dem Helfer wird dies dadurch kenntlich gemacht, daß das akustische Signal des Ausatemwegs ausbleibt, da keine Luft über den Geber (5) nach außen gelangt.



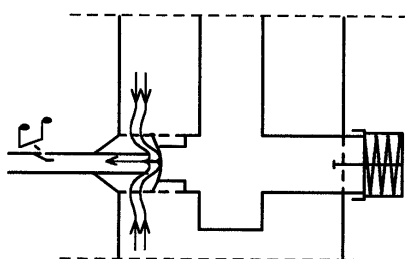
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4

Abbildung 10 (Sicherheitsventil zur Druckbegrenzung bei künstlicher Beatmung während Wiederbelebensmaßnahmen mit integriertem akustischem Kontrollmechanismus zum Erfolgsnachweis einer Lungenbeatmung)

Mundstück M, Patientenmaske P, Gehäuse 1, Innenrohrabschnitt 2, Federbelastetes Sicherheitsventil 3, Inspirations-Ventilkörper 3a, doppelt wirkendes Ausatemventil 4, Expirations-Ventilkörper 4a, dem Ausatemventil gegenüberliegender Stutzen 4b im Ventilkörper 4a, Ventilsitz 4c, an 4a anschließende Ventilwand mit Bohrungen 4d, Expirationsventilgehäuse mit Bohrungen 4e, koaxiales an Ventilsitz anschließendes Rohr mit integriertem akustischen Geber 5

Es wurden in verschiedenen Versuchen zwei Typen von Beatmungsmasken eingesetzt, die mit dem Sicherheitsventil kombiniert wurden:

Es kamen die Ambu-Maske Größe 3 (Ambu, Glostrup, Dänemark) sowie die Maske Größe 3 der Firma VBM-Medizintechnik (Sulz am Neckar, Deutschland) zum Einsatz. Beide Masken sind durch einen luftgefüllten Wulst zum Abdichten der Maske am Gesicht und einen starren Maskenkörper, der unter normalen Bedingungen an einen Beatmungsbeutel angeschlossen wird, gekennzeichnet. Eine schematische Darstellung findet sich in den Abbildungen 7 und 8.

Der Maskenwulst besteht bei der Ambu-Maske aus einer relativ starren Gummizusammensetzung, während die VBM-Maske durch ein sehr dünnes und weiches Kunststoffmaterial gekennzeichnet ist.

2.1.2 Beatmungstechnik Mund zu Maske *mit* Sicherheitsventil im Vergleich zur Beatmungstechnik Mund zu Maske *ohne* Sicherheitsventil bzw. zur konventionellen Mund zu Mund-Technik

Hierfür war es erforderlich, eine von drei homogenen Gruppen von Testpersonen mit sämtlichen dieser drei Techniken beatmen zu lassen. Es kam hier nur die VBM-Maske zum Einsatz.

2.1.3 Testpersonen

Es wurden drei Gruppen von Testpersonen gebildet:

1. männliche Einsatztaucher des Bundesgrenzschutzes
2. männliche und weibliche Sanitätsunteroffiziere
3. männliche und weibliche Zahnärzte (Studienabgänger)

Alle Testpersonen der Gruppen 1 und 2 werden einmal jährlich in Herz-Lungen-Wiederbelebungsmaßnahmen geschult, hatten aber zum Zeitpunkt der Untersuchung mindestens 6 Monate keine Instruktionen erhalten.

In Gruppe 3 lagen die letzten Wiederbelebungsübungen wenigstens 2 Jahre zurück.

2.1.4 Überprüfung der Effektivität des Sicherheitsventils bei unterschiedlichen Öffnungsdruck-Einstellungen mit unterschiedlichen Erschlaffungszuständen des Ösophagus sphincters durch variable Einstellungen am Versuchsaufbau

In Gruppe 1 (Einsatztaucher des Bundesgrenzschutzes) wurde der Ösophagus sphincter-Öffnungsdruck auf ≥ 5 mbar, der Sicherheitsventil-Öffnungsdruck auf ≥ 10 mbar eingestellt. In Gruppe 2 (männliche und weibliche Sanitätsunteroffiziere) lagen beide Öffnungsdrucke auf ≥ 15 mbar und in Gruppe 3 (männliche und weibliche Zahnärzte-Studienabgänger) wurde der Ösophagus sphincter-Öffnungsdruck auf ≥ 3 mbar reduziert, während der Sicherheitsventil-Öffnungsdruck auf ≥ 20 mbar erhöht wurde.

2.1.5 Beurteilung der Effektivität der in das Sicherheitsventil eingebauten akustischen Kontrollvorrichtung zur Überprüfung der Lungenbeatmung durch den Anwender

Anhand von Videoaufzeichnungen wurde versucht, zu analysieren, ob die Probanden ihre Beatmungstechnik so organisieren, dass sie das akustische Ausatemsignal wahrnehmen.

2.1.6 Versuchsdurchführung

Die Testpersonen aller Gruppen führten randomisiert Reanimationsmaßnahmen in Gestalt von Herzdruckmassage und Beatmung entsprechend der Empfehlungen der Fachgesellschaften durch. Dabei war es lediglich den zwei unmittelbar am Versuch beteiligten Probanden gestattet, sich in dem Raum aufzuhalten, in dem der Versuch durchgeführt wurde, um einen Lerneffekt bei Zusehern zu vermeiden. Die Randomisierung bestimmte, welche der Testpersonen eines Ersthelferteams mit der Beatmung beginnen sollte und in welcher Reihenfolge die Methoden zu Einsatz kommen mußten.

Die Randomisierungsliste war zuvor von einer Person erstellt worden, die in die Durchführung der Versuche und der Auswertung nicht involviert war.

In den Gruppen 1 und 2 wurden die zwölf Probanden in jeweils zwei gleich große Untergruppen à 6 Probanden aufgeteilt. Die Probanden beider Untergruppen beatmeten sowohl mit der konventionellen Technik als auch mit einer Masken/Sicherheitsventil-

Technik. Als Maske kam in je einer Untergruppe die Ambu-Maske Größe 3, in der anderen die Maske Größe 3 der Firma VBM (vereinfacht "Soft-Maske" genannt) zum Einsatz.

Die dritte Gruppe unterschied sich hinsichtlich der Durchführung des Versuches von den beiden ersten dadurch, daß hier nicht nur mit der Mund zu Mund-Technik, sondern auch mit einer Mund zu Maske-Technik ohne Sicherheitsventil, sowie mit einer Mund zu Maske-Technik mit Sicherheitsventil beatmet wurde. In diesem Versuchsansatz wurde ausschließlich die Soft-Maske eingesetzt (vergleiche 2.1.2).

Bei der Mund zu Mund-Technik positionierte sich der beatmende Proband analog Abbildung 2 seitlich vom Kopf des Phantoms, bei der Mund zu Maske-Technik hinter dem Kopf des Phantoms analog Abbildung 6.

2.1.7 Messwerte

In allen Gruppen wurden bei jedem Test die Zeiten gemessen, die jedes Reanimationsteam bestehend aus zwei Probanden benötigte, um 10 Wiederbelebungszyklen à 150 Herzdruckmassagen und 20 intermittierenden Beatmungen (Verhältnis 15:2 wie in den Empfehlungen beschrieben) durchzuführen.

Ferner wurden in den Gruppen 1 und 2 die Tidalvolumina, die Magenbelüftungsvolumina bei jeder einzelnen Beatmung sowie die Gesamtluftmenge im Magen nach 10 Wiederbelebungszyklen bestimmt. In der Gruppe 3 wurde zusätzlich der Flow bei jeder Beatmung bestimmt.

Die Meßwerte wurden durch nachträgliche Auswertung der Videoaufzeichnungen der Versuche gewonnen.

2.1.8 Datenverarbeitung und statistische Analyse

Die Meßwerte jedes einzelnen Probanden wurden in eine Excel-Tabelle eingegeben und anschließend statistisch analysiert. Mit Ausnahme der Zahlenwerte der in den Magen insufflierten Gesamtluftvolumina und des Zeitbedarfes für die 10 Wiederbelebungszyklen wurde aus der Verteilung der Messwerte jedes einzelnen Probanden zunächst der Median ermittelt.

Die graphische Darstellung erfolgte mit Hilfe von Excel bzw. dem zugehörigen WinStat add-in.

Die zusammenfassende Darstellung der Daten aller Probanden erfolgte durch Ermittlung des Medians und des Interquartil-Abstandes zwischen erstem und letztem Quartil (IQR) sowie durch Ermittlung von Mittelwert und Standardabweichung als Maß für die Streuung der Meßwerte.

Da nicht davon ausgegangen werden konnte, daß es sich um normalverteilte Daten handelt, kamen nichtparametrische Tests zur Anwendung.

Verglichen wurden jeweils die Medianwerte, die aus den Einzelwerten jeder Testperson berechnet worden waren beziehungsweise die Gesamtmenge an Luft in Millilitern, die jeder Proband während zehn Wiederbelebungszyklen in den Testmagen insuffliert hatte.

Bei den Untersuchungen, bei denen jede Testperson als ihre eigene Kontrolle diente, wurde der zweiseitige exakte Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben verwendet.

Der Datenvergleich zwischen verschiedenen Testpersonen des selben Versuchsaufbaus erfolgte mittels des zweiseitigen exakten Mann-Whitney U-Tests für unverbundene Stichproben.

Bei p-Werten von kleiner als 0,05 galten die Verteilungen der Werte der Stichproben als unterschiedlich.

Als Software für die statistische Auswertung diente das Excel Add-in Analyse-it (Analyse-it Software Ltd.; Leeds, England).

3 Ergebnisse

3.1 Probanden

Es konnten

1. 12 männliche Einsatztaucher des Bundesgrenzschutzes
2. 12 männliche und weibliche Sanitätsunteroffiziere
3. 10 männliche und weibliche Zahnärzte (Studienabgänger)

für die Durchführung der Versuche rekrutiert werden.

3.2 Einfluss der Anwendung zweier Maskentypen mit Sicherheitsventilvorrichtung im Vergleich zur konventionellen Technik auf die Durchführung der Beatmung und der Reanimation

3.2.1 Testgruppe Einsatztaucher

3.2.1.1 Beatmungsvolumina

Im Vergleich zur konventionellen Mund zu Mund-Technik zeigten sich sowohl Unterschiede, wenn die Kombination Ambu-Maske/Sicherheitsventil als auch die Kombination weiche Maske (Softmaske)/Sicherheitsventil benutzt wurde (jeweils $p=0,0313$) (Abbildung 11). In beiden Fällen lag auch die Streuung der Meßwerte, dargestellt durch die Standardabweichung, in ähnlicher Größenordnung. Unterschiede in der Handhabung der beiden Masken ließen sich durch den Vergleich zwischen den Anwendergruppen nicht zeigen ($p=0,9372$). Die Mediane der Verteilungen der Meßwerte lagen bei Verwendung der Masken mit Sicherheitsventil bei 250 bzw. 288ml bei Interquartilabständen von 130 bzw. 180ml. Die konventionelle Beatmung ließ in keinem Fall Tidalvolumina erkennen, die über 600ml lagen.

Einsatztaucher

Beatmung [Tidalvolumen]

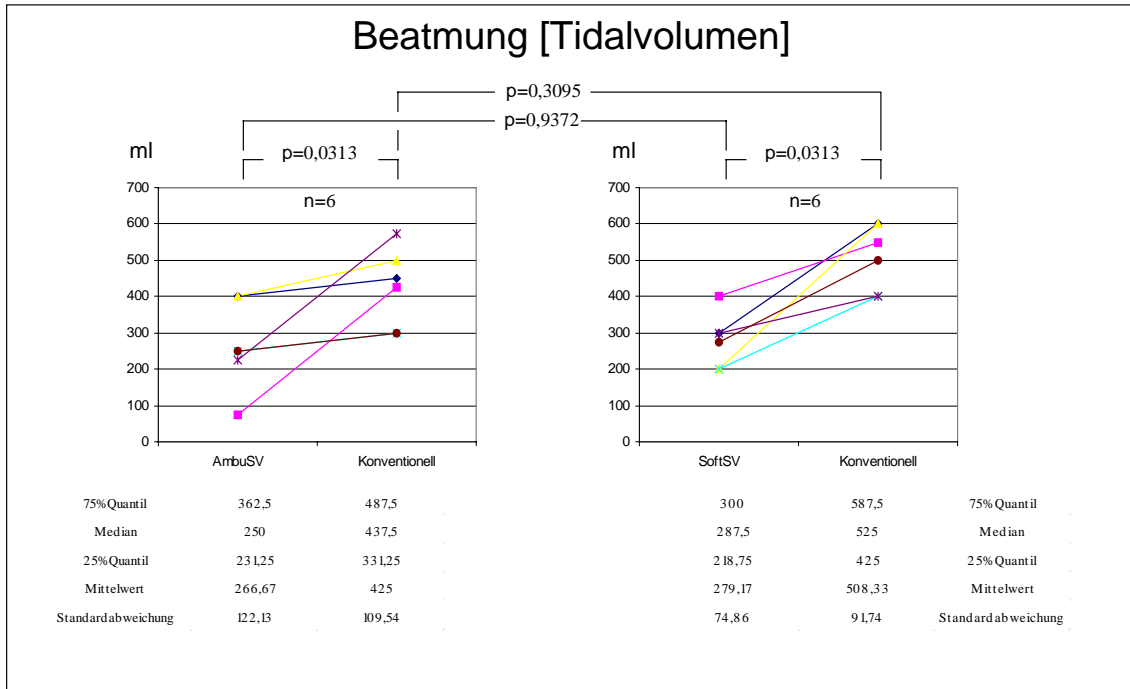


Abbildung 11: Tidalvolumina bei der Beatmung mittels Kombination aus Ambu- bzw. VBM-Maske und einem Sicherheitsventil mit Begrenzung des Beatmungsdruckes (AmbuSV bzw. Soft SV) verglichen mit Tidalvolumina bei der konventionellen Beatmung mittels Mund zu Mund-Technik. Beatmung eines modifizierten Reanimationsphantoms. Dargestellt ist die Verteilung der Mediane, die aus den Einzelwerten berechnet wurden, die jeder Proband während zehn Wiederbelebungszyklen erzielt hatte. Probandengruppen bestehend aus Einsatztauchern des Bundesgrenzschutzes.

3.2.1.2 Mageninsufflation

Bei Verwendung der Masken in Kombination mit dem Sicherheitsventil kam es nur äußerst selten zu einer Luftinsufflation in den Magen. Sie wurde nur in der Softmasken-Testgruppe beobachtet, wirkte sich aber lediglich bei der Summationsmessung der insufflierten Luft während aller 10 Beatmungszyklen auf die deskriptive Darstellung aus (Abbildung 13). Lediglich in der Softmasken-Testgruppe zeigten sich Unterschiede zwischen den beiden Beatmungsformen Maske/Sicherheitsventil-konventionelle Beatmung ($p=0,0313$) (Abbildung 12). Der Median der Insufflationsvolumina des Magens betrug bei der konventionellen Beatmung 750ml bei einem Interquartilabstand der Verteilung der Meßwerte von 794ml-519ml.

Die Verteilungen der Summenwerte der insufflierten Luft unterschieden sich innerhalb beider Gruppen dann wieder deutlich, wenn die Masken/Sicherheitsventil-Technik mit der konventionellen Technik verglichen wurde (jeweils $p=0,0313$) (Abbildung 13).

Die Summenwerte waren aber nur innerhalb der Gruppen unterschiedlich. Zwischen den Gruppen ergaben sich keine Unterschiede zwischen den beiden Maskentechniken beziehungsweise in der konventionellen Mund zu Mund-Beatmung. Die Interquartilabstände der Verteilungen der insufflierten Gesamtvolumina lagen bei Mund zu Mund-Beatmung in der Ambu-Masken-Testgruppe bei 8275ml-4750ml (Median 6475ml) und in der Softmasken-Testgruppe bei 15138ml-10900ml (Median 14800ml). Die Streuung war in der ersten jedoch erheblich höher als in der zweiten Testgruppe, während die Mittelwerte beziehungsweise Mediane in der zweiten Gruppe in der doppelten Größenordnung lagen wie die in der ersten Testgruppe.

Einsatztaucher

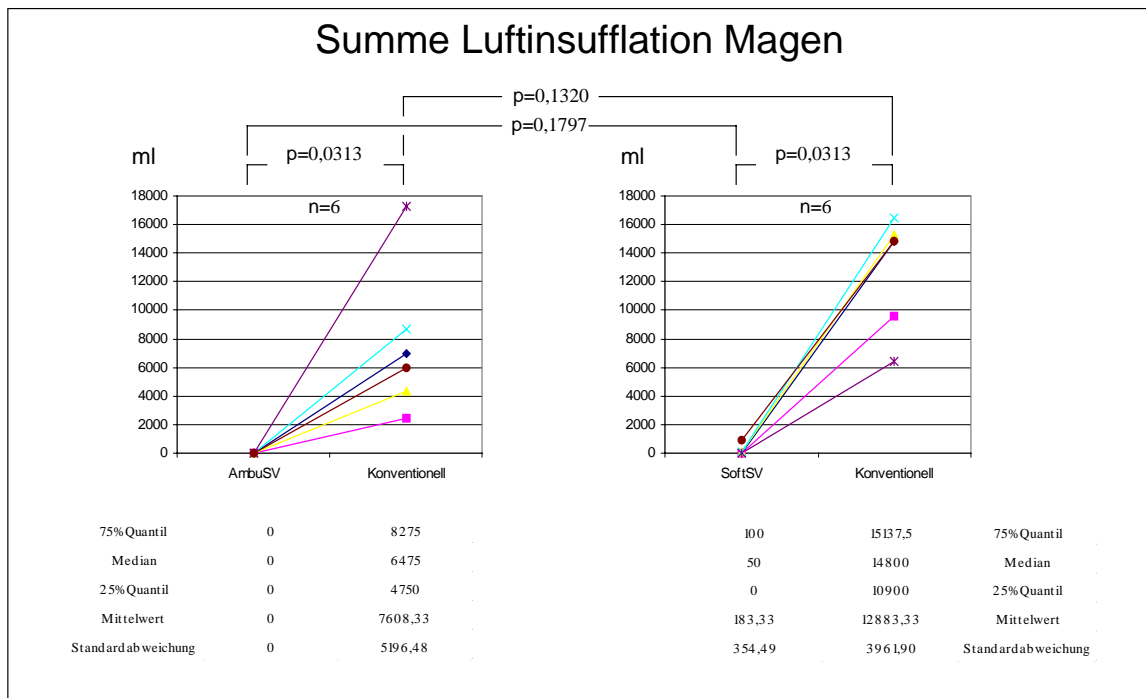


Abbildung 13: Luftinsufflation in den Magen bei der Beatmung mittels Kombination aus Ambu- bzw. VBM-Maske und einem Sicherheitsventil mit Begrenzung des Beatmungsdruckes (AmbuSV bzw. Soft SV) verglichen mit Luftinsufflation in den Magen bei der konventionellen Beatmung mittels Mund zu Mund-Technik. Beatmung eines modifizierten Reanimationsphantoms. Dargestellt ist die insgesamt während zehn Reanimationszyklen in den Magen des Phantoms gelangte Luft. Probandengruppen bestehend aus Einsatztauchern des Bundesgrenzschutzes.

3.2.1.3 Zeitbedarf für 10 Wiederbelebungszyklen

Die Verteilungen der Zeiteinheiten, die für 10 Wiederbelebungszyklen benötigt wurden, lagen bei beiden Gruppen und mit beiden Verfahren in einer Größenordnung von 3 Minuten (Abbildung 14). Auch die Streuung der Meßwerte war fast gleich.

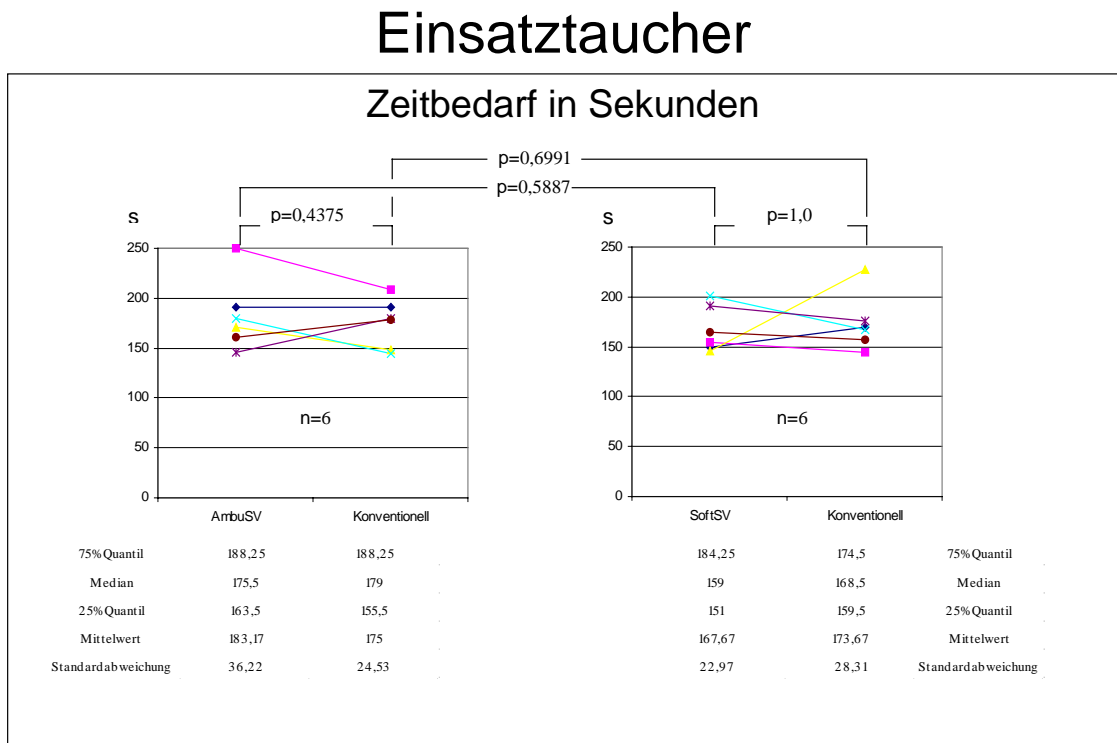


Abbildung 14: Beatmung mittels Kombination aus Ambu- bzw. VBM-Maske und einem Sicherheitsventil mit Begrenzung des Beatmungsdruckes (AmbuSV bzw. Soft SV) verglichen mit der konventionellen Beatmung mittels Mund zu Mund-Technik. Dargestellt sind die Verteilungen des Zeitbedarfes für jeweils zehn Wiederbelebungszyklen in Abhängigkeit vom Beatmungsverfahren. Beatmung eines modifizierten Reanimationsphantoms. Probandengruppen bestehend aus Einsatztauchern des Bundesgrenzschutzes.

3.2.2 Testgruppe Sanitätspersonal

3.2.2.1 Beatmungsvolumina

Vergleicht man die beiden mit dem Sicherheitsventil kombinierten Maskentypen miteinander, läßt sich kein Unterschied in der Verteilung der Beatmungsvolumina erkennen, die damit von den beiden Probandenuntergruppen erzielt wurden (Abbildung 15). Gleiches gilt für die Verteilung dieser Volumina, wenn die Probanden beider Untergruppen konventionell Mund zu Mund beatmeten.

Auch zwischen den Gruppen zeigten sich keine Unterschiede. Die Streuung der Meßwerte in der Gruppe, die mit der Ambu-Maske beatmete, war deutlich geringer als in der Gruppe, in der die Kombination aus Sicherheitsventil und Soft-Maske mit der konventionellen Technik verglichen wurde. Die Interquartilabstände lagen bei Sicherheitsventil/Ambu- Benutzung bei 387,5ml-312,5ml (Median 350ml), bei konventioneller Beatmung in dieser Gruppe bei 537,5ml-437,5ml (Median 487,5ml), während sich bei Sicherheitsventil/Soft-Maske-Beatmung 512,5ml-362,5ml (Median 400ml) und bei konventioneller Beatmung in dieser Gruppe 731,25ml-481,25ml (Median 550ml) ergaben.

Sanitätspersonal

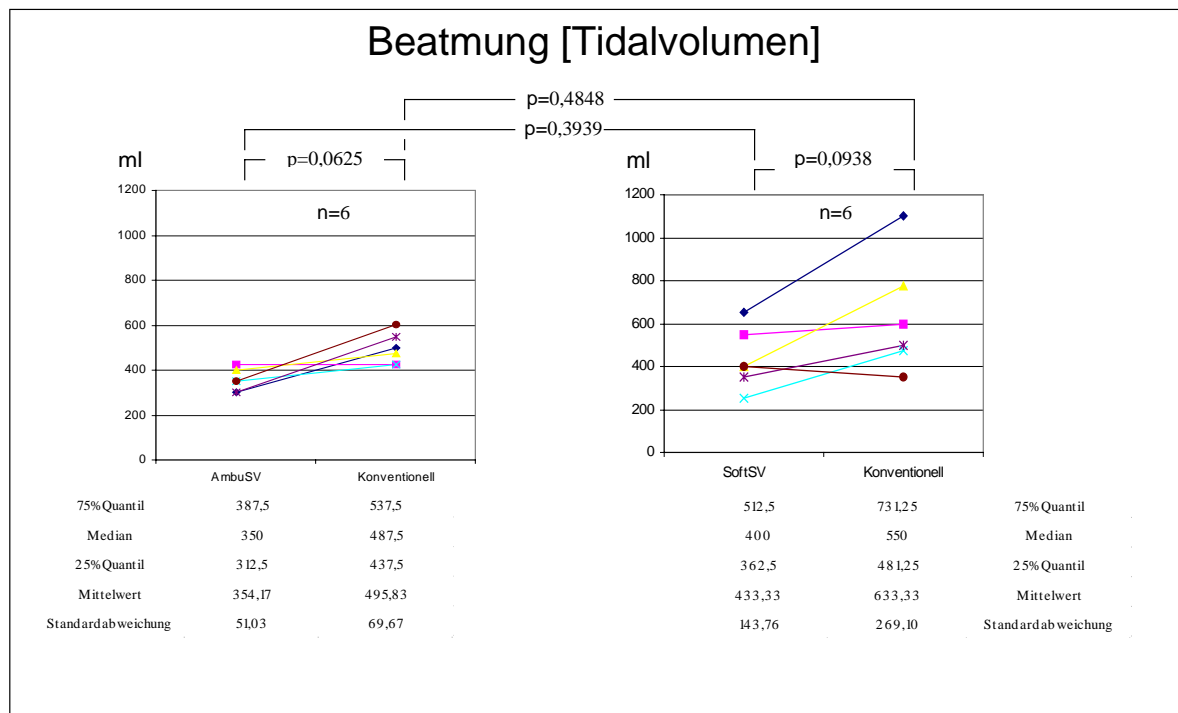


Abbildung 15: Tidalvolumina bei der Beatmung mittels Kombination aus Ambu- bzw. VBM-Maske und einem Sicherheitsventil mit Begrenzung des Beatmungsdruckes (AmbuSV bzw. Soft SV) verglichen mit Tidalvolumina bei der konventionellen Beatmung mittels Mund zu Mund-Technik. Beatmung eines modifizierten Reanimationsphantoms. Dargestellt ist die Verteilung der Mediane, die aus den Einzelwerten berechnet wurden, die jeder Proband während zehn Wiederbelebungszyklen erzielt hatte. Probandengruppen bestehend aus Sanitätspersonal der Bundeswehr (Nichtärzte).

3.2.2.2 Mageninsufflation

Bei beiden Subgruppen konnten unabhängig davon, mit welcher Maske das Sicherheitsventil kombiniert wurde, nahezu keine Luftinsufflationen des Magens bei der Beatmung nachgewiesen werden. Beim Vergleich Masken-Ventil-Technik zu konventioneller Technik wurde in der Ambu-Gruppe der p-Wert von 0,05 nur knapp verfehlt. Statistische Unterschiede bei der Einzelbeatmung ergaben sich somit nicht (Abbildung 16). In der Gruppe, die mit Softmaske und Sicherheitsventil beatmet hatte,

wurden ebenfalls keine Unterschiede zur konventionellen Beatmung beobachtet ($p=0,5$). Beide Gruppen unterschieden sich jedoch hinsichtlich der Mageninsufflationsvolumina bei konventioneller Beatmung ($p=0,0411$). Vergleicht man in beiden Gruppen die insgesamt während aller 10 Reanimationszyklen in den Magen insufflierte Luft, ergibt sich nur in der Ambu-Gruppe ein markanter Unterschied zwischen Kombination Maske-Sicherheitsventil und konventioneller Technik ($p=0,0313$) (Abbildung 17). Die Maskentechniken in beiden Gruppen waren hinsichtlich des insgesamt in den Magen insufflierten Luftvolumens fast gleichwertig ($p=0,3939$), während in der Ambu-Gruppe bei konventioneller Beatmung deutlich mehr Luft in den Magen gelangte (Median 8525 versus 0ml; $p=0,0313$). Demgegenüber förderte die konventionelle Beatmung in der Gruppe, in der gegen Soft-Maske und Sicherheitsventil getestet wurde, im Median nach zehn Reanimationszyklen lediglich 500ml Luft in den Magen. Der p-Wert von 0,25 läßt hier also keine statistischen Unterschiede erkennen. Auffällig in beiden Gruppen ist die hohe Streuung der Meßwerte (Standardabweichungen 3387 gegenüber 2704).

Sanitätspersonal

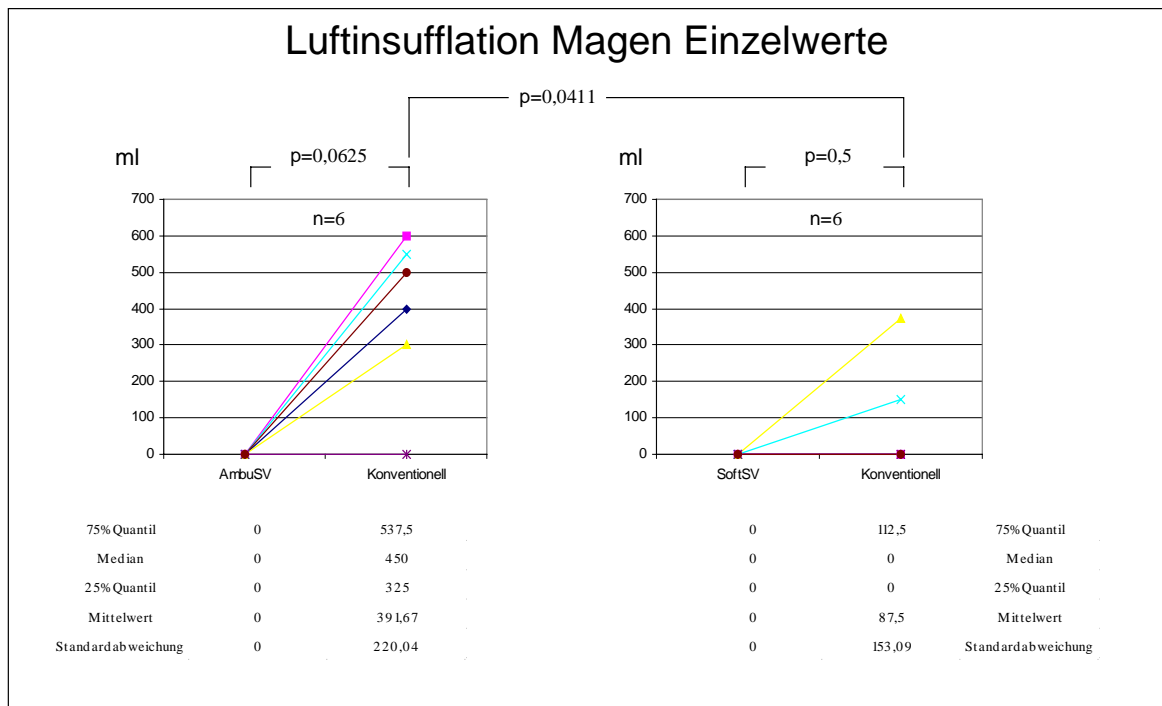


Abbildung 16: Luftinsufflation in den Magen bei der Beatmung mittels Kombination aus Ambu- bzw. VBM-Maske und einem Sicherheitsventil mit Begrenzung des Beatmungsdruckes (AmbuSV bzw. Soft SV) verglichen mit Luftinsufflation in den Magen bei der konventionellen Beatmung mittels Mund zu Mund-Technik. Beatmung eines modifizierten Reanimationsphantoms. Gemessen wurde jeweils die bei einer Einzelbeatmung in den Magen gelangte Luftmenge. Dargestellt ist die Verteilung der Mediane, die aus den Einzelwerten berechnet wurden, die jeder Proband während zehn Wiederbelebungszyklen erzielt hatte. Probandengruppen bestehend aus Sanitätspersonal der Bundeswehr (Nichtärzte). Bedingt durch 4 von 6 Probanden der auf der rechten Seite dargestellten Gruppe, bei denen auch mittels konventioneller Beatmungstechnik im Median aller Messungen keine Luftinsufflation beobachtet wurde, kommen in der Abbildung unter der Rubrik „konventionell“ nur 3 Werte zur Darstellung.

Sanitätspersonal

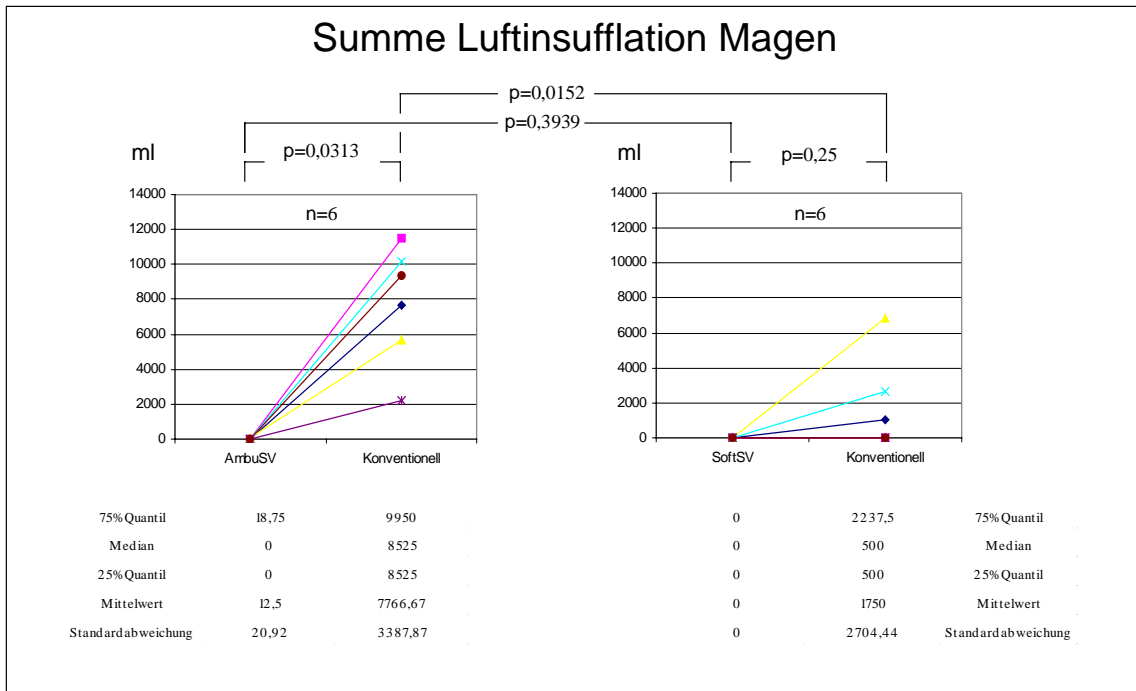


Abbildung 17: Luftinsufflation in den Magen bei der Beatmung mittels Kombination aus Ambu- bzw. VBM-Maske und einem Sicherheitsventil mit Begrenzung des Beatmungsdruckes (AmbuSV bzw. Soft SV) verglichen mit Luftinsufflation in den Magen bei der konventionellen Beatmung mittels Mund zu Mund-Technik. Beatmung eines modifizierten Reanimationsphantoms. Dargestellt ist die insgesamt während zehn Reanimationszyklen in den Magen des Phantoms gelangte Luft. Probandengruppen bestehend aus Sanitätspersonal der Bundeswehr (Nichtärzte). Bedingt durch 4 von 6 Probanden der auf der rechten Seite dargestellten Gruppe, bei denen auch mittels konventioneller Beatmungstechnik keine oder nur vereinzelte Luftinsufflationen beobachtet wurden, kommen in der Abbildung unter der Rubrik „konventionell“ nur 4 Werte zur Darstellung.

3.2.2.3 Zeitbedarf für 10 Wiederbelebungszyklen

Anhand der p-Werte ist ersichtlich, daß es sowohl innerhalb der beiden Untergruppen als auch zwischen den Verfahren keine Unterschiede der Meßwertverteilungen gibt (Abbildung 18). Der Zeitbedarf für 10 Reanimationszyklen ist innerhalb der Untergruppen und im Vergleich zwischen den Gruppen also gleich. Die Streuung der Messwerte war allerdings in der Softmasken-Testgruppe bei beiden Beatmungstechniken etwas höher als in der Ambu-Testgruppe.

Die benötigte Zeit lag bei den Probanden im Mittel in einer Größenordnung von 120 bis 150 Sekunden.

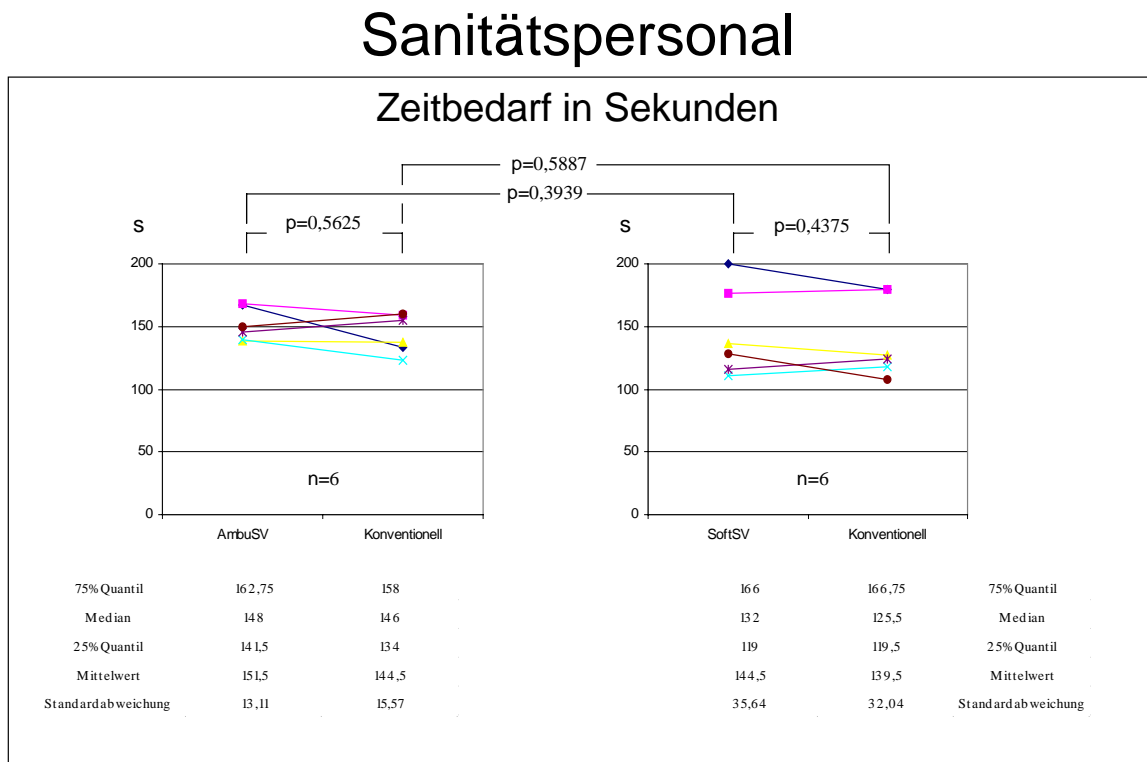


Abbildung 18: Beatmung mittels Kombination aus Ambu- bzw. VBM-Maske und einem Sicherheitsventil mit Begrenzung des Beatmungsdruckes (AmbuSV bzw. Soft SV) verglichen mit der konventionellen Beatmung mittels Mund zu Mund-Technik. Dargestellt sind die Verteilungen des Zeitbedarfes für jeweils zehn Wiederbelebungszyklen in Abhängigkeit vom Beatmungsverfahren. Beatmung eines modifizierten Reanimationsphantoms. Probandengruppen bestehend aus Sanitätspersonal der Bundeswehr (Nichtärzte).

3.3 Vergleich der Beatmungstechnik Mund zu Maske *mit* und *ohne* Sicherheitsventil sowie der konventionellen Mund zu Mund-Technik (Testgruppe Zahnärzte)

3.3.1 Beatmungsvolumina

Bei der Beatmung mit Maske und Sicherheitsventil gegenüber Maske ohne Sicherheitsventil ergaben sich ebenso Unterschiede in den Tidalvolumina, die die einzelnen Probanden erzielten, wie zwischen letztgenannter Technik und der konventionellen Mund zu Mund-Beatmung (jeweils $p=0,0039$) (Abbildung 19). Die konventionelle Technik ließ im Vergleich zur Beatmung mittels kombinierter Anwendung von Maske und Sicherheitsventil keine deutlichen Unterschiede in den Verteilungen der Tidalvolumina erkennen ($p=0,0645$). Die Streuungen der Verteilungen waren deutlich unterschiedlich. Die Maske/Sicherheitsventil-Technik ergab die geringste Streuung der Meßwerte (Standardabweichung 74,5), die Maskentechnik ohne Sicherheitsventil die höchste (Standardabweichung 193,4). Betrachtet man die Interquartilabstände der Verteilungen, ergeben sich für die kombinierte Maskentechnik mit Sicherheitsventil 200ml-131,25ml (Median 182,5ml), für die isolierte Maskentechnik 495ml-265ml (Median 350ml) und für die konventionelle Mund zu Mund-Technik ohne Hilfsmittel 117,5ml-0ml (Median 0ml).

Zahnärzte

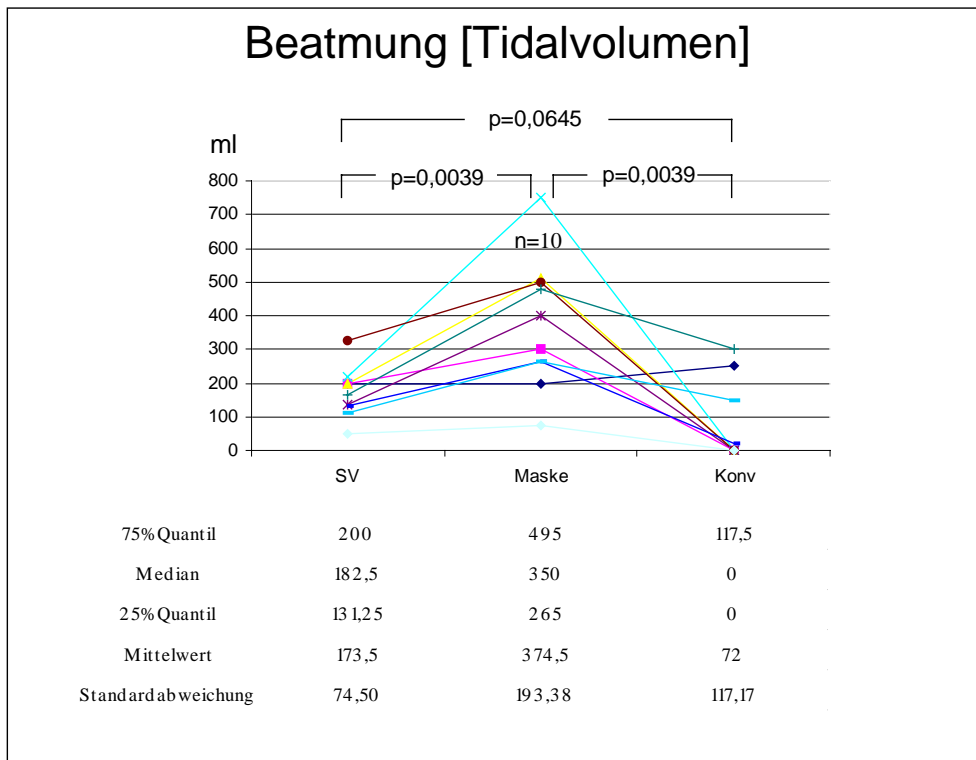


Abbildung 19: Tidalvolumina bei der Beatmung mittels Kombination aus einer VBM-Maske und einem Sicherheitsventil mit Begrenzung des Beatmungsdruckes (SV) verglichen mit Tidalvolumina bei der Mund zu Maske Technik ohne Sicherheitsventil (Maske) und der konventionellen Beatmung mittels Mund zu Mund-Technik (Konv). Beatmung eines modifizierten Reanimationsphantoms. Dargestellt ist die Verteilung der Mediane, die aus den Einzelwerten berechnet wurden, die jeder Proband während zehn Wiederbelebungszyklen erzielt hatte. Probandengruppen bestehend aus Zahnärzten.

3.3.2 Mageninsufflation

Kombinierte Maskentechnik mit Sicherheitsventil verglichen mit Maskentechnik ohne Sicherheitsventil beziehungsweise letztere verglichen mit konventioneller Mund zu Mund-Technik unterschieden sich hinsichtlich der Insufflation von Luft in den Magen (jeweils $p=0,0039$) (Abbildung 20). Zwischen Sicherheitsventil-Maske-Technik und konventioneller Beatmung ließen sich hinsichtlich der Mageninsufflation keine Unterschiede erkennen ($p=0,1055$). Auch bei diesen Meßwerten war die Streuung der Meßwerte am niedrigsten in der kombinierten Maskentechnik mit Sicherheitsventil

(Standardabweichung 76,89) und am höchsten in der Technik mit isolierter Maskenbeatmung (Standardabweichung 140,87). Die insgesamt während der 10 Reanimationszyklen in den Testmagen insufflierte Luft war am geringsten bei der konventionellen Technik (Interquartilabstand 1932,5ml-12,5ml; Median 65ml) und lag am höchsten bei der isolierten Maskentechnik (Interquartilabstand 6917,5ml-3471,75ml; Median 5330ml) (Abbildung 21). Die Unterschiede der Verteilungen der insgesamt in den Magen insufflierten Luftvolumina entsprechen denen der Luftmengen während einzelner Beatmungen.

Zahnärzte

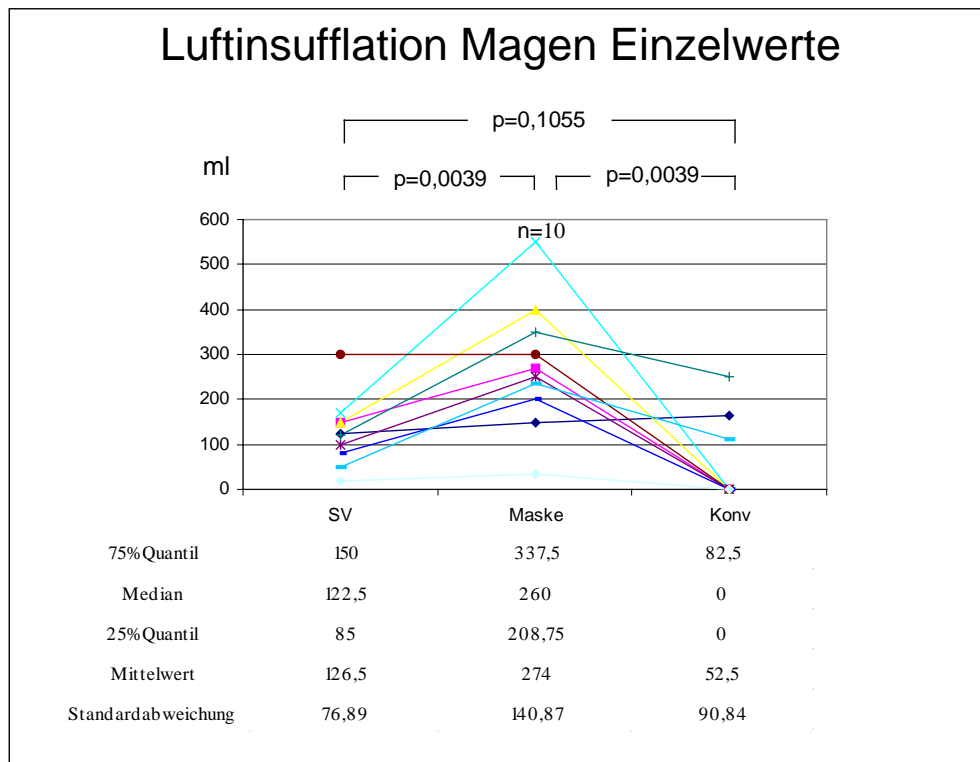


Abbildung 20: Luftvolumina, die bei der Beatmung in den Magen gelangten. Beatmet wurde mittels Kombination aus VBM-Maske und Sicherheitsventil mit Begrenzung des Beatmungsdruckes (SV) sowie mittels Mund zu Maske Technik ohne Sicherheitsventil (Maske) und konventionell mittels Mund zu Mund-Technik (Konv). Beatmung eines modifizierten Reanimationsphantoms. Dargestellt ist die Verteilung der Mediane, die aus den Einzelwerten berechnet wurden, die bei jedem Probanden während zehn Wiederbelebenszyklen beobachtet wurden. Probandengruppen bestehend aus Zahnärzten.

Zahnärzte

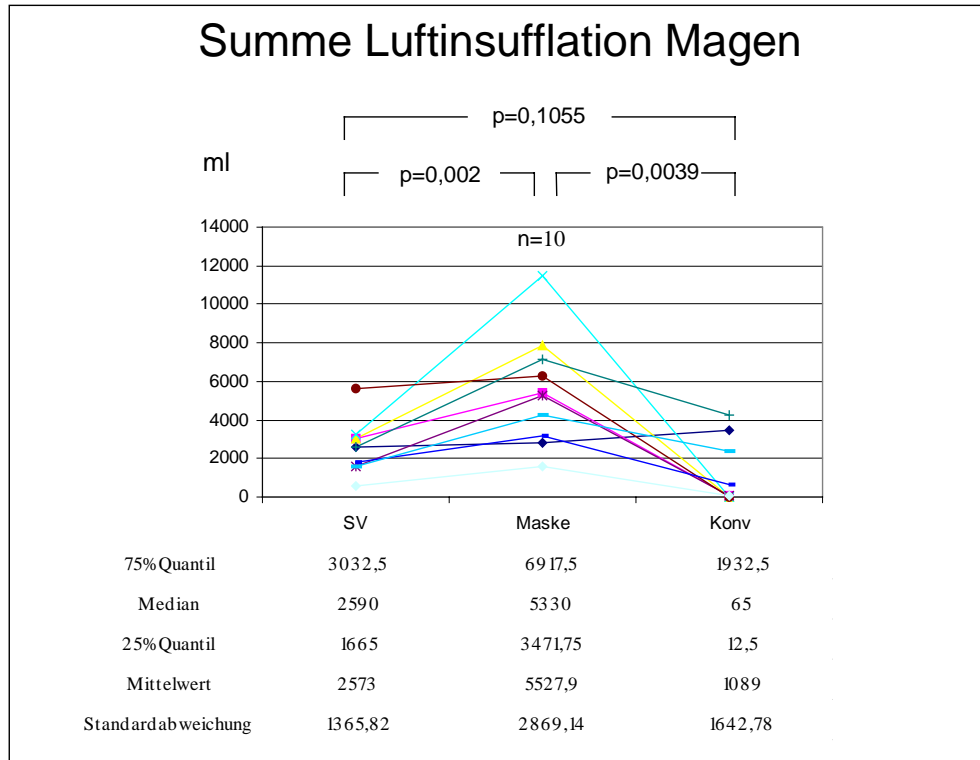


Abbildung 21: Gesamtmenge an Luft, die bei der Beatmung in den Magen gelangte. Beatmet wurde mittels Kombination aus VBM-Maske und Sicherheitsventil mit Begrenzung des Beatmungsdruckes (SV) sowie mittels Mund zu Maske Technik ohne Sicherheitsventil (Maske) und konventionell mittels Mund zu Mund-Technik (Konv). Beatmung eines modifizierten Reanimationsphantoms. Dargestellt ist die Verteilung der Gesamtmenge an Luft, die aus den Einzelwerten berechnet wurden, die bei jedem Probanden während zehn Wiederbelebungszyklen beobachtet wurden. Probandengruppen bestehend aus Zahnärzten.

3.3.3 Flow

Die Flußgeschwindigkeiten, die mit den einzelnen Verfahren erzielt wurden, unterschieden sich deutlich (Abbildung 22). Die Streuung war am größten mit der Mund zu Mund-Technik (Standardabweichung 11,58). Der Interquartilabstand innerhalb der Meßwerteverteilung lag bei 20,5 l/min-0 l/min (Median 4,24 l/min). Einigen Probanden gelang es nicht, mit dieser Technik zu beatmen. Die Streuung war am geringsten bei der kombinierten Technik mittels Maske und Sicherheitsventil (Standardabweichung 2,07), bei einem Interquartilabstand von 20 l/min -17,125 l/min (Median 19 l/min).

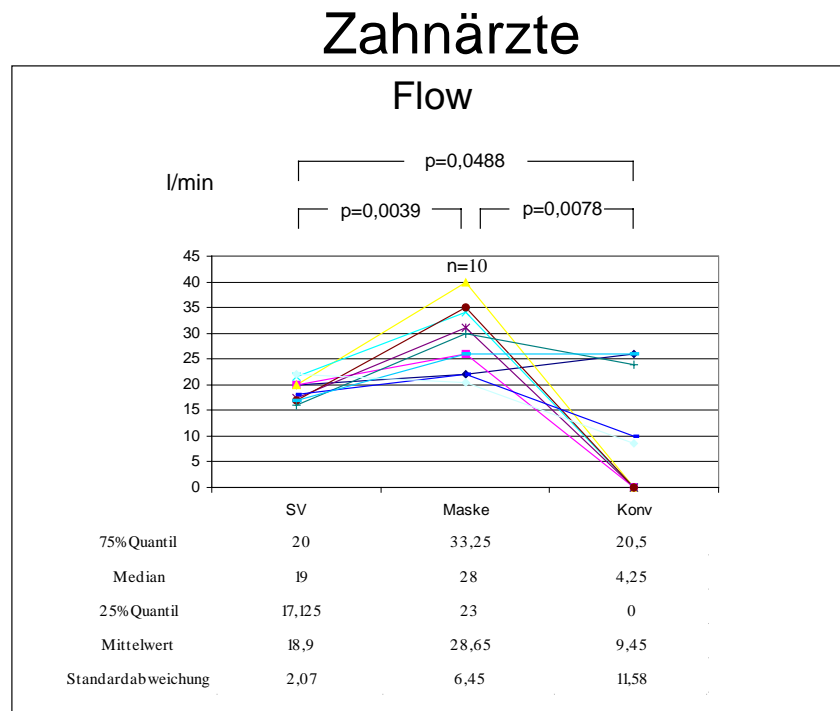


Abbildung 22: Flussgeschwindigkeiten bei der Beatmung mittels Kombination aus einer VBM-Maske und einem Sicherheitsventil mit Begrenzung des Beatmungsdruckes (SV) verglichen mit Mund zu Maske-Technik ohne Sicherheitsventil (Maske) und konventioneller Beatmung Mund zu Mund-Technik (Konv). Beatmung eines modifizierten Reanimationsphantoms. Dargestellt ist die Verteilung der Mediane, die aus den Einzelwerten berechnet wurden, die jeder Proband während zehn Wiederbelebungszyklen erzielt hatte. Probandengruppen bestehend aus Zahnärzten.

3.3.4 Zeitbedarf für 10 Wiederbelebungszyklen

Die Streuung dieser Meßwerte lag bei allen drei untersuchten Verfahren auf dem gleichen Niveau (Abbildung 23). Mediane und Mittelwerte der Meßwerte lagen bei allen Verfahren in einer Größenordnung von drei Minuten, die Verteilungen unterschieden sich nicht ($p=0,4066$ im Friedman-Test). Es wurden im Mittel etwa 170 bis 180 Sekunden für 10 Reanimationszyklen benötigt.

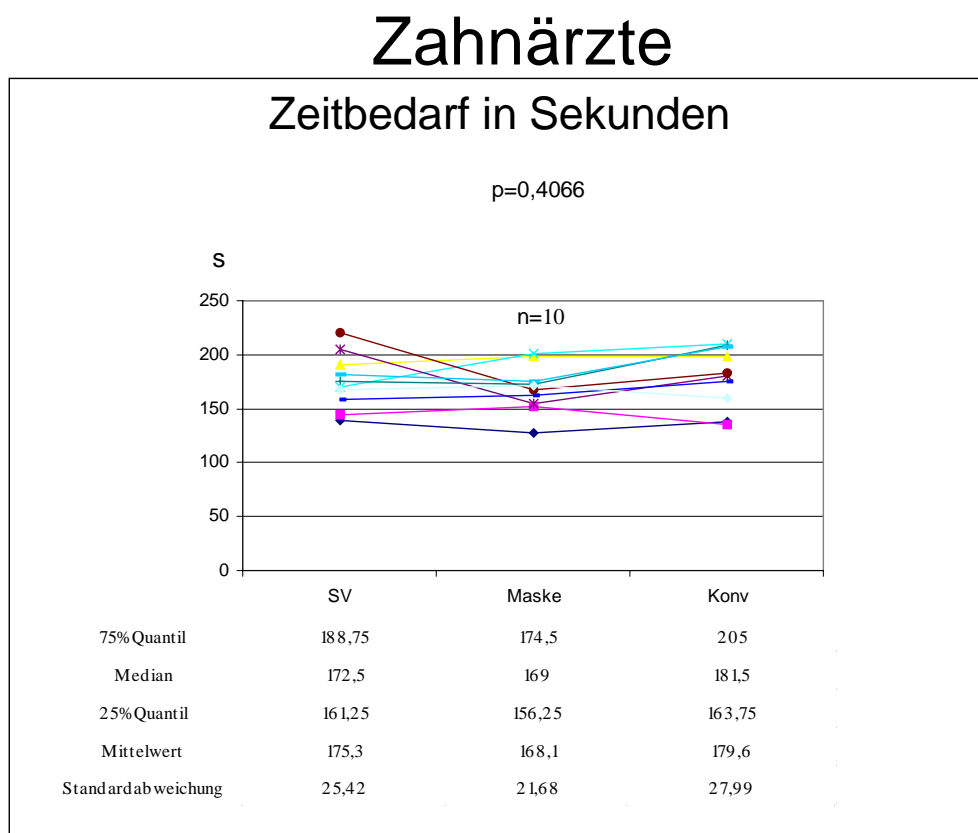


Abbildung 23: Zeitbedarf bei der Beatmung mittels Kombination aus einer VBM-Maske und einem Sicherheitsventil mit Begrenzung des Beatmungsdruckes (SV) verglichen mit Mund zu Maske-Technik ohne Sicherheitsventil (Maske) und konventioneller Beatmung Mund zu Mund-Technik (Konv). Beatmung eines modifizierten Reanimationsphantoms. Dargestellt sind die Verteilungen des Zeitbedarfes für jeweils zehn Wiederbelebungszyklen in Abhängigkeit vom Beatmungsverfahren. Probandengruppen bestehend aus Zahnärzten. Im Friedman-Test ergibt sich kein Unterschied zwischen den Verteilungen der Messwerte.

3.4 Einfluss unterschiedlicher Rahmenbedingungen auf die Durchführung der Beatmung und der Reanimation

3.4.1 Beatmungsvolumen

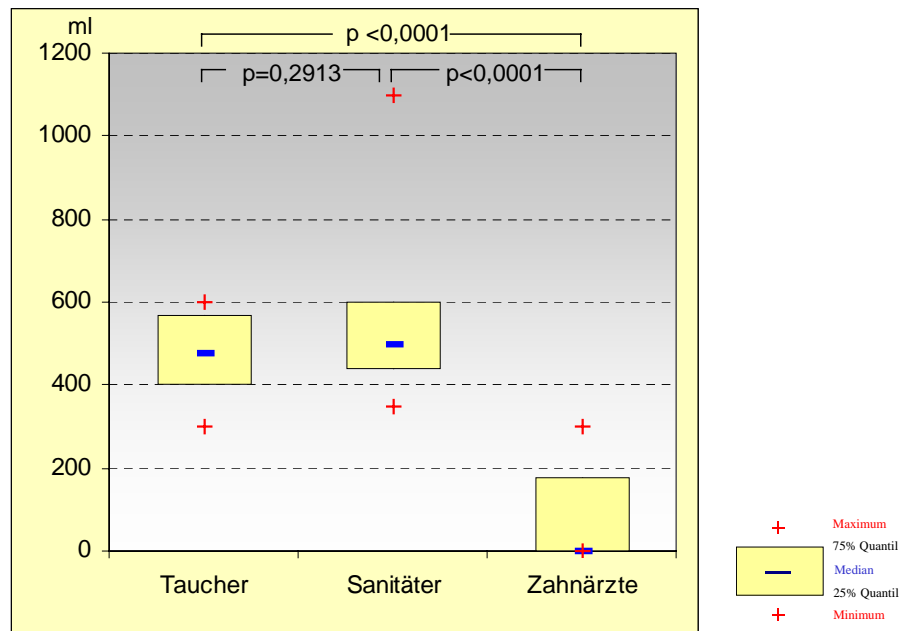
Effektivität der Beatmung im Hinblick auf ein möglichst hohes Beatmungsvolumen:

Im intermediate case scenario lagen die Medianwerte der Beatmungsvolumina zwischen denen im best und im worst case scenario (siehe Abbildungen 24 und 25). Die Zahnärzte als wenig ausgebildete Ersthelfer erreichten im worst case scenario mit den vorgegebenen Einstellungen die geringsten Tidalvolumina, wobei das Sicherheitsventil hier eine Reduktion von etwa 50% bewirkte (siehe Abbildung 19 Spalte 1 und 2).

3.4.1.1 Beatmungsvolumina mit Mund zu Mund-Technik

Die Verteilungen der mittels Mund zu Mund-Technik erzielten Tidalvolumina unterschieden sich in der Gruppe der Taucher als gut ausgebildete Ersthelfer und der Sanitäter als professionelle Ersthelfer nicht (Abbildung 24). Auffällig ist bei dieser Betrachtung, dass die Zahnärzte als weniger ausgebildete Ersthelfer mit der konventionellen Beatmungstechnik fast keine Lungenbeatmung erzielen konnten. Die Analyse der Technik ergab, dass sehr oft der Kopf des Phantoms nicht korrekt überstreckt wurde.

Beatmung - Konventionelle Technik [Tidalvolumen]



n	12	12	10
75% Quantil	569	600	175
Median	475	500	0
25% Quantil	400	438	0
Mittelwert	467	565	72
Std.Abweichung	106	201	117

Abbildung 24: Beatmung während 10 Reanimationszyklen mittels Zwei-Helfer-Methode und über Mund zu Mund-Technik. Simulation am Phantom. Gemessen wurde am Phantom das Tidalvolumen bei jedem Beatmungsvorgang. Dargestellt ist die Verteilung der Mediane der Einzelmessungen aus allen 20 Beatmungsvorgängen jedes Probanden in den drei Gruppen (Boxplots). Die Verteilung der Tidalvolumina, die sich in der Gruppe der Zahnärzte ergab unterscheidet sich deutlich von denen der beiden anderen Gruppen. Dies resultiert daraus, dass bei den konventionellen Beatmungen durch die Zahnärzte oft der Kopf des Phantoms nur unzureichend überstreckt wurde.

3.4.1.2 Beatmungsvolumina mit Maske-Sicherheitsventil-Technik

Alle drei Gruppen unterschieden sich deutlich im Hinblick auf die Verteilungen der mittels Maske und Sicherheitsventil erzielten Tidalvolumina (Abbildung 25). Die Zahnärzte

erreichten im worst case scenario mit diesem Hilfsmittel als Median 183, die Taucher im intermediate case scenario 263 und die Sanitäter im best case scenario 375ml.

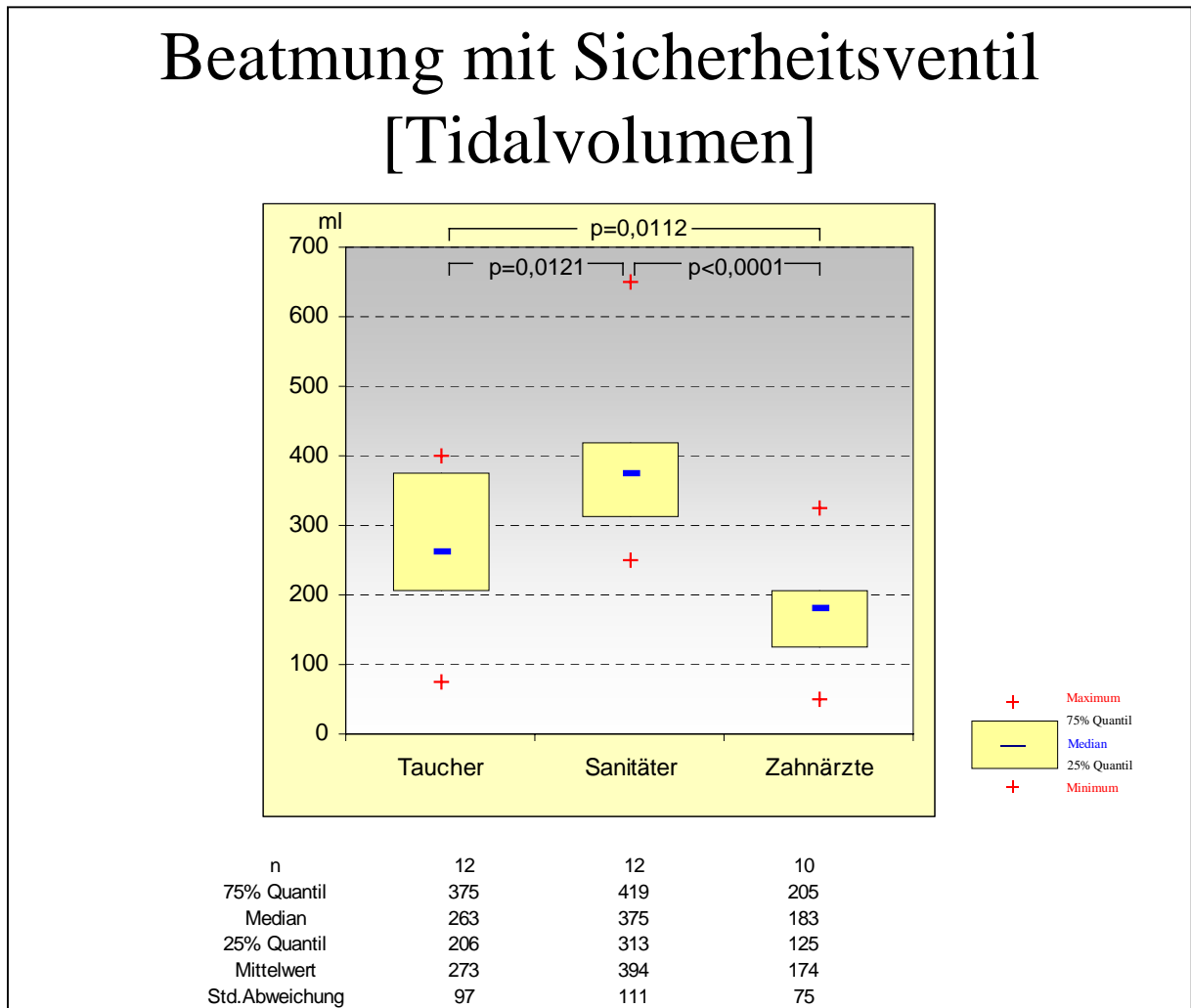


Abbildung 25: Beatmung während 10 Reanimationszyklen mittels Zwei-Helfer-Methode über ein mit einer Beatmungsmaske gekoppeltes Sicherheitsventil zur Vermeidung eines übermäßigen Beatmungsdruckes. Simulation am Phantom. Gemessen wurde am Phantom das Tidalvolumen bei jedem Beatmungsvorgang. Dargestellt ist die Verteilung der Mediane der Einzelmessungen aus allen 20 Beatmungsvorgängen jedes Probanden in den drei Gruppen (Boxplots). Alle drei Gruppen unterschieden sich im Hinblick auf die Verteilungen voneinander.

3.4.2 Mageninsufflation

Effektivität der Beatmung mittels Maske-Sicherheitsventil-Technik im Hinblick auf die Reduktion einer Mageninsufflation:

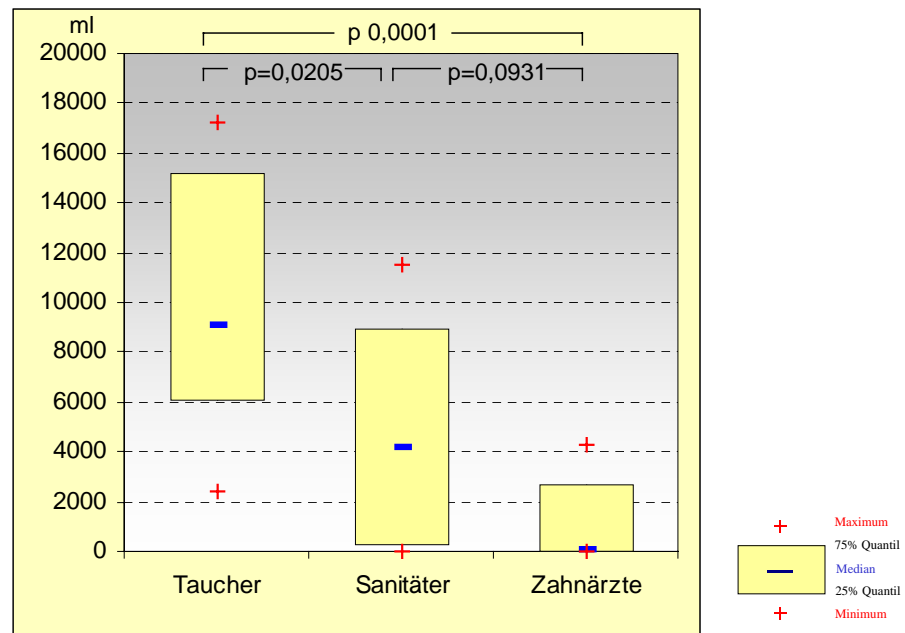
Bei den Tauchern im intermediate case scenario und den Sanitätern im best case scenario gelangten keine nennenswerten Mengen an Luft in den Magen des Phantoms.

Im worst case scenario in der Gruppe der Zahnärzte wurde diese Komplikation hingegen beobachtet. Als Median ergibt sich ein Wert von etwa 125ml Luft bei einer einzelnen Beatmung mit dieser Technik. In diesem Szenario kam auch die Maskenbeatmung ohne das Sicherheitsventil zum Einsatz: die Messwerte waren dann mehr als doppelt so hoch (Abbildungen 20 und 21).

3.4.2.1 Mageninsufflation mit Mund zu Mund-Technik

Bei der Analyse der mittels Mund zu Mund-Technik insgesamt innerhalb von zehn Reanimationszyklen verursachten Mageninsufflation ergab sich bei den Tauchern als gut ausgebildete Ersthelfer eine Messwertverteilung mit deutlich höheren Werten (Median 9150ml) als in der Gruppe der Sanitäter als professionelle Ersthelfer (Median 4175ml; $p=0,021$) und der Zahnärzte als weniger ausgebildete Ersthelfer (Median 65ml; $p=0,0001$) (Abbildung 26). Sanitäter und Zahnärzte unterschieden sich im Hinblick auf diesen Parameter nicht. Die Streuung der Messwerte war in der Gruppe der Zahnärzte deutlich geringer als in den beiden anderen Gruppen.

Mageninsufflation total - Konventionelle Technik



	n	75% Quantil	Median	25% Quantil	Mittelwert	Std.Abweichung
Taucher	12	15138	9150	6063	10246	5196
Sanitäter	12	8938	4175	250	4758	4291
Zahnärzte	10	2640	65	0	1089	1643

Abbildung 26: Beatmung während 10 Reanimationszyklen mittels Zwei-Helfer-Methode über Mund zu Mund-Technik. Simulation am Phantom. Verteilungen der Gesamtluftmengen, die die Probanden der einzelnen Gruppen während der Beatmung in den Magen des Phantoms insuffliert haben (Boxplots). Die Verteilung, die sich in der Gruppe der Taucher ergab, unterscheidet sich deutlich von denen der beiden anderen Gruppen.

Beim Vergleich der Verteilungen der Luftmengen, die von jedem Probanden im Mittel (Median) bei der Beatmung des Phantoms in dessen Magen gelangten, findet sich nur zwischen Tauchern (Median 425ml) gegenüber den Zahnärzten (Median 0ml) ein deutlicher Unterschied ($p=0,0015$) (Abbildung 27). Die Sanitäter verursachten als Median

225ml Mageninsufflation. Der Unterschied zu den beiden anderen Gruppen erreichte jedoch kein Signifikanzniveau.

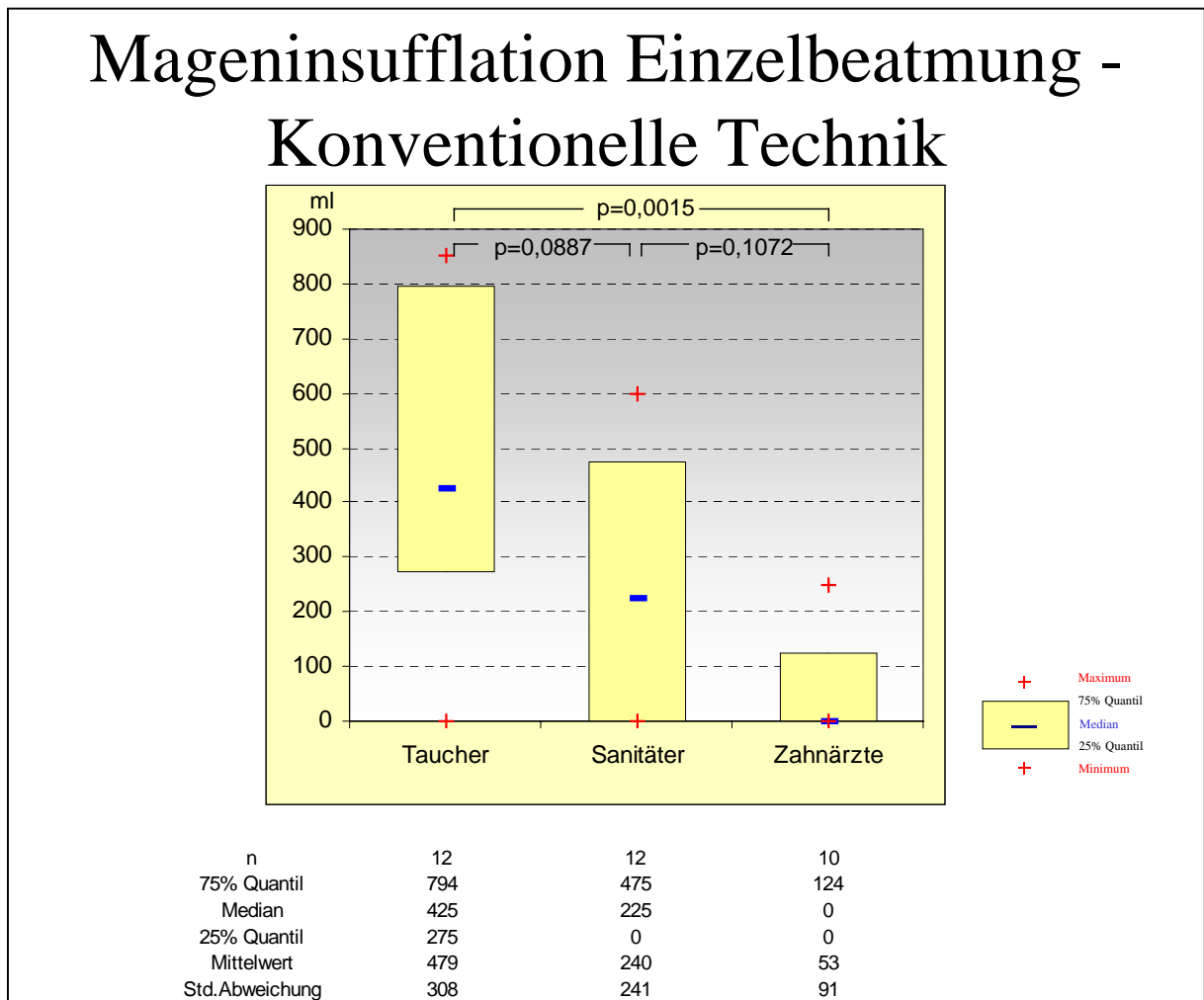


Abbildung 27: Beatmung während 10 Reanimationszyklen mittels Zwei-Helfer-Methode und über Mund zu Mund-Technik. Simulation am Phantom. Gemessen wurde die Luftmenge, die jeder Proband während einer Einzelbeatmung in den Magen des Phantoms insuffliert hat. Dargestellt ist die Verteilung der Mediane der Einzelmessungen aus allen 20 Beatmungsvorgängen jedes Probanden in den drei Gruppen (Boxplots). Ein Unterschied in den Verteilungen ergibt sich lediglich zwischen Tauchern und Zahnärzten.

3.4.2.2 Mageninsufflation mit Maske-Sicherheitsventil-Technik

Wenn die Beatmungstechnik mittels Maske und Sicherheitsventil zur Anwendung kam, finden sich sowohl in der Gruppe der Taucher im intermediate case scenario als auch der Sanitäter im best case scenario kaum messbare Luftmengen, während sich die in der

Gruppe der Zahnärzte im worst case scenario in den Magen des Phantoms insufflierte Luft im Mittel auf mehr als 2,5 Liter addiert (Abbildung 28).

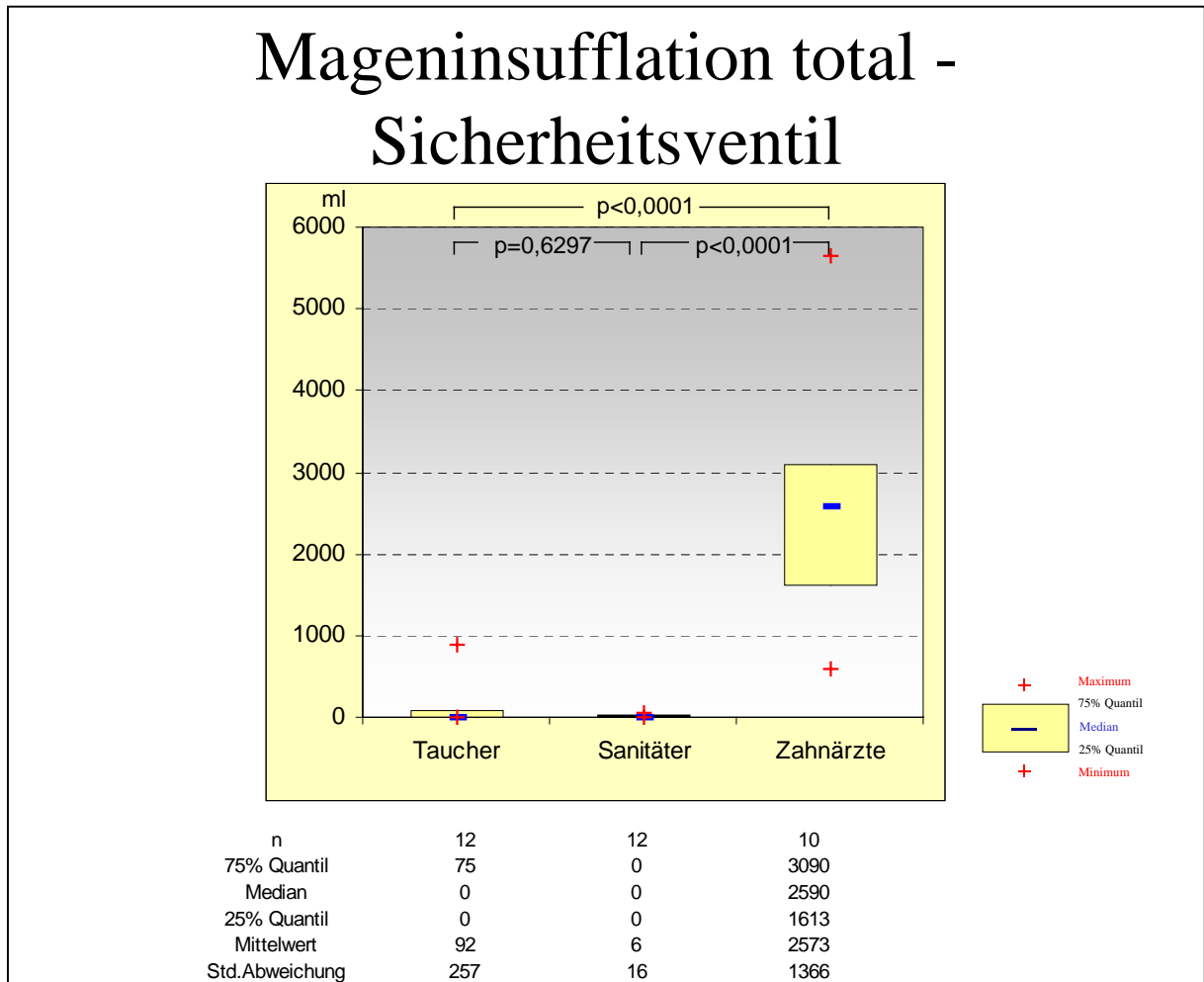


Abbildung 28: Beatmung während 10 Reanimationszyklen mittels Zwei-Helfer-Methode über ein mit einer Beatmungsmaske gekoppeltes Sicherheitsventil zur Vermeidung eines übermäßigen Beatmungsdruckes. Simulation am Phantom. Verteilungen der Gesamtluftmengen, die die Probanden der einzelnen Gruppen während der Beatmung in den Magen des Phantoms insuffliert haben (Boxplots). Die in den Gruppen der Taucher und der Sanitäter insufflierte Gesamtluftmenge ist praktisch vernachlässigbar, während sich in der Gruppe der Zahnärzte ein deutliches Volumen von im Mittel mehr als 2,5 Litern ergibt.

Bei der Beatmungstechnik mittels Maske und Sicherheitsventil kam es nur in der Gruppe der Zahnärzte zu einer Mageninsufflation, während diese Komplikation in den beiden

anderen Gruppen praktisch nicht beobachtet wurde. Das bei einer Einzelbeatmung verursachte Volumen, welches bei der Beatmung durch die Zahnärzte in den Magen des Phantoms gelangte lag im Mittel bei 123ml.

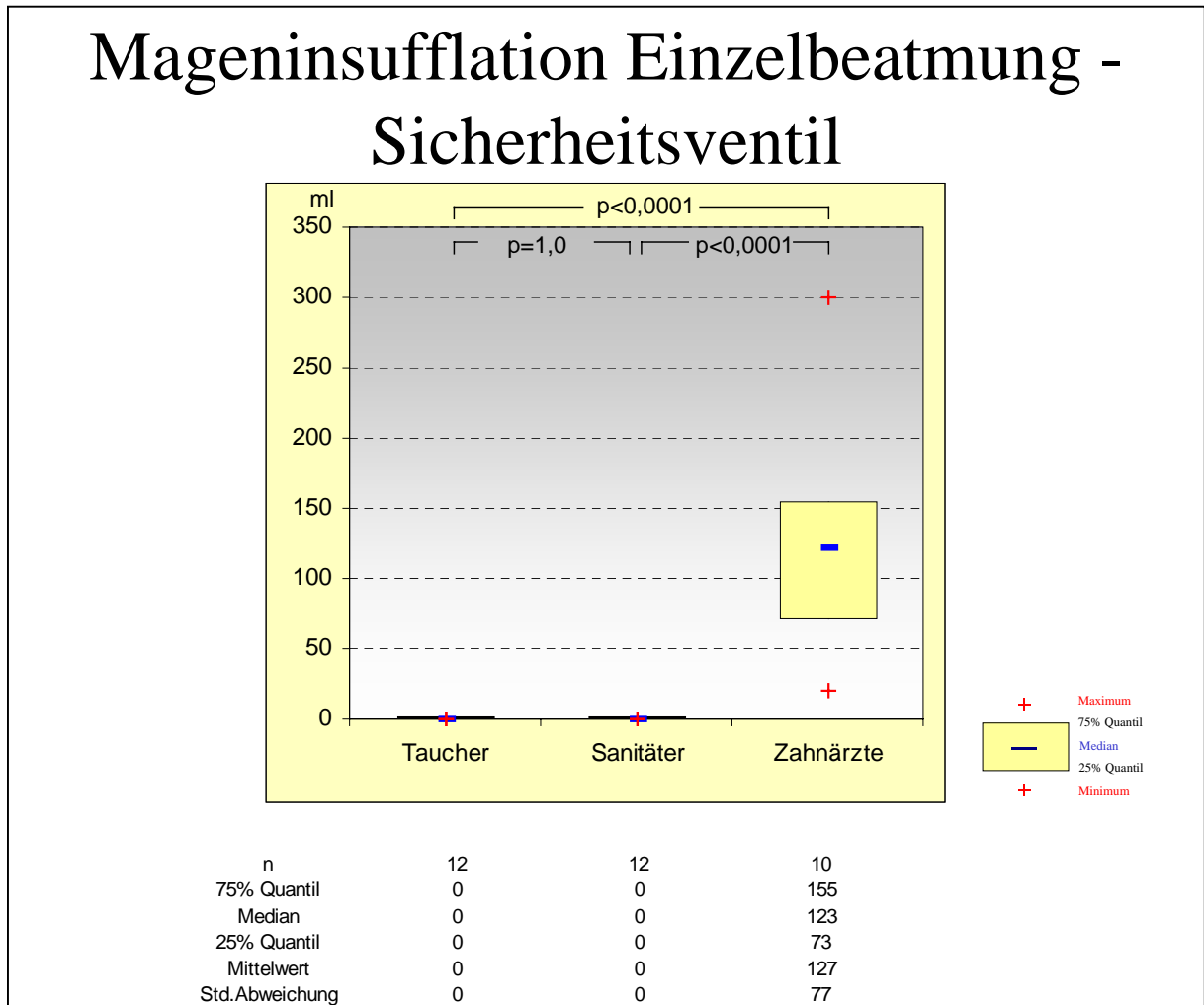


Abbildung 29: Beatmung während 10 Reanimationszyklen mittels Zwei-Helfer-Methode über ein mit einer Beatmungsmaske gekoppeltes Sicherheitsventil zur Vermeidung eines übermäßigen Beatmungsdruckes. Simulation am Phantom. Gemessen wurde die Luftmenge, die jeder Proband während einer Einzelbeatmung in den Magen des Phantoms insuffliert hat. Dargestellt ist die Verteilung der Mediane der Einzelmessungen aus allen 20 Beatmungsvorgängen jedes Probanden in den drei Gruppen (Boxplots). Nur in der Gruppe der Zahnärzte im worst case scenario wurde diese Komplikation beobachtet.

3.4.3 Zeitbedarf

3.4.3.1 Zeitbedarf mit Mund zu Mund-Technik

Beim Vergleich der Gruppen zeigte sich, dass die Sanitäter als professionelle Ersthelfer gegenüber den Tauchern als gut ausgebildete Ersthelfer ($p=0,01$) und den Zahnärzten als weniger ausgebildete Ersthelfer ($p=0,0034$) deutlich weniger Zeit für zehn Reanimationszyklen mit Mund zu Mund-Beatmung benötigten (Abbildung 30). Im Mittel lag der Zeitbedarf der Sanitäter bei etwa 140 Sekunden. Taucher und Zahnärzte benötigten mit dieser Technik annähernd gleich viel Zeit.

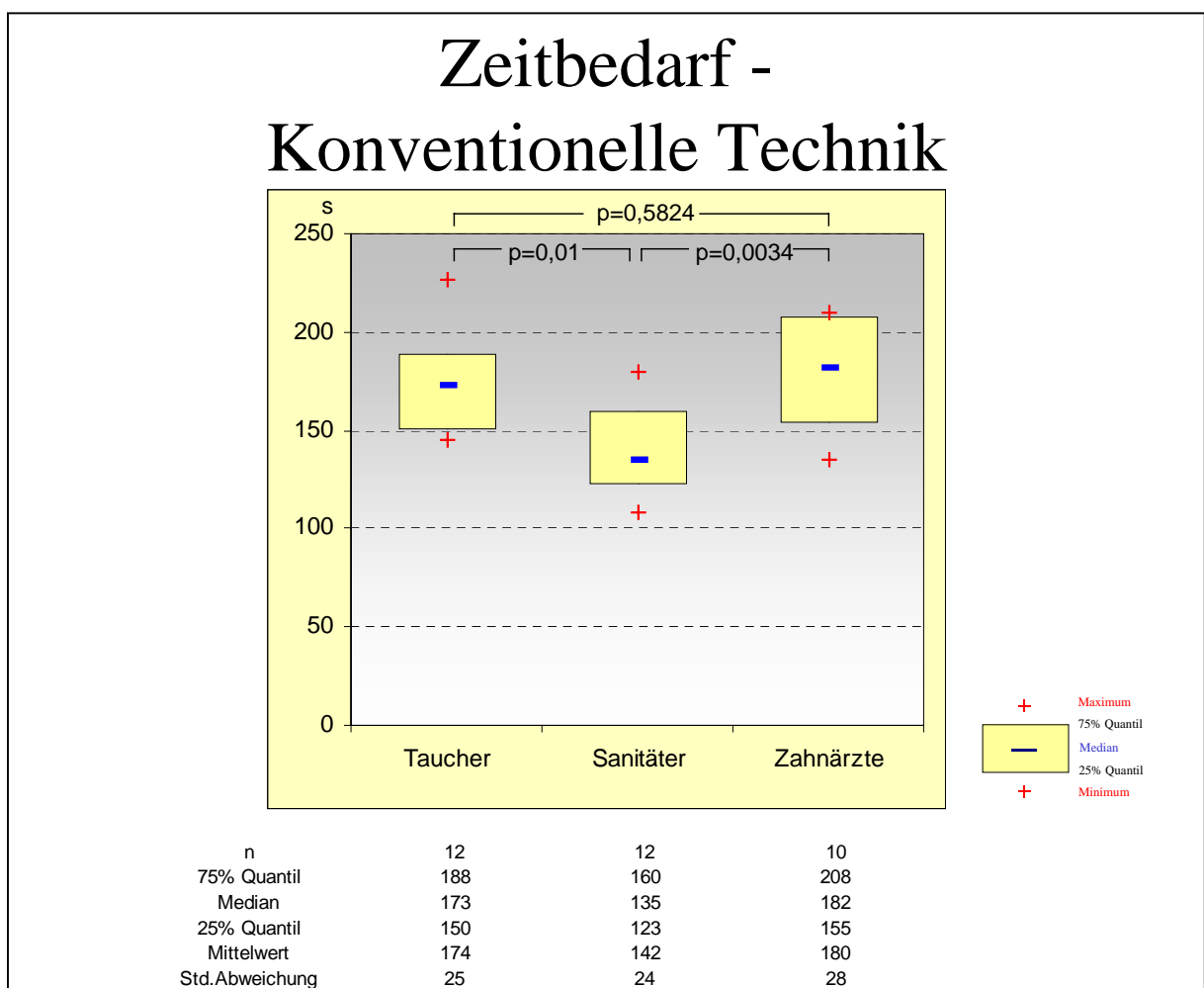


Abbildung 30: Zeitbedarf dreier Probandengruppen für 10 Reanimationszyklen mittels Zwei-Helfer-Methode mit konventioneller Mund zu Mund-Beatmung (Boxplots). Simulation am Phantom. Dieser lag bei den Sanitätern gegenüber den Tauchern bzw. Zahnärzten deutlich niedriger.

3.4.3.2 Zeitbedarf mit Maske-Sicherheitsventil-Technik

Wie auch bei der Mund zu Mund-Technik benötigten die Sanitäter gegenüber den Tauchern ($p=0,0249$) und den Zahnärzten ($p=0,0249$) deutlich weniger Zeit für zehn Reanimationszyklen, wenn die Beatmungstechnik mittels Maske und Sicherheitsventil zur Anwendung kam (Abbildung 31). Im Mittel lag der Zeitbedarf der Sanitäter auch hier bei etwa 140 Sekunden, während Taucher und Sanitäter einen nahezu gleich hohen Zeitbedarf aufwiesen.

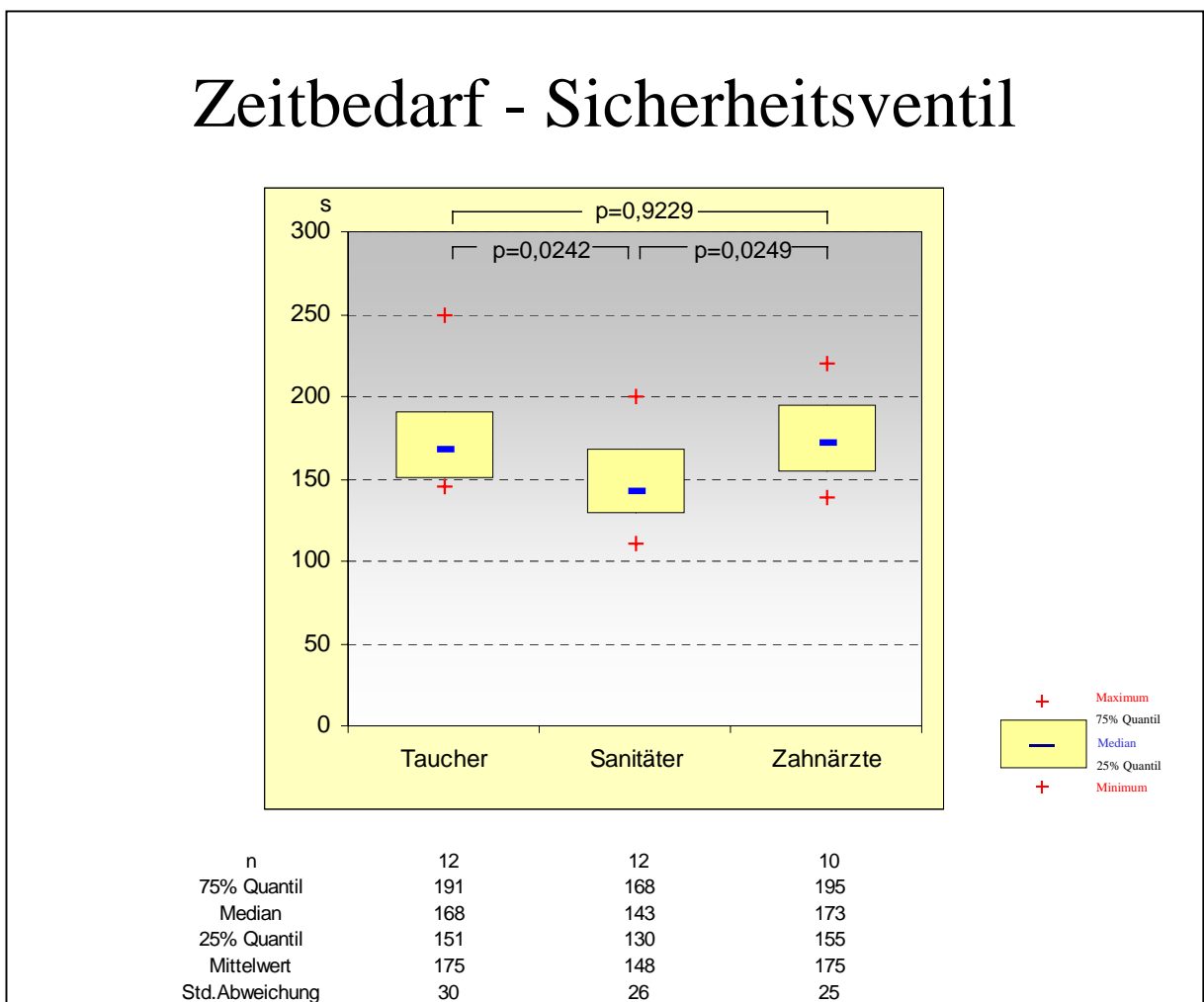


Abbildung 31: Zeitbedarf dreier Probandengruppen für 10 Reanimationszyklen mittels Zwei-Helfer-Methode und Beatmung über ein mit einer Beatmungsmaske gekoppeltes Sicherheitsventil zur Vermeidung eines übermäßigen Beatmungsdruckes (Boxplots). Simulation am Phantom. In der Gruppe der Sanitäter wird deutlich weniger Zeit benötigt als in der Gruppe der Taucher und der Zahnärzte.

3.5 Beurteilung der Effektivität der akustischen Kontrollvorrichtung zur Überprüfung der Lungenbeatmung durch den Anwender

Eine ausreichend deutliche Wahrnehmung des akustischen Signals der in das Ventil eingebauten Pfeife als Kontrollmechanismus gelang lediglich bei den Beatnungsmaßnahmen der Gruppe der Sanitäter.

4 Diskussion

4.1 Allgemeine Vorbemerkungen

Um die Effekte der Druckbegrenzung bei Mund zu Maske-Beatmung mittels einer daran angeschlossenen Kombination aus Sicherheits- und Beatmungsventil und akustischem Kontrollmechanismus zu untersuchen, wurde ein Modell eines modifizierten Reanimationsphantoms genutzt, welches zuvor um eine weitere Eigenschaft zur Messung des in den Magen insufflierten Beatmungsvolumens erweitert worden war.

Dieses Modell unterschied sich von anderen, die nur die Ventilation als Teil der Wiederbelebung untersuchten. Der Unterschied bestand darin, daß die Zusammenarbeit zweier Ersthelfer mit einer möglichen Beeinflussung des Beatmungsvorganges in die Untersuchung integriert wurde.

Die Compliance lag im Versuchsaufbau mit 51ml/cmH₂O in der Größenordnung wie sie auch bei Patienten mit Herz-Kreislauf-Stillstand gemessen worden war (6).

4.2 Vergleiche zweier Maskentypen mit Sicherheitsventil mit der konventionellen Beatmung

4.2.1 Testgruppe Einsatztaucher

4.2.1.1 Beatmungsvolumina

Trotz etwa halbjährlicher Schulung in Wiederbelebungsmassnahmen gelang es innerhalb dieser Testgruppe keinem Probanden, ein ausreichendes Tidalvolumen zu applizieren (Abb. 11). Bei Anwendung des Sicherheitsventils wurde eine Reduktion des Tidalvolumens beobachtet. Wahrscheinlich wurde diese durch das Sicherheitsventil und nicht durch den damit kombinierten Maskentyp bewirkt, da sich in beiden Untergruppen die Verteilungen der Messwerte nicht unterschieden. Die eingangs formulierte Hypothese hat sich somit bezüglich der Maskentypen bestätigt. Beim Vergleich zur konventionellen Beatmungstechnik gab es allerdings Unterschiede unabhängig von der eingesetzten Maske. Das Tidalvolumen war bei der konventionellen Beatmung jeweils höher.

4.2.1.2 Mageninsufflation

Bei der Betrachtung dieses Parameters in der Gruppe der Taucher zeigte sich, dass bei Anwendung des Sicherheitsventils unabhängig vom Maskentyp eine Mageninsufflation nahezu ausgeschlossen werden konnte. Bei zwei Probanden in der Ambu-Gruppe wurde ein Median der Einzelwerte der Luftinsufflationen bei konventioneller Beatmungstechnik von Null errechnet (Abb. 12). Bei der Betrachtung der Einzelwerte der Luftinsufflation in den Magen wurde das auf einen Unterschied der Verteilungen hinweisgebende p von $<0,05$ beim Vergleich mit der Masken-Sicherheitsventil-Beatmung daher nicht erreicht. Bei der Gesamtbetrachtung der Summenwerte an Luftinsufflationen in den Magen ergab sich dann allerdings auch in dieser Gruppe ein Unterschied zwischen konventioneller Mund zu Mund-Technik und Sicherheitsventil-Technik. Dies entsprach auch der formulierten Hypothese: unabhängig vom Maskentyp liess sich mit Hilfe der Sicherheitsvorrichtung im Vergleich zur konventionellen Mund zu Mund-Beatmung eine Mageninsufflation nahezu vermeiden.

4.2.1.3 Zeitbedarf für 10 Wiederbelebenszyklen

Es zeigte sich, dass in beiden Subgruppen im Gegensatz zur Beatmungstechnik bezüglich der Koordination von Beatmung und Herzdruckmassage offensichtlich gleichartige Fertigkeiten vorhanden waren. Der Einsatz der Kombination Maske-Sicherheitsventil führte verglichen mit der konventionellen Beatmungstechnik nicht zu Verzögerungen im Ablauf der Wiederbelebungsmassnahmen (Abb. 14). Die Hypothese konnte damit bestätigt werden.

4.2.2 Testgruppe Sanitätspersonal

4.2.2.1 Beatmungsvolumina

Die Bereiche der Tidalvolumina, die in dieser Gruppe der immerhin als erfahren geltenden Probanden erzielt wurden, reichten fast nie an die internationalen Empfehlungen für die künstliche Beatmung bei Basismassnahmen der Herz-Lungen-Wiederbelebung heran.

Dabei war es gleichgültig, mit welchem Verfahren beatmet wurde (Abb. 15).

Lediglich zwei Probanden erfüllten mittels konventioneller Beatmungstechnik die Anforderungen.

Eine wesentliche Einschränkung des Tidalvolumens durch den Überdruckmechanismus des Sicherheitsventils wurde nur bei einem Probanden beobachtet. In der Zusammenschau lässt sich mit der statistischen Analyse kein Unterschied der erzielten Tidalvolumina durch Anwendung einer Maske mit Sicherheitsventil gegenüber konventioneller Beatmung finden.

Bis auf die fehlende Erfüllung der internationalen Standards für das zu applizierende Tidalvolumen entsprach das Ergebnis den Erwartungen.

4.2.2.2 Mageninsufflation

Die Subgruppe, bei der die Soft-Maske mit Sicherheitsventil zum Einsatz kam, war bei der konventionellen Beatmungstechnik bezüglich der beobachteten

Mageninsufflationsvolumina effektiver. In dieser Gruppe kam es viel seltener zu einer Luftinsufflation in den Magen (Abb. 16) und das insgesamt insufflierte Luftvolumen war damit auch deutlich geringer (Abb. 17). Bei der Betrachtung des insgesamt in den Magen insufflierten Volumens ergibt der Test einen Unterschied beim Vergleich Ambu-

Sicherheitsventil-Beatmung und konventioneller Beatmung (0 versus 8525 ml; $p=0,0313$). Der fehlende Unterschied zwischen beiden Beatmungsformen in der anderen Subgruppe ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Probanden, die das Sicherheitsventil in Kombination mit der Soft-Maske testeten, generell vorsichtiger beatmeten und somit auch in der konventionellen Technik im Median nur 500 ml Luft insgesamt in den Magen gelangten.

Die Hypothese wurde somit nur in der Subgruppe, die das Ambu-Sicherheitsventil testete, bestätigt: Hier gelang es durch die Sicherheitsventilvorrichtung, eine Luftinsufflation in den Magen nahezu vollständig zu verhindern.

4.2.2.3 Zeitbedarf für 10 Wiederbelebenszyklen

In der Gruppe der Sanitäter finden sich keine zeitlichen Verzögerungen der Massnahmen der Herz-Lungen-Wiederbelebung durch Einsatz der Maske-Sicherheitsventil-Technik im Vergleich zur konventionellen Beatmung (Abb. 18). Die Hypothese wurde bestätigt: durch den Einsatz der Sicherheitsventilvorrichtung in Kombination mit der Maske ergibt sich kein Nachteil im Hinblick auf den Zeitbedarf bei der Reanimation beim Vergleich mit der konventionellen Mund zu Mund-Beatmung.

4.3 Vergleich der Beatmungstechnik Mund zu Maske *mit* und *ohne* Sicherheitsventil sowie der konventionellen Mund zu Mund-Technik (Testgruppe Zahnärzte)

4.3.1 Beatmungsvolumina

Die Unterschiede in den Verteilungen der Tidalvolumina, die mittels kombinierter Anwendung von Maske-Sicherheitsventil-Technik erzielt wurden und konventioneller Beatmung waren statistisch nicht signifikant. Der p-Wert von 0,05 wird allerdings nur knapp überschritten. Der Interquartilabstand bei Anwendung der Maske-Sicherheitsventil-Technik betrug hier 200ml-131ml, während er bei konventioneller Technik bei 117ml-0ml lag. Der Einsatz der Maske bewirkte allerdings, dass Tidalvolumina in nennenswerter

Höhe erzielt werden konnten (Abb. 19). Diese wurden durch zusätzlichen Einsatz des Sicherheitsventils allerdings deutlich reduziert. Die Anwendung der Maske über den Doppel-C-Griff analog Abbildung 6 mit Positionierung des Probanden hinter dem Kopf des Phantoms hatte eine adäquate Überstreckung des Phantomkopfes bewirkt, welche den Probanden in der seitlichen Position bei Mund zu Mund-Technik offensichtlich nicht gelungen war. Damit konnte mit der konventionellen Technik auch fast kein Tidalvolumen erzielt werden. Die Hypothese gleicher Tidalvolumina wurde somit nur bei Anwendung der Kombination aus Sicherheitsventil und Maske bestätigt. Ohne das Sicherheitsventil ergaben sich deutlich höhere Tidalvolumina als bei der Mund zu Mund-Beatmung. Bei dieser Konstellation hatte die Kombination der Maske mit dem Sicherheitsventil einen Vorteil der Maskenbeatmungstechnik wieder abgeschwächt.

4.3.2 Mageninsufflation

Die Anwendung der Maskentechnik eröffnete in dieser Gruppe offenbar die Möglichkeit, überhaupt eine Mageninsufflation auszulösen. Der Mechanismus ist analog zu der Fähigkeit zu werten mittels der Maske überhaupt beatmen zu können. Dadurch, dass den Probanden eine Verbesserung der Kopfüberstreckung durch Ihre Position am Phantom analog Abbildung 6 gelang, wurde also nicht nur die Beatmung ermöglicht. Gleichzeitig stieg auch die Gefahr der Mageninsufflation. Das Dazwischenschalten des Sicherheitsventils hatte erwartungsgemäss auch das verursachte Mageninsufflationsvolumen reduziert. Die Verteilungen der Volumina, die bei den einzelnen Beatmungen (Abb. 20) bzw. insgesamt während aller Reanimationszyklen in den Magen des Phantoms (Abb. 21) gelangten, unterschieden sich aber dennoch nicht von denen, die mittels konventioneller Beatmung verursacht wurden. Es ist also festzustellen, dass sich das höhere Risiko der Mageninsufflation durch die Maskentechnik mit Zuschalten des Sicherheitsventils wieder reduzieren lässt.

4.3.3 Flussgeschwindigkeit der Ausatemluft der beatmenden Probanden

Bedingt durch den Mechanismus der mangelhaften Kopfüberstreckung am Phantom durch die Position der Probanden bei Mund zu Mund-Beatmungstechnik analog Abbildung 2 ergaben sich in den Atemwegen des Phantoms deutlich niedrigere Flussgeschwindigkeiten bei Anwendung dieser Technik. Die Maskentechnik bewirkte durch Verbesserung der Kopfposition auch eine deutliche Erhöhung der Flussgeschwindigkeiten (Abb. 22). Die

Streuung der Messwerte war hier allerdings deutlich höher als nach Zwischenschalten des Sicherheitsventils. Mittels dieser Technik liessen sich die Flussgeschwindigkeiten deutlich reduzieren.

Die Flussgeschwindigkeit beziehungsweise die Anstiegssteilheit der Fluss-Volumen-Kurve bei der künstlichen Beatmung nicht intubierter Patienten ist eine wesentliche Determinante, die das Risiko einer akzidentellen Luftinsufflation in den Magen bestimmt (31).

4.3.4 Zeitbedarf für 10 Wiederbelebungszyklen

Die Durchführung der Wiederbelebungsmaßnahmen durch Anwendung der Maske beziehungsweise der Maske in Kombination mit Sicherheitsventil führte gegenüber der konventionellen Mund zu Mund-Technik nicht zu Verzögerungen des Reanimationsablaufes (Abb. 23). Die Hypothese wurde damit bestätigt.

4.4 Einfluss unterschiedlicher Rahmenbedingungen auf die Durchführung der Beatmung und der Reanimation

4.4.1 Im Hinblick auf das Beatmungsvolumen

Bei der konventionellen Beatmungstechnik gelang es in der Gruppe der Zahnärzte nur selten, überhaupt eine Lungenbeatmung zu erzielen. Dies ist, wie oben schon ausgeführt, auf die mangelhafte Kopfüberstreckung in der seitlichen Position des Behandlers zurückzuführen. Eine adäquate Lungenventilation mit Tidalvolumina von über 600 ml gemäss der Empfehlungen gelang jedoch auch den beiden anderen Probandengruppen kaum. Taucher und Sanitäter erreichten mit diesem Verfahren jedoch annähernd gleiche Tidalvolumina (Abb. 24).

Die Unterschiede der Verteilungen der Tidalvolumina, die in den einzelnen Gruppen durch Einsatz der Maske-Sicherheitsventil-Technik erzielt wurden, können vermutlich nicht nur auf die unterschiedliche Ausbildung und Berufszugehörigkeit ihrer Probanden zurückgeführt werden. Unterschiedliche Grundvoraussetzungen der Phantomeinstellungen sind ausserdem als ursächlich zu werten.

Die Hypothese kann nur teilweise bestätigt werden, da die von den Tauchern als Laienhelfer im intermediate case scenario erzielten Tidalvolumina sich nicht von denen der Sanitäter als professionellen Ersthelfern im best case scenario unterschieden. Für die Technik mittels Maske und Sicherheitsventil konnte die Hypothese voll bestätigt werden: hier lagen die Tidalvolumina in der Gruppe der Sanitäter über denen der Taucher und die der Taucher über denen der Zahnärzte als kaum geschulte Ersthelfer im worst case scenario mit nur sehr geringer Schutzwirkung des Sicherheitsventils (Abb. 25).

4.4.2 Im Hinblick auf die Mageninsufflation

Die Zahnärzte hatten mit einem Ösophagussphincter-Öffnungsdruck von 3 mbar und einem Sicherheitsventil-Öffnungsdruck von ≥ 20 mbar die ungünstigste Konstellation zu bewältigen, während die am besten ausgebildete Probandengruppe der Sanitäter mit der günstigsten Konstellation der Öffnungsdruck-Parameter konfrontiert worden war.

Die mangelhafte Kopfüberstreckung in der Gruppe der Zahnärzte bei Mund zu Mund-Beatmung hatte gleichermassen auch eine protektive Auswirkung auf die während der Beatmung verursachte Mageninsufflation. Diese lag im Mittel und auch in der Summe deutlich unter der der Taucher. Die Sanitäter verursachten statistisch gesehen insgesamt ein geringeres Mageninsufflationsvolumen als die Taucher, zu den Zahnärzten ergaben sich aber keine Unterschiede (Abb. 26). Die Hypothese konnte nur bei Betrachtung der Mund zu Mund-Beatmung beim Vergleich des best mit dem intermediate case scenario im Hinblick auf das insgesamt von den Probanden in den Magen insufflierte Luftvolumen bestätigt werden. Auch hier muss wieder angemerkt werden, dass den Sanitätern bei besserem Ausbildungsstand auch ein geringeres Gefährdungspotential einer Mageninsufflation im Versuchsaufbau vorgegeben war.

Wird der Mechanismus des Sicherheitsventils hinzugefügt, wurden relevante Mageninsufflationen nur noch in der Gruppe der Zahnärzte beobachtet (Abb. 28 und 29). Zu relevanten Einzelmengen bzw. zu einer relevanten Aufaddierung innerhalb von 10 Reanimationszyklen kam es nur in dieser Gruppe. Dieses Ergebnis war auch erwartet

worden, da in diesem Szenario im Gegensatz zu den beiden anderen die Schutzwirkung des Sicherheitsventils bewusst deutlich über den Ösophagussphincter-Öffnungsdruck angehoben worden war.

4.4.3 Im Hinblick auf den Zeitbedarf bei der Reanimation

Für eine den Vorgaben entsprechende Ausführung der kardiopulmonalen Reanimation würde man folgenden Zeitbedarf ansetzen:

Ohne Sauerstoffzufuhr empfohlene Dauer eines Beatmungsvorganges:	2 Sekunden
Dauer der Beatmung bei 10 Wiederbelebungszyklen (à 2 Beatmungen)	40 Sekunden
Dauer von 150 Herzdruckmassagen bei einer Frequenz von 100/min	90 Sekunden
Summe	130 Sekunden

Im Mittel lag der Zeitbedarf in der Gruppe der Sanitäter bei der Herz-Lungen-Wiederbelebung mittels Mund zu Mund-Technik bei etwa 135 Sekunden, also etwas über den Vorgaben der international gültigen Empfehlungen (Abb. 30). Bei Anwendung der Maske-Sicherheitsventiltechnik lag der Zeitbedarf im Mittel in dieser Gruppe mit 143 Sekunden noch etwas darüber (Abb. 31).

Im Vergleich dazu schnitten die Taucher und die Zahnärzte als Repräsentanten von Berufsgruppen, die normalerweise eher nicht mit Reanimationssituationen in Berührung kommen, deutlich schlechter ab. Diese beiden Gruppen unterschieden sich hinsichtlich des Zeitbedarfes nicht, gleichgültig ob mit konventioneller Technik oder mit Hilfsmittel beatmet wurde.

Die Hypothese bestätigte sich hier also nur im Hinblick auf den Zeitbedarf der professionellen Ersthelfer.

4.5 Effektivität des akustischen Signalgebers

Das akustische Kontrollsignal einer Lungenbeatmung wurde nur in der Gruppe der Sanitäter beachtet. Für die Probanden der beiden anderen Gruppen war das Fehlen beziehungsweise die kurze Dauer des Signals nicht hinweisgebend, ihre Beatmungstechnik zu modifizieren. Ursächlich für diese Beobachtung ist vermutlich einerseits die Tatsache,

dass das Sicherheitsventil bei den einzelnen Beatmungen eine frühzeitige Druckentlastung herbeigeführt hatte, andererseits tatsächlich Luft bereits in den Magen gelangen konnte. Somit konnte in beiden Fällen nur ein geringes expiratorisches Tidalvolumen den akustischen Signalgeber überhaupt erreichen. Das Fehlen des Signales hätte die Probanden allerdings darauf aufmerksam machen müssen, ihre Beatmungstechnik zu modifizieren, bis das Signal wahrgenommen werden kann und dann die Beatmungstechnik in dieser Position fortzuführen.

4.6 Effektivität des Sicherheitsventils und Literaturvergleich

Bei der Beurteilung der Effektivität des Sicherheitsventils bei unterschiedlichen Einstellungen und unterschiedlichen Erschlaffungszuständen des Ösophagus müssen grundsätzlich zwei Mechanismen betrachtet werden:

1. Möglichkeit der Beatmung
2. Schutzfunktion – Mageninsufflation

1. Möglichkeit der Beatmung

Die aktuell gültigen Leitlinien des ERC für lebensrettende Sofortmaßnahmen beim Erwachsenen empfehlen ein Beatmungsvolumen von 700-1000ml/Beatmung. Es wird grundsätzlich empfohlen, daß jede Beatmung 2 Sekunden dauern soll und der Ersthelfer die Thoraxbewegungen als Anhaltspunkt für die korrekte Menge an Luft wählen soll (8). Baskett et al. (2) ließen Beobachter, die in Erste Hilfe-Maßnahmen geschult waren, die Atembewegungen bei beatmeten Patienten in Narkose beurteilen. Die als adäquate Tidalvolumina eingeschätzten Atembewegungen entsprachen allerdings nur 300 bis 500ml.

Idris (15) formuliert als Problem eine mögliche Beeinträchtigung der Überlebenschancen durch geringere Sauerstoff- und erhöhte Kohlendioxidzufuhr durch die Ausatemluft des Ersthelfers bei der Beatmung. Es wird darauf hingewiesen, daß die positiven Effekte einer Schnappatmung – also eine spontane Atemform mit rascher In- und langsamerer Expirationsphase (19) - beim Patienten möglicherweise eine ausreichende Ventilation gewährleisten. Schnappatmung wurde in einer Untersuchung von Clark (5) bei 55% der Patienten mit beobachtetem Herz-Kreislauf-

Stillstand beobachtet. 27% der Patienten mit Schnappatmung überlebten, während dies in der Gruppe der Patienten ohne Schnappatmung nicht beobachtet werden konnte.

Wenzel et al. (33) zeigten bei der Beatmung mit kleineren Tidalvolumina über einen Kinder-Beatmungsbeutel geringere Atemwegsspitzen drucke bei beatmeten Patienten als über den Erwachsenen-Beatmungsbeutel bei vergleichbarer Oxigenierung. Sie schlossen aus den Ergebnissen dieser Untersuchung auf eine ausreichende Effektivität kleinerer Tidalvolumina von etwa 500ml gegenüber grösseren Tidalvolumina von etwa 1000ml.

Diese Schlußfolgerungen der Autoren werden allerdings von anderer Seite und später auch aus der eigenen Arbeitsgruppe sehr kritisch bewertet (7, 23, 25).

Ebenso stehen die Ergebnisse von Stallinger et al (25) einer Anwendung niedrigerer Tidalvolumina bei der Wiederbelebung entgegen. Gesunde Probanden sollten 5 Minuten lang 500 versus 1000ml Tidalvolumina eines Gasgemisches aus 17% Sauerstoff, 4% Kohlendioxid und 79% Stickstoff atmen. Der Versuch mußte im Fall der kleineren Tidalvolumina bei 80% der Probanden nach etwa 3 Minuten wegen massiven Lufthungers und Unruhe abgebrochen werden. Die Autoren extrapolieren daraus, daß 500ml kein adäquates Tidalvolumen bei der Mund zu Mund-Beatmung darstellen.

Die Annahme, daß Wiederbelebungsmaßnahmen ohne Beatmung ausreichend sind, gilt derzeit als nicht gerechtfertigt (7, 23). Auch die aktuell gültigen Empfehlungen der Bundesärztekammer weisen dies aus (4).

Mittlerweile hat die Arbeitsgruppe um Idris dann auch zeigen können, daß geringere Tidalvolumina bei der Beatmung im Rahmen der ersten Hilfe nicht ausreichen, um eine adäquate Oxigenierung zu gewährleisten (9). Außerdem kamen die Autoren zu dem Schluß, daß selbst bei Anwendung von Raumluft ein Tidalvolumen von 500ml nur eine unzureichende Sauerstoffversorgung gewährleistet.

Eine Verbesserung dieses Zustandes soll bei Anwendung niedrigerer Tidalvolumina durch zusätzliche Sauerstoffzufuhr von außen erzielt werden (1). Diese Möglichkeit steht im Rahmen der Laienreanimation aber nicht zur Verfügung. Während der Durchführung der Beatmung mittels Mund zu Maske-Technik wurden bei zusätzlicher Sauerstoffzufuhr allerdings auch höhere Atemwegs-Spitzen drucke gemessen. Der Effekt wird einem

zusätzlichen Druckaufbau zwischen Maske und dem in der Untersuchung verwendeten Phantomkopf gesehen. Dieser entsteht durch den während der Expiration des Helfers verschlossenen Ausatemschkel des Ventils an der Maske (28).

Ist Sauerstoff als Zusatzgas verfügbar, wird empfohlen (1) das Tidalvolumen zu reduzieren. Für die Beatmungstechnik mit Hilfsmitteln wurde auch schon vorgeschlagen, eine Druckbegrenzungsvorrichtung einzubauen, die bei Anwendung einer $FiO_2 > 50\%$ aktiviert werden kann, sodaß bei der Beatmung nur Tidalvolumina von maximal 500ml möglich sind (26).

Außer der Mund zu Mund-Technik wurden auch andere Hilfsmittel zur Ersthelferbeatmung unter Laborbedingungen untersucht (10): Krankenpflegepersonal beatmete über einen Intubationstrainingskopf mit Maske Gr. 4 und 1500ml Dräger Beutel für Erwachsene mit Tidalvolumina von 334 ± 125 ml und verursachte dabei Mageninsufflationen von 177 ± 74 ml.

Die Beatmung mittels Beutel und Maske gilt zwar als Basis-Methode (1), ist aber im Rahmen der Laienreanimation unrealistisch.

Im Experiment (31) wurde beschrieben, daß durch eine Reduktion des Tidalvolumens ein entsprechend niedriger Atemwegsdruck erreicht werden und damit das Risiko der Mageninsufflation verringert werden kann. Diese Untersuchung ergab auch, daß der peak flow das Ausmaß der Mageninsufflation beeinflusst. So war bei Applikation des gleichen Volumens über ein Beatmungsgerät bei niedrigerem Spitzenfluß als ihn die Probanden verabreichten die Mageninsufflation deutlich geringer und die Lungenventilation deutlich höher. 750ml verabreicht über einen großen Beatmungsbeutel führten bei einem Ösophagussphincter-Öffnungsdruck von 15mbar an einem Versuchsphantom zu 350ml, bei 5mbar zu 190ml Tidalvolumen in der Testlunge. Bei diesen Öffnungsdrucken wurde mit einem kleinen Beatmungsbeutel von 500ml Inhalt nur 240 bzw. 120ml Tidalvolumen erreicht.

Bei Anwendung der Systeme wurden im Magen bei Anwendung des großen Beatmungsbeutels 250 bis 550ml, bei Anwendung des kleinen 70 bis 300ml Insufflation gemessen.

2. Schutzfunktion - Mageninsufflation

In der Gruppe der Taucher lagen diese Drucke relativ eng beieinander. Die Erwartung war, dass das Sicherheitsventil allenfalls eine geringe Mageninsufflationsmenge zulässt, sich aber die Tidalvolumina, die mittels dieser Technik erreicht werden, kaum von denen bei der Mund zu Mund-Technik unterscheiden. Die Messungen ergaben allerdings, dass sich mittels konventioneller Technik ein deutlich höheres Beatmungsvolumen erzielen liess als unter Einsatz der Maske mit Sicherheitsventil. Bei der Betrachtung der insgesamt verursachten Mageninsufflation zeigt sich allerdings, dass durch die Sicherheitsventiltechnik tatsächlich ein protektiver Effekt erreicht werden konnte.

In der Gruppe der Sanitäter waren die Drucke gleich. Die Erwartung war hier, dass durch die Sicherheitsventiltechnik eine Mageninsufflation verhindert werden kann und gleichzeitig die Lungenventilation durch das Sicherheitsventil gegenüber der konventionellen Technik nicht beeinträchtigt wird.

Die Ergebnisse zeigen, dass es in dieser Kombination der Öffnungsdrucke erwartungsgemäss keine Unterschiede in den erzielten Tidalvolumina gab. Ebenso ist anzunehmen, dass eine Mageninsufflation durch das Sicherheitsventil effektiv verhindert werden konnte, wenngleich sich statistisch (Abbildung 17) in der Subgruppe der Probanden, die die Kombination Softmaske-Sicherheitsventil testeten, kein Unterschied darstellen lässt. Dies ist dadurch bedingt, dass diese Subgruppe die einzigen Probanden beinhaltete, die auch mit konventioneller Technik eine Mageninsufflation zu verhindern wussten.

In der Gruppe der Zahnärzte hatte die Maske an sich eine Verbesserung der Kopfposition bewirkt. Ohne die Maske war gewissermassen nicht beatmet worden. Es ist daher angemessen, die konventionelle Beatmungstechnik bei der hier zugrunde liegenden Fragestellung ausser Betracht zu lassen. Die Erwartung war mit und ohne Sicherheitsventil eine deutliche Ansammlung von Luft im Magen. Im Falle des Einsatzes des Sicherheitsventils würde eine Magenbelüftung ja bereits schon ab einem Druck von 3 mbar auftreten, während die eigentliche Sicherheitsfunktion des Ventils erst bei über 20 mbar eine wirksame Entlastung ermöglicht. Demgegenüber wurde erwartet, dass die tatsächliche Lungenbeatmung bei Einsatz des Sicherheitsventils in der selben Grössenordnung liegen würde wie der Beatmung ohne Sicherheitsventil. Den Erwartungen entsprechend zeigen Abbildungen 20 und 21 eine deutlich geringere Magenbelüftung durch Einsatz des Sicherheitsventils verglichen mit der Maskentechnik ohne Sicherheitsventil; aus Abbildung

19 wird allerdings auch deutlich, dass die Zuschaltung des Sicherheitsventils eine Reduktion der Tidalvolumina im Mittel um etwa 50% bewirkte.

Summarisch betrachtet ergibt sich, dass die alleinige Möglichkeit der Zuhilfenahme einer Maske besonders bei Ersthelfern, die sich nicht regelmässig Schulungsmassnahmen unterziehen müssen, in der kopfwärtigen Anwendungsposition eine korrekte Kopfüberstreckung erleichtern helfen könnte. Die Kombination mit einem Sicherheitsventil kann insbesondere in Fällen fortgeschrittenen Tonusverlustes des Ösophagussphincters eine deutliche Reduktion akzidenteller Luftinsufflation in den Magen bei der Beatmung bewirken. Um den bei der Beatmung als Ersthelfermassnahme empfohlenen Tidalvolumina Rechnung zu tragen, müssten allerdings Öffnungsdrucke eines in die Maske integrierten Sicherheitsventils gewählt werden, die deutlich über 20mbar liegen. Derart hohe Öffnungsdrucke würden allerdings eine effektive Reduktion der Luftinsufflation in den Magen nicht mehr erlauben.

Die Öffnungsdrucke des Ösophagussphincters lagen in der Gruppe der Taucher bei 5mbar und bei den Zahnärzten bei 3mbar. Immerhin ergab der Interquartilabstand der Tidalvolumina in der Gruppe der Taucher Werte von 375ml-200ml, wenn mit Maske-Sicherheitsventil beatmet wurde, gegenüber 570ml-400ml, wenn die Mund zu Mund-Technik zum Einsatz kam. Es wäre noch zu prüfen, inwieweit sich durch eine weitere Erhöhung des Öffnungsdruckes des Sicherheitsventils das Tidalvolumen steigern liesse, bis es zu nennenswerten Mageninsufflationen kommt. Wahrscheinlich liegt der Grenzwert aber zwischen 10 und 20 mbar, da sich die Verteilungen der Werte der Mageninsufflationsvolumina in der Gruppe der Taucher nach oben und in der Gruppe der Zahnärzte nach unten mit ihren Ausreisserwerten bereits überlappen (Abbildungen 26 und 28).

Der Öffnungsdruck des simulierten Ösophagussphincters war in der Gruppe der Zahnärzte für den ungünstigsten Fall auf 3cmH₂O (3mbar) eingestellt worden. Dieser Wert wurde der tierexperimentellen Literatur (3) entnommen und soll die Situation nach den ersten Minuten eines unbehandelten Herz-Kreislauf-Stillstandes am Menschen wiedergeben.

Zwei Hauptfaktoren bei der Beatmung im Rahmen der Wiederbelebung sind relevant. Erstens muß ein adäquates Tidalvolumen bei der Ersthelferbeatmung erzielt werden, insbesondere wenn das Atemgas die Zusammensetzung von Expirationsluft hat. Zweitens

muß eine Mageninsufflation während der Beatmung vermieden oder wenigstens auf ein Minimalmaß beschränkt werden.

Anhand der Abbildung 32 wird dargestellt, daß es bei fortgesetzter Mageninsufflation durch einen Circulus vitiosus auch zu einer eingeschränkten Lungenbelüftung kommt.

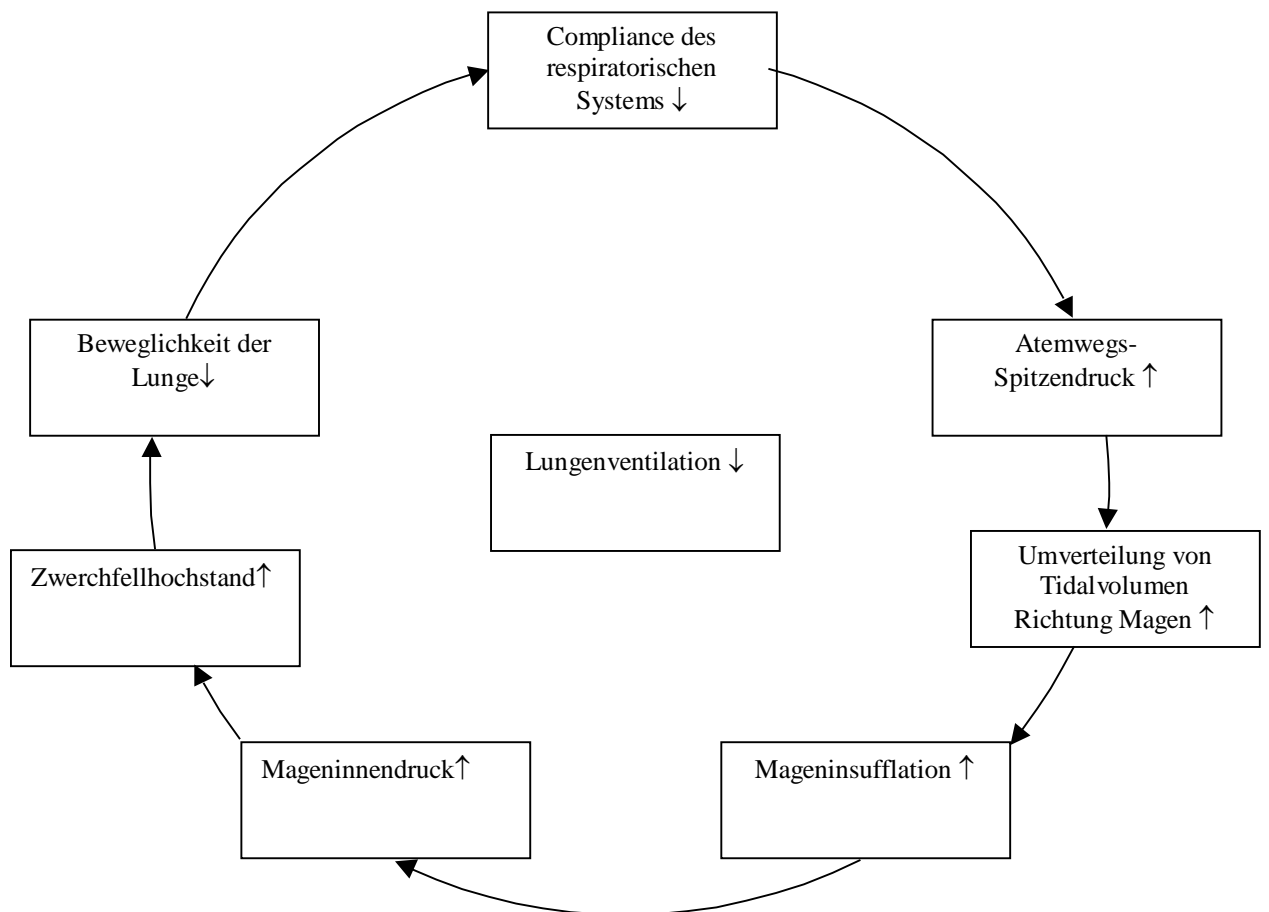


Abbildung 32: Circulus vitiosus bei der Beatmung nicht intubierter Patienten durch fortgesetzte Mageninsufflation mit abnehmender Lungenventilation. Modifiziert nach Dörges und Wenzel (11).

Mehrere Autorengruppen haben sich mit dem Thema Mageninsufflation während der Beatmung mit Ersthelfertechniken beschäftigt:

Durch Johannigman et al. (16) sind bei Mund zu Mund- bzw Mund zu Maske-Techniken unter Simulation von Compliance-Werten von 40ml/cmH₂O immer proximale Atemwegsdrucke von über 20cmH₂O gemessen worden! Dabei kam es im Modell bei einem simulierten Ösophagussphincter-Öffnungsdruck von 20cmH₂O regelhaft zur Insufflation von Luft in den Magen. Es wurden hier mit Mund zu Mund-Technik durchschnittlich etwa 850ml und mittels Mund zu Maske-Technik etwa 750ml Tidalvolumen erzielt, während die Insufflation von Luft in den Magen etwa 400 versus 150ml betrug. Da eine Trennung in nasalen und oralen Atemweg durch die Testvorrichtung nicht nachgebildet werden konnte, ist davon auszugehen, daß hier die Beatmungsluft einen Maske zu Mund-Weg in die Messapparatur genommen hatte. Interessanterweise gelangte damit deutlich weniger Luft in den Testmagen als mit der Mund zu Mund-Technik, bei nur geringgradig schlechterer Ventilation der Testlungen durch die Mund zu Maske-Technik

Die Untersuchung von Ruben et al. (20) hat Maskenbeatmung mit Insufflation von Luft unter kontrollierten Drucken in einen Tubus, der vor dem Ösophaguseingang positioniert war gegenüber einem Tubus, der vor der Cardia lag verglichen. Die Drucke, die nötig waren, Luft in den Magen zu bringen, lagen bei Maskeninsufflation und Insufflation über einen cardianah positionierten Schlauch in der selben Größenordnung zwischen 15 und 20 cmH₂O, während sie bei Anwendung des Pharyngealschlauches zwischen 20 und 25cmH₂O lagen. Die Autoren kommen zu dem Schluß, daß der obere Ösophagussphincter aufgrund eines adhäsiven Effektes der Ösophagusschleimhautblätter durchaus einen protektiven Effekt hinsichtlich einer Mageninsufflation haben könnte. Dieser Effekt wird aber wohl durch die Kopfpositionierung bei der Maskenbeatmung und den damit verbundenen Zug an der Mandibula und damit an den angrenzenden Muskeln und Weichgeweben wieder aufgehoben. Von einer protektiven Wirkung des oberen Ösophagussphincters während der Beatmung durch Laien im Rahmen einer Reanimation kann also nicht ausgegangen werden. Der einzige protektive Mechanismus sollte also im Tonus des unteren Ösophagussphincters bestehen.

Diese Arbeit diskutiert auch das durch nasale Beatmung gegenüber der Mund zu Mund-Technik möglicherweise verringerte Mageninsufflationsrisiko. Dies wird durch eine geringere pharyngeale Druckgenerierung unabhängig von der Flußgeschwindigkeit und der Flußanstiegsgeschwindigkeit beim Beatmungs-Manöver erklärt. Bei forcierter Beatmung

durch Mund zu Nase-Technik fällt der Druck durch Widerstandszunahme in der Nase auf dem Weg zum Pharynx ab. Die Nase stellt damit eine Art Sicherheitsventil dar.

Die Maskenbeatmung dürfte in der Realität – also anders als im Modell - aufgrund der Haltetechnik mit geschlossenen Lippen in der Regel einer Maske zu Nase-Beatmung gleichkommen (20).

Die Besonderheit in den Unterschieden der Atemwege von Nase und Mund konnte mit dem zur Verfügung stehenden Reanimationsphantom in der vorliegenden Untersuchung nicht nachgebildet werden. Es wurde daher im Versuchsaufbau 3 darauf Wert gelegt, die Versuchspersonen mit zwei Maskenvariationen – einmal mit und einmal ohne Sicherheitsventil – beatmen zu lassen.

Weiler et al. (30) beschreiben die Wahrscheinlichkeit einer Magenblähung bei einem Beatmungsdruck von über 20cmH₂O als deutlich erhöht. 6 von 31 Patienten bei Narkoseeinleitung zeigten bereits bei Beatmungsdrucken von zwischen 15 bis 20cmH₂O eine Insufflation des Magens. Bei 9 dieser 31 Patienten wurde keine Magenblähung beobachtet, obwohl bei vier Patienten Drucke zwischen 21 und 22 cmH₂O auftraten.

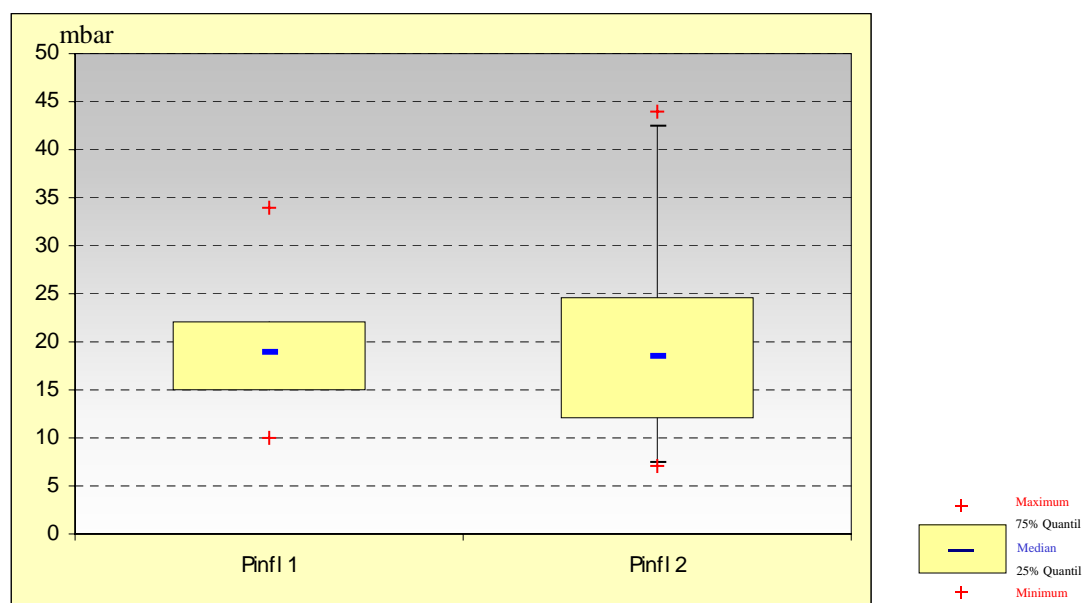


Abbildung 33: Übersicht der Ergebnisse (als Boxplots) von Ruben 1961 (Pinfl 1) und Weiler 1995 (Pinfl 2). Dargestellt sind die Ösophagussphincter-Öffnungsdrucke, bei denen eine Insufflation des Magens beobachtet wurde (Patienten in Narkose) (20, 30).

Die Untersuchungen von Ruben et al. (20) und Weiler et al. (30) geben in der Zusammenschau mit den hier vorliegenden Ergebnissen Anlaß zu der Vermutung, daß man die Höhe der Druckbegrenzung bei einem in die Maske eingebauten Sicherheitsventil bei etwa 15-20cmH₂O fest einstellen könnte, um es dem Behandler zu ermöglichen, Thoraxexkursionen wahrnehmen zu können. Der Wert von 20cmH₂O wurde sowohl durch Ruben als auch Weiler als Grenzbereich für eine Mageninsufflation bei relaxierten Patienten in Narkose definiert.

Die Tatsache, daß am Versuchstier während der ersten Minuten bereits ein schneller und deutlicher Abfall des Druckes am unteren Ösophagussphincter von etwa 20 auf 3cmH₂O beobachtet wurde, veranlaßte dazu, unter Annahme ungünstigster Umstände, den Öffnungsdruck des Sphincters am Prüfmodell auf etwa 3cmH₂O einzustellen.

So haben Bowman et al. (3) in einer Studie am Schweinmodell zeigen können, daß während zunehmender Dauer der Reanimation der Verschußdruck des unteren Ösophagussphincters absinkt. Acht Minuten nach dem Herzkreislaufstillstand wurde standardisiert mit Wiederbelebensmaßnahmen begonnen. Während der sieben Minuten zwischen Induktion des Herz-Kreislauf-Stillstands und Beginn der CPR wurden die Ösophagussphincter-Öffnungsdrucke gemessen. Unabhängig davon, ob die Tiere später einen Spontankreislauf wiedererlangten oder nicht, wurden innerhalb von sieben Minuten Druckabfälle von etwa 20 auf ca. 3,5cmH₂O gemessen.

Andererseits wird durch fortgesetzte Mageninsufflation die pulmonale Compliance kontinuierlich schlechter, was zu einer zunehmend erschwerten pulmonalen Beatmungsmöglichkeit führt (31)

Es ist also sehr wahrscheinlich, daß während unterschiedlicher Phasen der kardiopulmonalen Reanimation unterschiedlich hohe Beatmungsvolumina appliziert werden müssen bzw. Beatmungsdrucke zur Anwendung kommen dürfen (7). Eine Studie hierzu gibt es am Menschen bisher noch nicht.

Eine Untersuchung hat ergeben, daß nach einer Mahlzeit bei gesunden Versuchspersonen ohne gastrointestinale Vorerkrankungen durchschnittlich 5 transiente Relaxationen des unteren Ösophagussphincters (TLOS) pro Stunde auftraten. Der basale Tonus des unteren

Ösophagussphincters betrug im Liegen in der postprandialen Phase ca. 12cmH₂O gegenüber 16cmH₂O in einem Fasten-Intervall. Bei Nacht wurden in dieser Untersuchung 18cmH₂O gemessen. Spontaner Reflux findet in Größenordnungen von 4cmH₂O und darunter statt. Der im Verlauf gemessene Tiefstpunkt des Tonus betrug bei TLOS_R 0,8±0,2 cmH₂O (14).

Zusätzlich kommen zu den oben diskutierten Anforderungen im Rahmen unterschiedlicher Reanimationsphasen also auch noch individuelle Voraussetzungen wie beispielsweise eine kurz vor Auftreten des Herz-Kreislauf-Stillstandes erfolgte Nahrungsaufnahme hinzu.

Dies ist von besonderer Bedeutung hinsichtlich der möglichen Folge einer Aspiration durch Verlagerung von Mageninhalt in die Lunge aufgrund von Überblähung des Magens im Rahmen der Beatmung (17).

Schlussfolgerung

Die Untersuchung ergab lediglich in einer von drei Probandengruppen geringere Tidalvolumina durch die Anwendung der Maske mit Sicherheitsventil im Vergleich zur Mund zu Mund-Beatmungstechnik. In dieser Gruppe liess sich immerhin auch ein protektiver Effekt im Hinblick auf die insgesamt während des Tests in den Magen insufflierten Luftvolumina zeigen. In den beiden anderen Gruppe waren beide Verfahren im Hinblick auf die erzielten Tidalvolumina gleichwertig. Durch die Anwendung der Maske mit Sicherheitsvenil liess sich allerdings der erwartete protektive Effekt einer Verhinderung von Mageninsufflationen nicht einheitlich demonstrieren. Bei professionellen Ersthelfern gelang dies deshalb nicht, da ein hoher Anteil dieser Probanden eine diesbezüglich komplikationsarme konventionelle Beatmungstechnik beherrschte. Die wenig geschulten Ersthelfer kamen dagegen mit der konventionellen Technik kaum zurecht. Durch die Maskenbeatmung entstand überhaupt erst die Komplikation einer Mageninsufflation, die durch das Sicherheitsventil dann wieder abgeschwächt wurde. Durch diese Besonderheit konnte gerade bei der Konstellation eines worst case scenario mit kaum ausgebildeten Ersthelfern, massivem Ösophagussphincter-Erschlaffungszustand (bei relativ lange zurückliegendem Herz-Kreislauf-Stillstand ohne Ersthelfermassnahmen) und hoch eingestelltem Sicherheitsventil-Öffnungsdruck durch dieses Hilfsmittel der erwartete protektive Effekt im Hinblick auf eine Mageninsufflation gezeigt werden; allerdings ergaben sich durch die Anwendung der Kombination Maske-Sicherheitsventil im Vergleich zur Maskenbeatmung ohne Sicherheitsventil Nachteile im Hinblick auf die applizierten Tidalvolumina.

Der dynamischen Veränderung des Ösophagussphincter-Öffnungsdruckes beim Herz-Kreislauf-Stillstand kann durch ein für den Bereich der Laienreanimation entwickeltes Maskenbeatmungssystem mit integrierter Sicherheitsventilvorrichtung zwar nicht in vollem Umfang Rechnung getragen werden. Diese Untersuchung liefert aber Anhaltspunkte dafür, dass ein derartiges System insbesondere beim Einsatz durch weniger geschulte Laienhelfer vorteilhaft sein kann. Die Hauptwirkung wird in dieser Konstellation durch eine Reduktion der Luftinsufflationsmenge in den Magen während der Beatmung vermutet. Dadurch könnte einer Einschränkung der Lungencompliance durch Magenblähung entgegengewirkt werden. Die Einstellung des Sicherheitsventils, die in weiteren Untersuchungen an weiteren homogenen Probandenkollektiven getestet werden könnte, sollte gemäss der Literatur und der hier vorliegenden Ergebnisse zweckmässigerweise in einer Grössenordnung von 15-20mbar (15-20cmH₂O) liegen.

5 Zusammenfassung

In drei Probandengruppen mit unterschiedlichen Vorkenntnissen und Ausbildungsstand in der kardiopulmonalen Reanimation wurde am Phantom eine Beatmungstechnik zur Vermeidung einer Luftinsufflation in den Magen getestet. Das Phantom war hierfür mit Messvorrichtungen zur Bestimmung der Tidalvolumina und der Mageninsufflation ausgestattet. Um eine unterschiedliche Erschlaffung des unteren Ösophagussphincters zu simulieren und ein möglichst breites Spektrum von "best case" bis "worst case" Szenarien zu generieren, war der Beatmungsdruck, der eine Mageninsufflation im Phantom verursacht, in jeder Gruppe auf einen anderen Wert eingestellt worden. Die Probanden führten in einer Simulation der kardiopulmonalen Reanimation mittels Zwei Helfer-Technik in randomisierter Reihenfolge einerseits eine Beatmung unter Anwendung einer Maske mit einem integrierten Sicherheitsventil, andererseits die konventionelle Mund zu Mund-Beatmung durch. Der Öffnungsdruck des Sicherheitsventils war abhängig von der Probandengruppe fest eingestellt. Es wurden drei Szenarien untersucht:

1. weniger ausgebildeter Ersthelfer (Zahnärzte) und sehr niedriger Ösophagussphincter-Öffnungstonus bei sehr hohem Sicherheitsventilöffnungsdruck (worst case scenario)
2. professioneller Ersthelfer (Sanitätspersonal) und hoher Ösophagussphincter-Öffnungstonus bei gleich hohem Sicherheitsventilöffnungsdruck (best case scenario)
3. gut ausgebildeter Ersthelfer (Taucher) und niedriger Ösophagussphincter-Öffnungstonus bei etwas darüberliegendem Sicherheitsventilöffnungsdruck (ein intermediate case scenario)

Es war erwartet worden, dass sich die Beatmungstechnik mit Maske und Sicherheitsventil gegenüber der konventionellen Mund zu Mund-Beatmung bezüglich des applizierten Tidalvolumens während einer simulierten Reanimationssituation nicht im Sinne einer Reduktion dieses Volumens nachteilig auswirkt. Desweiteren war ein protektiver Effekt erwartet worden, der durch eine möglichst einheitliche Vermeidung beziehungsweise Reduktion einer Luftinsufflation in den Magen gekennzeichnet ist.

Die Untersuchung ergab lediglich in einer von drei Probandengruppen geringere Tidalvolumina durch die Anwendung der Maske mit Sicherheitsventil im Vergleich zur Mund zu Mund-Beatmungstechnik. In dieser Gruppe (gut ausgebildete Ersthelfer aus der Berufsgruppe der Taucher) liess sich immerhin auch ein protektiver Effekt im Hinblick auf

die insgesamt während des Tests in den Magen insufflierten Luftvolumina zeigen. In den beiden anderen Gruppen waren beide Verfahren im Hinblick auf die erzielten Tidalvolumina gleichwertig. Durch die Anwendung der Maske mit Sicherheitsventil liess sich allerdings der erwartete protektive Effekt einer Verhinderung von Mageninsufflationen nicht einheitlich demonstrieren. Bei professionellen Ersthelfern (Sanitätspersonal) gelang dies deshalb nicht, da ein hoher Anteil dieser Probanden eine diesbezüglich komplikationsarme konventionelle Beatmungstechnik beherrschte. Die wenig geschulten Ersthelfer (Zahnärzte) kamen mit der konventionellen Technik kaum zurecht. Erst durch die Maskenbeatmung entstand überhaupt die Komplikation einer Mageninsufflation, die durch das Sicherheitsventil dann wieder abgeschwächt wurde. Durch diese Besonderheit konnte gerade bei der Konstellation eines worst case scenario mit kaum ausgebildeten Ersthelfern, massivem Ösophagussphincter-Erschlaffungszustand (bei relativ lange zurückliegendem Herz-Kreislauf-Stillstand ohne Ersthelfermassnahmen) und hoch eingestelltem Sicherheitsventil-Öffnungsdruck durch dieses Hilfsmittel der erwartete protektive Effekt im Hinblick auf eine Mageninsufflation gezeigt werden; allerdings ergaben sich durch die Anwendung der Kombination Maske-Sicherheitsventil im Vergleich zur Maskenbeatmung ohne Sicherheitsventil Nachteile im Hinblick auf die applizierten Tidalvolumina.

Der dynamischen Veränderung des Ösophagussphincter-Öffnungsdruckes beim Herz-Kreislauf-Stillstand kann durch ein für den Bereich der Laienreanimation entwickeltes Maskenbeatmungssystem mit integrierter Sicherheitsventilvorrichtung zwar nicht in vollem Umfang Rechnung getragen werden. Diese Untersuchung liefert aber Anhaltspunkte dafür, dass ein derartiges System insbesondere beim Einsatz durch weniger geschulte Laienhelfer vorteilhaft sein kann. Die Hauptwirkung wird in dieser Konstellation durch eine Reduktion der Luftinsufflationsmenge in den Magen während der Beatmung vermutet. Dadurch könnte einer Einschränkung der Lungencompliance durch Magenblähung entgegengewirkt werden. Weitere Untersuchungen an grösseren homogenen Probandenkollektiven zur Klärung dieser Sachverhalte sind sinnvoll. Hierfür wird eine Einstellung des Öffnungsdruckes des Sicherheitsventils in Grössenordnungen zwischen 15-20mbar (15-20cmH₂O) empfohlen.

6 Literaturverzeichnis

1. American Heart Association in collaboration with the International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR). Guidelines 2000 for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care — An international consensus on science. Resuscitation 2000; 46:1–447.
2. Baskett P, Nolan J, Parr M. Tidal volumes which are perceived to be adequate for resuscitation. Resuscitation 31: 231–234(1996)
3. Bowman FP, Menegazzi JJ, Check BD, Duckett TM. Lower esophageal sphincter pressure during prolonged cardiac arrest and resuscitation. Ann Emerg Med 26: 216-219 (1995)
4. Bundesärztekammer (Hrsg.): Reanimation - Empfehlungen für die Wiederbelebung. Bearbeitet vom Deutschen Beirat für Erste Hilfe und Wiederbelebung; 2. neu bearbeitete Auflage, Deutscher Ärzte-Verlag Köln, S. 15-27 (2000)
5. Clark JJ, Larsen MP, Culley LL, Graves JR, Eisenberg MS. Incidence of agonal respirations in sudden cardiac arrest. Ann Emerg Med 21: 1464-1467 (1992)
6. Davis K, Jr., Johannigman JA, Johnson RC, Jr., Branson RD. Lung compliance during cardiac arrest. Acad Emerg Med 2: 874-878 (1995)
7. Dick WF, Brambrink AM, Kern P. Kardiopulmonale Reanimation „oben ohne“? Soll die Herz-Lungenwiederbelebung künftig ohne Beatmung erfolgen? Anaesthesist 48: 290–300 (1999)
8. Dirks B (Übersetzung). Leitlinien des European Resuscitation Council 2000 für lebensrettende Sofortmaßnahmen beim Erwachsenen Stellungnahme der Basic Life Support and Automated External Defibrillation Working Group nach Verabschiedung durch das Executive Committee des European Resuscitation Council. Anaesthesist 51: 293–298 (2002)

9. Döriges V, Ocker H, Hagelberg S, Wenzel V, Idris AH, Schmucker P. Smaller tidal volumes with room-air are not sufficient to ensure adequate oxygenation during basic life support. *Resuscitation* 44: 37-41 (2000)
10. Döriges V, Sauer C, Ocker H, Wenzel V, Schmucker P. Smaller tidal volumes during cardiopulmonary resuscitation: comparison of adult and paediatric self-inflatable bags with three different ventilatory devices. *Resuscitation* 43: 31–37 (1999)
11. Döriges V, Wenzel V. Ventilation zur kardiopulmonalen Reanimation. *Intensivmed* 38: 576–589 (2001)
12. Elam JO, Brown ES, Elder JD. Artificial respiration by the mouth to mouth method. A study of the respiratory gas exchange in paralysed patients ventilated by the operator's expired air. *New Engl J Med* 150: 749-753 (1954)
13. Handley AJ, Monsieurs KG, Bossaert LL. European Resuscitation Council Guidelines 2000 for Adult Basic Life Support. A statement from the Basic Life Support and Automated External Defibrillation Working Group and approved by the Executive Committee of the European Resuscitation Council. *Resuscitation* 48: 199–205 (2001)
14. Van Herwaarden MA, Samsom M, Akkermans LMA, Smout AJPM. Prolonged recording of oesophageal and lower oesophageal sphincter pressure using a portable water-perfused manometric system. *Neurogastroenterol Mot* 13: 111-119 (2001)
15. Idris AH. Reassessing the need for ventilation during CPR. *Ann Emerg Med* 27: 569–575 (1996)
16. Johannigman JA, Branson RD, Davis K, Hurst JM. Techniques of emergency ventilation: a model to evaluate tidal volume, airway pressure, and gastric inflation. *J Trauma* 31: 93-98 (1991)
17. Lawes EG, Baskett PJF. Pulmonary aspiration during unsuccessful cardiopulmonary resuscitation. *Intens Care Med* 13: 379-382 (1987)

18. Morton HJV, Wylie WD. Anaesthetic deaths due to regurgitation or vomiting. *Anaesthesia* 6:192-205 (1951)
19. Noc M, Weil MH, Sun S, Tang W, Bisera J. Spontaneous gasping during cardiopulmonary resuscitation without mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med*. 150: 861-864 (1994)
20. Ruben H, Knudsen EJ, Carugati G. Gastric inflation in relation to airway pressure. *Acta Anaesthesiol Scand* 5: 107-114 (1961)
21. Safar P, Auguto Escarrago L, Elam JO. Comparison of the mouth to mouth and mouth to airway methods of artificial respiration with the chest – pressure arm lift methods. *New Engl J Med* 258: 671-675 (1958)
22. Safar P. Ventilatory efficacy of mouth-to-mouth artificial respiration. *JAMA* 167: 335-341 (1958)
23. Safar P, Bircher N, Pretto E, Berkebile P, Tisherman SA, Matrimon D, Klain M, Kochanek PM. Reappraisal of mouth to mouth ventilation: Letter to the Editor. *Ann Emerg Med* 31: 653–654 (1998)
24. Spence AA, Moir DD, Finlay WIE. Observations on intragastric pressure. *Anaesthesia* 22: 249-256 (1967)
25. Stallinger A, Wenzel V, Oroszy S, Mayr VD, Idris AH, Lindner KH, Hormann C. The effects of different mouth-to-mouth ventilation tidal volumes on gas exchange during simulated rescue breathing. *Anesth Analg* 93:1265-1269 (2001)
26. Stallinger A, Wenzel V, Wagner-Berger H, Schäfer A, Voelckel WG, Augenstein S, Dörger V, Idris AH, Lindner KH, Hörmann C. Effects of decreasing inspiratory flow rate during simulated basic life support ventilation of a cardiac arrest patient on lung and stomach tidal volumes. *Resuscitation* 54: 167-173 (2002)

27. Statistisches Bundesamt: Todesursachen 2001 Deutschland; Statistisches Bundesamt Pressestelle. Pressemitteilung vom 13.01.2003
28. Thomas AN, O'Sullivan K, Hyatt J, Barker SJ. A comparison of bag mask and mouth mask ventilation in anaesthetised patients. *Resuscitation* 26: 13-21 (1993)
29. Wagner-Berger HG, Wenzel V, Stallinger A, Voelckel WG, Rheinberger K, Augenstein S, Herff H, Idris AH, Dörge V, Lindner KH, Hörmann C. Optimizing bag-valve-mask ventilation with a new mouth-to-bag resuscitator. *Resuscitation* 56: 191-198 (2003)
30. Weiler N, Heinrichs W, Dick W. Assessment of pulmonary mechanics and gastric inflation pressure during mask ventilation. *Prehosp Disaster Med* 10: 101-105 (1995)
31. Wenzel V, Idris AH, Banner MJ, Kubilis PS, Williams JL. The influence of tidal volume on the distribution of gas between the lungs and stomach in the unintubated patient receiving positive pressure ventilation. *Crit Care Med* 26: 364-368 (1998)
32. Wenzel V, Idris AH, Banner MJ, Kubilis PS, Band R, Williams Jr. JL, Lindner KH
Respiratory system compliance decreases after cardiopulmonary resuscitation and stomach inflation: impact of large and small tidal volumes on calculated peak airway pressure. *Resuscitation* 38: 113–118 (1998)
33. Wenzel V, Keller C, Idris AH, Dörge V, Lindner KH, Brimacombe JR. Effects of smaller tidal volumes during basic life support ventilation in patients with respiratory arrest: good ventilation, less risk? *Resuscitation* 43: 25-29 (1999)

7 Danksagung

Zuerst möchte ich Herrn Prof. Dr. Manfred Weiß für die stets hilfreiche und zügige Unterstützung bei der Erstellung dieser Dissertation danken.

Frau Prof. Dr. H. Wiedeck danke ich dafür, dass sie die Messungen von Compliance und Resistance des Phantomaufbaus auf der Intensivstation 3. West am Safranberg ermöglicht hat.

Ganz besonderer Dank gilt auch Herrn Dr. Rainer Muche für die Erstellung der Randomisierungslisten und die Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Daten.

Allen freiwilligen Probanden danke ich für ihre freundliche und engagierte Unterstützung bei der Durchführung der Experimente.

Insbesondere möchte ich auch meiner Familie und meinen Freunden danken, die immer ein offenes Ohr hatten und mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite standen.