

Diplomarbeit

**Praktikabilität der Beatmung von pädiatrischen
Notfallpatienten in der Prälinik**

**Evaluierung der auf Grazer Notfalleinsatzmitteln
eingesetzten Notfallrespiratoren und Beatmungshilfen
bei Neugeborenen, Säuglingen und Kleinkindern**

eingereicht von

Hanna Kilbertus

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Abteilung für Neonatologie,

Universitätsklinik für Kinder- und Jugendheilkunde

unter der Anleitung von

Dr. med. univ. Bernhard Schwabegger

Univ.-Prof. Dr. med. univ. Berndt Urlesberger

Graz, am 21.10.2014

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 21.10.2014

Hanna Kilbertus eh.

Gleichheitsgrundsatz

Um einen guten Lesefluss aufrecht zu erhalten und diesen durch die ständige Nennung beider Geschlechter nicht zu stören, wird entweder eine geschlechtsneutrale Formulierung verwendet oder es wird nur eines der beiden Geschlechter angegeben. Im letzteren Fall sind selbstverständlich beide Geschlechter gleichbedeutend gemeint.

Vorwort

Ein Medizinstudium abzuschließen, bedeutet, dass man in sein Arbeitsleben entlassen wird und selbstverantwortlich am Patienten Gelerntes nach bestem Wissen und Gewissen praktizieren soll.

Im Laufe meines Studiums durfte ich in jegliche Fächer der Medizin eintauchen und die Bandbreite des ärztlichen Berufes kennen lernen.

Hierbei gibt es Themen, die mich brennend interessieren, und welche, die zwar wichtig für das Gesamtverständnis der Medizin sind, von denen ich mir allerdings nicht vorstellen kann, mich in meinem zukünftigen Berufsleben intensiver damit zu beschäftigen.

Eine meiner großen Interessen während meines Studiums galt der Notfallmedizin. In zahlreichen Ausbildungen, Fortbildungen und vertiefenden Seminaren setzte ich mich ausführlich mit diesem kleinen Themenbereich der Medizin auseinander und versuchte mein Wissen auch hierdurch in alle Richtungen zu erweitern.

Aus diesem Interesse heraus entstand das Thema meiner Diplomarbeit. Sie beschäftigt sich zwar nur mit einem kleinen Teil der Notfallmedizin, welcher allerdings von großer Bedeutung sein kann, wenn man einen kleinen Patienten vor sich hat, welcher dringend Hilfe benötigt. Die suffiziente Beatmung eines solchen kleinen Patienten ist in der Präklinik eine große Herausforderung. Daher wollte ich mein Wissen durch diese Diplomarbeit dies betreffend erweitern und stärken.

Auch wenn ich noch nicht weiß, in welche Richtung ich mich in meiner beruflichen, medizinischen Zukunft spezialisieren möchte, habe ich im Laufe meiner notfallmedizinischen Ausbildung sehr viel gelernt. Nicht nur das praktische und theoretische Wissen wird mir hoffentlich auch zukünftig weiterhelfen, sondern auch die Vertrautheit im Umgang mit dem Patienten wird mir den Einstieg in mein Berufsleben erleichtern.

Danksagungen

Mein Dank gilt all jenen, die mich bei der Erstellung dieser Diplomarbeit unterstützt, mich motiviert und stets ermutigt haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn *Dr. med. univ. Bernhard Schwabegger* für die Betreuung meiner Diplomarbeit, die tatkräftige Unterstützung bei den Versuchsaufbauten, die Beantwortung aller meiner Fragen, die Hilfe bei jeglichen Problemen, alle guten Ratschläge, Anregungen und das Fachwissen, welches er mir im Laufe dieser Diplomarbeit mitgegeben hat.

Ebenso möchte ich mich bei Herrn *Univ.-Prof. Dr. med. univ. Berndt Urlesberger* herzlich für die Betreuung meiner Diplomarbeit, seine Ratschläge, Korrekturen und seine Unterstützung bedanken.

Außerdem gebührt mein Dank dem *Mediziner corps* Graz und der Klinischen Abteilung für Neonatologie des Landeskrankenhaus-Universitätsklinikum Graz für die Bereitstellung der benötigten Geräte zur Durchführung aller Messungen.

Bedanken möchte ich mich auch bei allen freiwilligen Probanden für ihre Zeit und ihr Engagement bei der Teilnahme an der Studie.

Zu guter Letzt möchte ich meiner gesamten Familie danken. Ohne ihre großzügige Unterstützung hätte ich mein Studium und meine Studentenzeit nicht in dieser wunderbaren Art erleben können. Danken möchte ich meinen Eltern nicht nur für ihre finanzielle Unterstützung, sondern auch für ihre Geduld, ihre Motivation und ihre Hilfe in allen Lagen meines Lebens.

Zusammenfassung

Einleitung: Pädiatrische Notfälle sind in der Präklinik gefürchtete Notfallszenarien. Nicht nur die Seltenheit dieser Einsätze, sondern auch Unterschiede der Anatomie und Pathophysiologie von Kindern und Erwachsenen führen zu Unsicherheit und vermehrtem Einsatzstress bei Notärzten.

Da nur eine Minderheit der präklinischen, pädiatrischen Notfallpatienten eine Beatmung benötigt und diese für Notärzte oft schwierig erscheint, war es Ziel dieser Diplomarbeit, Hilfsmittel und Notfallrespiratoren, welche auf Grazer Notfalleinsatzmitteln mitgeführt werden, zu evaluieren und deren sicheren Einsatz am kindlichen Patienten zu überprüfen.

Methodik: Es wurde die Praktikabilität und Zweckmäßigkeit der zur Beatmung pädiatrischer Notfallpatienten mitgeführten Hilfsmittel anhand einer systematischen Literaturrecherche evaluiert.

Im Weiteren wurde ein Versuchsaufbau entworfen, mit welchem sowohl der *Oxylog 3000* (Dräger, Lübeck, Deutschland) als auch der *Oxylog 2000* (Dräger, Lübeck, Deutschland) hinsichtlich der Abgabegenauigkeit von Tidalvolumina getestet wurde.

Zur Evaluierung der Durchführung einer Beutel-Masken-Beatmung wurden für einen experimentellen Versuch 40 freiwillige Probanden aus medizinischen Berufsgruppen rekrutiert.

Ergebnisse: Trotz wenigen Daten zeigte die Literaturrecherche, dass Hilfsmittel zur Beatmung, die beim Erwachsenen routinemäßig eingesetzt werden, auch bei Kindern Verwendung finden.

Die Versuche mit dem *Oxylog 2000* und *Oxylog 3000* zeigten beträchtliche Abweichungen zwischen voreingestellten und abgegebenen Tidalvolumina. Die Frequenzeinstellung und die Größe der nachgeschalteten Compliance nehmen Einfluss auf das abgegebene Tidalvolumen; die Größe der nachgeschalteten Resistance hat keinen Einfluss.

Schuh- und Handgröße der Probanden korrelieren bei einer Beutel-Masken Beatmung nicht mit dem applizierten Tidalvolumen und dem gemessenen Maskenleck. Das mittlere abgegebene Tidalvolumen mit Zwei- bzw. Fünf-Fingertechnik zeigte keinen signifikanten Unterschied; das mittlere Maskenleck war allerdings bei einer Fünf-Fingertechnik signifikant höher.. Zwischen Notfall-

bzw. Rettungssanitätern und diplomierten Kinderkrankenschwestern bestehen bei der Beutel-Masken-Beatmung hinsichtlich der abgegebenen Tidalvolumina und des Maskenlecks keine signifikanten Unterschiede; Notfall- und Rettungssanitäter führen allerdings die Beatmung mit einer signifikant niedrigeren Frequenz durch.

Diskussion: Hilfsmittel zur Beatmung pädiatrischer Notfallpatienten werden trotz niedriger Evidenz in der Präklinik eingesetzt.

Die Abgabegenauigkeit des *Oxylog 3000* ist im Vergleich zum *Oxylog 2000*, exakter, dennoch darf die Beatmung von kleinen Notfallpatienten mit beiden Notfallrespiratoren nur mit größter Vorsicht erfolgen, um Hypoventilation oder Volutrauma zu verhindern.

Eine adäquate Beutel-Masken-Beatmung ist sowohl mit Zwei- als auch mit Fünf-Fingertechnik möglich und ist unabhängig von anthropometrischen Größen des Beatmenden.

Abstract

Feasibility of the ventilation of paediatric patients in out-of hospital emergencies

Introduction: Paediatric emergencies represent feared out-of hospital sceneries. Infrequency of such emergencies and differences in anatomy and pathophysiology of children and adults, lead to higher stress levels in emergency physicians. Although only a minority of paediatric patients need respiratory support, sufficient ventilation must be provided.

Aim of this thesis is to evaluate emergency respirators and devices for ventilation, which are commonly used on emergency ambulances in Graz, for children.

Methods: A systematic review was performed to evaluate the feasibility of certain devices for out-of hospital ventilation of paediatric patients.

Additionally two respirators – *Oxylog 3000* (*Dräger*, Lübeck, Deutschland) and *Oxylog 2000* (*Dräger*, Lübeck, Deutschland) – were tested.

Further more 40 health care providers performed bag-valve-mask ventilation on a neonatal mannequin for analysing two different ventilation techniques.

Results: Although there is a lack of evidence most devices for ventilation that are routinely used for adults, can also be used for children.

There are considerable differences – regarding *Oxylog 2000* and *Oxylog 3000* – in adjusted and effective delivered tidal volumes. Ventilation frequency and compliance take influence on delivered tidal volumes; resistance doesn't.

There is whether correlation of the shoe size and the delivered tidal volume, nor of the shoe size and the mask leak during bag-valve-mask ventilation. Likewise we couldn't find differences in mean delivered tidal volumes while using two different techniques for ventilation. Indeed the mean mask leak was significantly higher using five-finger technique than using two-finger technique. Regarding the delivered tidal volumes and the mask leak no differences between the ventilation of paramedics and paediatric nurses could be identified. Certainly paramedics used significantly lower frequencies than paediatric nurses did.

Discussion: Devices for ventilation can also be used for paediatric patients, although there is a lack of evidence.

Accuracy of delivered tidal volumes is more precise with the respirator *Oxylog 3000* than with the *Oxylog 2000*. Nevertheless both respirators should be used with caution to avoid hypoventilation and volutrauma during ventilation of children. Adequate ventilation is feasible with both tested techniques and independent of shoe size or hand size.

Inhaltsverzeichnis

<u>VORWORT</u>	III
<u>DANKSAGUNGEN</u>	IV
<u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	V
<u>ABSTRACT</u>	VII
<u>INHALTSVERZEICHNIS</u>	V
<u>ABKÜRZUNGEN</u>	XI
<u>VERWENDETE GERÄTE, PROGRAMME UND UTENSILIEN</u>	XII
<u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</u>	XIII
<u>TABELLENVERZEICHNIS</u>	XIV
<u>1 EINLEITUNG</u>	16
1.1 FRAGESTELLUNG	19
1.2 MITGEFÜHRTE HILFSMITTEL ZUR BEATMUNG AUF GRAZER NOTFALLEINSATZMITTELN..	21
<u>2 MATERIAL UND METHODEN</u>	22
2.1 LITERATURSUCHE.....	22
2.1.1 SUCHSTRATEGIE	22
2.1.2 AUSWAHL UND VERWALTUNG DER LITERATUR.....	22
2.2 VERSUCHSAUFBAU.....	23
2.2.1 IMITATION VERSCHIEDENER WERTE FÜR RESISTANCE UND COMPLIANCE	23
2.2.2 VERSUCHSAUFBAU <i>OXYLOG 3000</i>	26
2.2.3 VERSUCHSAUFBAU <i>OXYLOG 2000</i>	28
2.2.4 VERSUCHSAUFBAU BEUTEL-MASKEN-BEATMUNG.....	29
<u>3 ERGEBNISSE – RESULTATE</u>	33
3.1 ERGEBNISSE DER LITERATURRECHERCHE	33
3.1.1 INVASIVITÄTSSTUFEN DER BEATMUNG	34
3.1.2 BEUTEL-MASKEN-BEATMUNG.....	35
3.1.3 ENDOTRACHEALE INTUBATION.....	39
3.1.4 EXTRAGLOTTISCHE ATEMWEGSHILFEN	42

3.2	ERGEBNISSE – VERSUCHSAUFBAU OXYLOG 3000	43
3.2.1	ABHÄNGIGKEIT DES ABGEBENEN TIDALVOLUMENS VON DER FREQUENZ.....	45
3.2.2	ABHÄNGIGKEIT DES ABGEBENEN TIDALVOLUMENS VON DER COMPLIANCE.....	45
3.2.3	ABHÄNGIGKEIT DES ABGEBENEN TIDALVOLUMENS VON DER RESISTANCE	46
3.3	ERGEBNISSE – VERSUCHSAUFBAU OXYLOG 2000	46
3.3.1	ABHÄNGIGKEIT DES ABGEBENEN TIDALVOLUMENS VON DER FREQUENZ.....	47
3.3.2	ABHÄNGIGKEIT DES ABGEBENEN TIDALVOLUMENS VON DER COMPLIANCE.....	48
3.3.3	ABHÄNGIGKEIT DES ABGEBENEN TIDALVOLUMENS VON DER RESISTANCE	48
3.4	ERGEBNISSE – VERSUCHSAUFBAU BEUTEL-MASKEN-BEATMUNG	49
3.4.1	HYPOTHESE 1	49
3.4.2	HYPOTHESE 2A	50
3.4.3	HYPOTHESE 2B	52
3.4.4	HYPOTHESE 3A	53
3.4.5	HYPOTHESE 3B	54
3.4.6	HYPOTHESE 4	55
4	<u>DISKUSSION</u>	56
4.1	DISKUSSION DER FRAGESTELLUNG	56
4.2	DISKUSSION DER METHODIK	57
4.2.1	LITERATURRECHERCHE	57
4.2.2	VERSUCHSAUFBAU OXYLOG 3000/2000	57
4.2.3	VERSUCHSAUFBAU BEUTEL-MASKEN-BEATMUNG.....	59
4.3	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	60
4.3.1	ERGEBNISSE DER LITERATURRECHERCHE.....	60
4.3.2	VERSUCHSAUFBAU OXYLOG 3000.....	64
4.3.3	VERSUCHSAUFBAU OXYLOG 2000	67
4.3.4	VERSUCHSAUFBAU BEUTEL-MASKEN-BEATMUNG.....	69
5	<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	73
6	<u>ANHANG</u>	77

Abkürzungen

Die Auflistung erfolgt in alphabetischer Reihenfolge.

DKKS	Diplomierte Kinderkrankenschwester
ERC	European Resuscitation Council
f	Beatmungsfrequenz
GA	Gestationsalter
ID	Innendurchmesser eines Endotrachealtubus
I:E	Verhältnis von Inspiration zu Expiration
IPPV	intermittent positive pressure ventilation
kg	Kilogramm
KG	Körpergewicht
mbar	Millibar
mbar/l/s	Millibar/Liter/Sekunde
ml	Milliliter
ml/mbar	Milliliter/Millibar
mmHg.....	Millimeter Quecksilbersäule
NEF	Notfalleinsatzfahrzeug
NEM	Notfalleinsatzmittel
NFW	Notfallwagen
NIV	Nicht-invasive Beatmung
pCO ₂	Partialdruck von Kohlendioxid im Blut
P _{insp}	Inspiratorischer Druck
PEEP	post endexpiratory pressure
SD	Standardabweichung
SpO ₂	arterielle Sauerstoffsättigung
VT	Tidalvolumen/Tidalvolumina

Verwendete Geräte, Programme und Utensilien

Die Auflistung erfolgt in alphabetischer Reihenfolge:

- ***α-Trace Digital MM*** (*Best Medical Systems*, Wien, Österreich) – Multi-Channel System
- ***Ambu Baby R*** (*Ambu*, Ballerup, Dänemark) – Beatmungsbeutel
- ***Babylog 8000 plus*** (*Dräger*, Lübeck, Deutschland) – Respirator
- ***CPR Resusci Baby*** (*Laerdal Medical*, Stavanger, Norwegen) – Säuglingsphantom
- ***Dräger 0,5 Liter*** (*Dräger*, Lübeck, Deutschland) – Testlunge
- ***Dräger 2 Liter*** (*Dräger*, Lübeck, Deutschland) – Testlunge
- ***Endnote*** (*Thomson Reuters*, Philadelphia, U.S.A.) – Literaturverwaltungsprogramm
- ***Excel*** (*Microsoft*, Redmond, U.S.A.) – Datenverwaltungsprogramm
- ***Florian Respiratory Function Monitor*** (*ACUTRONIC Medical Systems*, Hirzel, Schweiz) - Respiratory Function Monitor
- ***Google Scholar*** (*Google*, Mountain View, U.S.A.) – Online-Datenbank
- ***Laerdal Silikonmaske rund Größe 0/1*** (*Laerdal Medical*, Stavanger, Norwegen) – Beatmungsmaske
- ***PubMed*** (*U.S. National Library of Medicine*, Bethesda, U.S.A.) – Online-Datenbank
- ***Oxylog 2000*** (*Dräger*, Lübeck, Deutschland) – Notfallrespirator
- ***Oxylog 3000*** (*Dräger*, Lübeck, Deutschland) – Notfallrespirator
- ***VBM 0,5 Liter*** (*VBM Medizintechnik*, Sulz am Neckar, Deutschland) – Testlunge

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: EINSATZSZENARIEN, WELCHE FÜR NOTÄRZTE BESONDERS HOHE EMOTIONALE BELASTUNG BEZIEHUNGSWEISE ÜBERFORDERUNG BEDEUTEN (5) . 17	
ABBILDUNG 2: ANATOMISCHE BESONDERHEITEN DES OBEREN ATEMWEGES BEIM KIND (ABRUFBAR VON HTTP://SLIDEPLAYER.DE , ZUGRIFF AM 21.09.2014)	18
ABBILDUNG 3: INTERPONATE AUS GEKÜRZTEN ENDOTRACHEALTUBEN IN DEN GRÖßEN ID 2,5 – 3,0 – 3,5 – 4,0 – 4,5 – 5,0 – 5,5 – 6,0 – 6,5 – 7,0 – 7,5 – 8,0 – 8,5 MM.....	25
ABBILDUNG 4: DER NOTFALLRESPIRATOR OXYLOG 3000 (DRÄGER, LÜBECK, DEUTSCHLAND).....	26
ABBILDUNG 5: VERSUCHSAUFBAU (VON LINKS NACH RECHTS): OXYLOG 3000-BEATMUNGSSCHLAUCH, FLOWSENSOR, INTERPONAT AUS ADAPTIERTEN ENDOTRACHEALTUBEN, TESTLUNGE VBM 0,5 LITER	28
ABBILDUNG 6: DER NOTFALLRESPIRATOR OXYLOG 2000 (DRÄGER, LÜBECK, DEUTSCHLAND) (12)	28
ABBILDUNG 7: METHODE ZUR VERMESSUNG DER HANDGRÖßE BEI NICHTWISSEN DER CHIRURGISCHEN HANDSCHUHGRÖßE	32
ABBILDUNG 8: ÜBERSICHT ÜBER ALLE GEFUNDENEN REFERENZEN: ANZAHL DER INKLUDIERTEN UND EXKLUDIERTEN PUBLIKATIONEN	33
ABBILDUNG 9: INVASIVITÄTSSTUFEN DER BEATMUNG (6)	35
ABBILDUNG 10: MEDIAN, ERSTES UND DRITTES QUARTIL, MAXIMAL- UND MINIMALWERT DER ABGEGEBENEN VT VOM OXYLOG 3000 BEI VARIABLER FREQUENZ, RESISTANCE UND COMPLIANCE IN EINEM BOXPLOT-DIAGRAMM; DIE VOREINGESTELLTEN VT WERDEN GRAPHISCH DURCH EINE LINIE VERDEUTLICHT	44
ABBILDUNG 11: KORRELATION ZWISCHEN DER CHIRURGISCHEN HANDSCHUHGRÖßE UND DER EUROPÄISCHEN SCHUHGRÖßE	49
ABBILDUNG 12: KORRELATION ZWISCHEN DER HANDABMESSUNG IN CM UND DER EUROPÄISCHEN SCHUHGRÖßE	50
ABBILDUNG 13: KORRELATION ZWISCHEN DEM ABGEGEBENEN VT MITTELS ZWEI-FINGERTECHNIK UND DER SCHUHGRÖßE	51
ABBILDUNG 14: KORRELATION ZWISCHEN DEM ABGEGEBENEN VT MITTELS FÜNF-FINGERTECHNIK UND DER SCHUHGRÖßE	51
ABBILDUNG 15: BALKENDIAGRAMM DER DIFFERENZEN ZWISCHEN DEM ABGEGEBENEN VT MITTELS FÜNF-FINGERTECHNIK (VT_{5F}) UND DEM ABGEGEBENEN VT MITTELS ZWEI-FINGERTECHNIK (VT_{2F}) DARGESTELLT FÜR JEDEN EINZELNEN PROBANDEN. DER LETZTE RECHTE BALKEN ZEIGT DEN MITTELWERT ALLER DIFFERENZEN.	52
ABBILDUNG 16: KORRELATION ZWISCHEN DEM MASKENLECK IN % BEI DURCHGEFÜHRTER ZWEI-FINGERTECHNIK UND DER SCHUHGRÖßE	53
ABBILDUNG 17: KORRELATION ZWISCHEN DEM MASKENLECK IN % BEI DURCHGEFÜHRTER ZWEI-FINGERTECHNIK UND DER SCHUHGRÖßE	54

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: AUF DEN GRAZER NOTFALLEINSATZMITTELN MITGEFÜHRTE UND IN DIESER ARBEIT EVALUIERTE HILFSMITTEL ZUR BEATMUNG VON PÄDIATRISCHEN NOTFALLPATIENTEN (DIE EINGESETZTEN NOTFALLRESPIRATOREN WERDEN AN DIESER STELLE NICHT AUFGEFÜHRT)	21
TABELLE 2: NORMALWERTE FÜR DIE LUNGENCOMPLIANCE IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ENTWICKLUNGSSTUFE (1,5 ML/MBAR/KG KÖRPERGEWICHT) (11)	24
TABELLE 3: NORMALWERTE FÜR DEN ATEMWEGSWIDERSTAND (RESISTANCE) IN DER LUNGE IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ENTWICKLUNGSSTUFE (11)	25
TABELLE 4: MITTELWERTE DER RESISTANCE IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN TESTLUNGEN UND DEN INTERPONIERTEN ENDOTRACHEALTUBEN	26
TABELLE 5: ANZAHL DER DURCH DIE LITERATURRECHERCHE GEFUNDENEN REFERENZEN FÜR DIE EINZELNEN KAPITELN	34
TABELLE 6: DIE AUF GRAZER NOTFALLEINSATZMITTELN MITGEFÜHRTEN BEATMUNGSBEUTEL MIT ANGABE DES ZUGELASSENEN PATIENTENGEWICHTES UND DES MAXIMALEN TIDALVOLUMENS (VT)	37
TABELLE 7: RICHTLINIEN FÜR DIE EMPFOHLENE TUBUSGRÖßEN – SOWOHL FÜR GEBLOCKTE TUBEN, ALS AUCH UNGEBLOCKTE TUBEN – FÜR DIE EINZELNEN ALTERSKLASSEN BEI KINDERN (3)	42
TABELLE 8: RICHTLINIEN FÜR DIE EMPFOHLENE EINFÜHRTIEFE EINES ENDOTRACHEALTUBUS BEI ORALER UND NASALER INTUBATION BEIM KIND (3)	42
TABELLE 9: MITTELWERTE, STANDARDABWEICHUNG, MAXIMAL- UND MINIMALWERTE ABGEBENER VT VOM OXYLOG 3000 BEI VARIABLER FREQUENZ, RESISTANCE UND COMPLIANCE – ALLE WERTE IN ML	44
TABELLE 10: MITTELWERTE ± STANDARDABWEICHUNGEN DER ABGEBENEN VT VOM OXYLOG 3000 IN BEZUG AUF VOREINGESTELLTE VT UND VOREINGESTELLTE FREQUENZ BEI VARIABLER COMPLIANCE UND RESISTANCE – ALLE WERTE IN ML	45
TABELLE 11: MITTELWERTE ± STANDARDABWEICHUNGEN DER ABGEBENEN VT VOM OXYLOG 3000 IN BEZUG AUF VOREINGESTELLTE VT UND COMPLIANCE BEI VARIABLER FREQUENZ UND RESISTANCE – ALLE WERTE IN ML	46
TABELLE 12: MITTELWERTE ± STANDARDABWEICHUNGEN DER ABGEBENEN VT VOM OXYLOG 3000 IN BEZUG AUF VOREINGESTELLTE VT UND RESISTANCE BEI VARIABLER FREQUENZ UND COMPLIANCE – ALLE WERTE IN ML	46
TABELLE 13: MITTELWERTE, STANDARDABWEICHUNG, MAXIMAL- UND MINIMALWERTE ABGEBENER VT VOM OXYLOG 2000 BEI VARIABLER FREQUENZ, RESISTANCE UND COMPLIANCE – ALLE WERTE IN ML	47
TABELLE 14: MITTELWERTE ± STANDARDABWEICHUNGEN DER ABGEBENEN VT VOM OXYLOG 2000 IN BEZUG AUF VOREINGESTELLTES VT UND VOREINGESTELLTE FREQUENZ BEI VARIABLER COMPLIANCE UND RESISTANCE – ALLE WERTE IN ML	47

TABELLE 15: MITTELWERTE ± STANDARDABWEICHUNGEN DER ABGEBENEN VT VOM OXYLOG 2000 IN BEZUG AUF VOREINGESTELLTES VT UND COMPLIANCE BEI VARIABLEN FREQUENZ UND RESISTANCE – ALLE WERTE IN ML	48
TABELLE 16: MITTELWERTE ± STANDARDABWEICHUNGEN DER ABGEBENEN VT VOM OXYLOG 2000 IN BEZUG AUF VOREINGESTELLTES VT UND RESISTANCE BEI VARIABLEN FREQUENZ UND COMPLIANCE – ALLE WERTE IN ML	48
TABELLE 17: <i>BEISPIEL 1</i> - MITTELWERTE ± STANDARDABWEICHUNGEN DER ABGEBENEN VT VOM OXYLOG 3000 IN BEZUG AUF VOREINGESTELLTE VT UND VOREINGESTELLTE FREQUENZ BEI VARIABLEN COMPLIANCE UND RESISTANCE – ALLE WERTE IN ML	66
TABELLE 18: <i>BEISPIEL 2</i> - MITTELWERTE ± STANDARDABWEICHUNGEN DER ABGEBENEN VT VOM OXYLOG 3000 IN BEZUG AUF VOREINGESTELLTE VT UND VOREINGESTELLTE FREQUENZ BEI VARIABLEN COMPLIANCE UND RESISTANCE – ALLE WERTE IN ML	67

1 Einleitung

Notfälle mit pädiatrischen Patienten zählen in der Präklinik zu einem seltenen Ereignis. Eine in Deutschland über einen Zeitraum von acht Jahren durchgeführte Studie zeigte, dass nur 6,3% der prähospitalen Einsätze zu den pädiatrischen Notfällen zu zählen waren. Hiervon benötigten nur 10% der Patienten eine endotracheale Intubation (1).

Eine andere Studie zeigte, dass – obwohl der Anteil an Kinder unter 14 Jahren in der deutschen Bevölkerung 15% beträgt – nur 5-10% der Rettungseinsätze pädiatrische Notfallpatienten betreffen (2). Aufgrund der Seltenheit von pädiatrischen Notfällen haben Notärzte Angst vor diesen Einsätzen (3).

Nicht nur die spezifischen manuellen und logistischen Probleme werden von Notärzten gefürchtet, sondern auch die Situation mit Kind und Eltern, aus welcher sich oft eine komplizierte Dreiecksbeziehung entwickelt und somit die Kommunikation verkompliziert wird. Ein weiteres Problem ist die mangelnde Kommunikationsfähigkeit der kleinen Patienten, welche sich noch dazu in einer physischen und psychischen Ausnahmesituation befinden (2).

Hinzu kommt zusätzlich, dass bei pädiatrischen Patienten der unterschiedlichen Altersklassen sehr große Unterschiede bestehen. Dies ist entwicklungsphysiologisch bedingt und umso mehr ausgeprägt, umso kleiner die Kinder sind (4).

In einer weiteren Studie aus Deutschland wurden Notärzte befragt, welche Einsatzszenarien sie im Notarzteinsatz am meisten fürchten. Mehrfachnennungen waren hierbei möglich. 84% der Befragten gaben an, vor pädiatrischen Notfällen großen Respekt zu haben (**Abbildung 1**). Ebenso trugen geburtshilfliche Notfällen mit 18% einen bemerkenswerten Anteil (5). Wenn man bedenkt, dass geburtshilfliche Notfälle mit dem zu versorgenden Neugeborenen häufig auch einen pädiatrischen Notfall beinhalten, zeigt diese Studie, dass ein Großteil der Notärzte Einsätze mit Neugeborenen, Säuglingen oder Kindern fürchten.

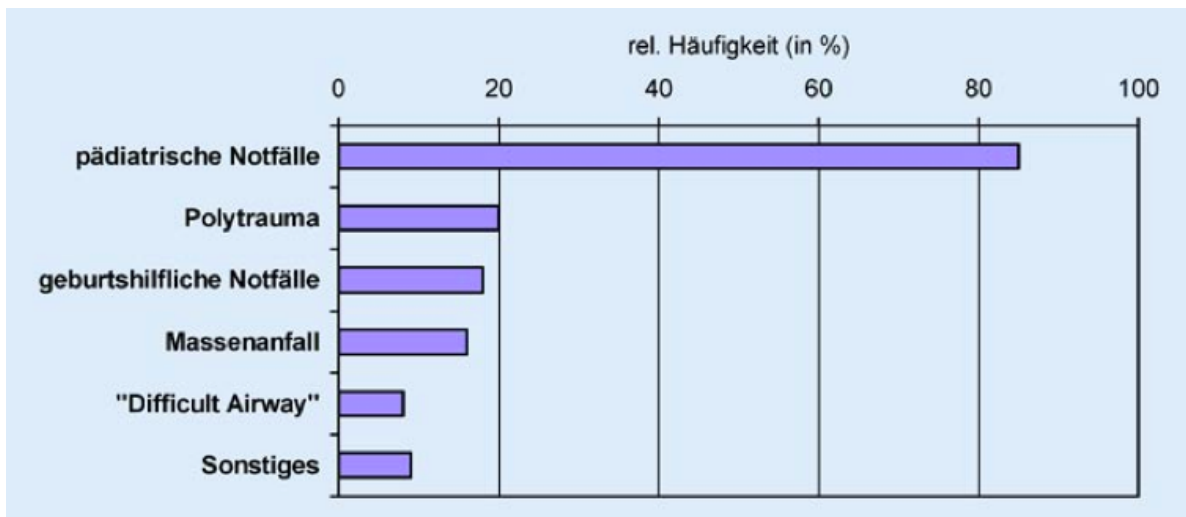


Abbildung 1: Einsatzszenarien, welche für Notärzte besonders hohe emotionale Belastung beziehungsweise Überforderung bedeuten (5)

Das Atemwegsmanagement, insbesondere die Etablierung eines invasiven Atemwegs, ist bei Kindern mit mehr Komplikationen und Risiken behaftet als beim Erwachsenen. Grund hierfür sind anatomische und physiologische Besonderheiten, welche die Atemwegssicherung bei pädiatrischen Notfallpatienten schwieriger gestalten (3, 6).

Der Atemweg unterliegt im Laufe des Wachstums des Kindes beachtlichen Veränderungen. Diese Veränderungen betreffen vor allem den Schädel, die Mundhöhle, den Larynx und die Trachea und erschweren das Atemwegsmanagement für den Ungeübten (7).

Abbildung 2 zeigt anatomische Besonderheiten des kindlichen oberen Atemweges.

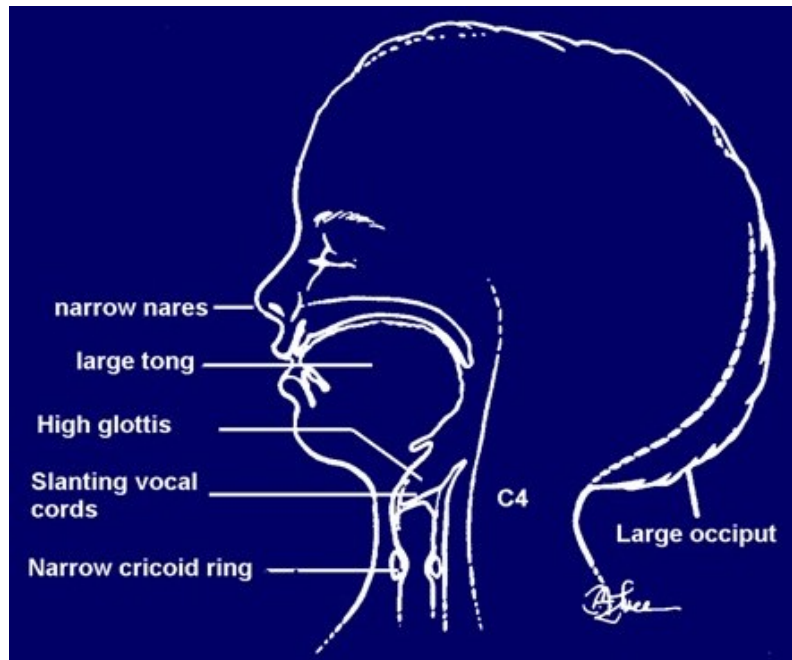


Abbildung 2: Anatomische Besonderheiten des oberen Atemweges beim Kind (abrufbar von <http://slideplayer.de>, Zugriff am 21.09.2014)

Im Vergleich zu Erwachsenen hat der kindliche Atemweg einen verhältnismäßig geringen Durchmesser, was zur Folge hat, dass verschiedene Mechanismen der Atemwegsverlegung beim Kind schnell zu einer signifikanten Stenose und somit zu einem lebensbedrohlichen Ereignis führen können (8).

Während Fremdkörperaspirationen im Erwachsenenalter seltener vorkommen, sind sie im Kindesalter mit einem Gipfel zwischen dem ersten und dritten Lebensjahr häufiger zu beobachten (9).

Bewusstseinsklare Kinder sollten auch bei ausgeprägter Atemnot möglichst wenig invasiv behandelt werden, da eine zusätzliche Aufregung häufig zu einer weiteren Dekompensation führen kann (8).

Als zusätzlich erschwerender Faktor kommt in der Präklinik hinzu, dass die Rahmenbedingungen am Einsatzort oder im Notarztwagen vom optimalen und vertrauten innerklinischen Setting deutlich abweichen und unbekannt sind (6). Aus diesem Grund ist es in der Präklinik besonders wichtig vor einer eventuellen Medikamentengabe und Narkoseeinleitung jegliche Vorbereitungen für das folgende Atemwegsmanagement zu treffen und stets Alternativen bereit zu halten (10).

Auch wenn Kindernotfälle verhältnismäßig niedrige Einsatzzahlen aufweisen und ein invasives Atemwegsmanagement – trotz hoher Raten an respiratorischen Notfällen – nur in seltenen Fällen notwendig wird, sollten Notärzte den Umgang mit und den Einsatz von verfügbaren Mitteln beherrschen (1).

Ziel bei jeglicher Beatmung von pädiatrischen Notfallpatienten ist es, eine ausreichende Ventilation und Oxygenierung zu gewährleisten (6).

1.1 Fragestellung

Im Ballungsraum Graz werden auf den Notfallrettungsmitteln unterschiedliche Utensilien zur präklinischen Beatmung von pädiatrischen Notfallpatienten mitgeführt. Über den sicheren Einsatz dieser Materialien herrscht bei vielen Notärzten allerdings Unsicherheit.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es mittels einer Literaturrecherche und verschiedenen Versuchen den sicheren Einsatz unterschiedlicher Methoden der Beatmung von Neugeborenen, Säuglingen und Kleinkindern hinsichtlich ihrer Praktikabilität und Zweckmäßigkeit zu untersuchen und zu beurteilen.

Hierzu wurde die Diplomarbeit in verschiedene Teilbereiche gegliedert:

Im ersten Teil werden verschiedene Hilfsmittel zur Beatmung von pädiatrischen Patienten, welche auf Grazer Notfalleinsatzmitteln mitgeführt werden, mittels einer systematischen Literaturrecherche evaluiert. Als Hypothese wird formuliert, dass die mitgeführten Hilfsmittel sicher und suffizient an pädiatrischen Notfallpatienten eingesetzt werden können und dem Notarzt Hilfestellung bei der Beatmung kleiner Patienten leisten.

Der zweite Teil beschreibt einen Versuchsaufbau, mit dem der sichere Einsatz der Notfallrespiratoren *Oxylog 2000* (*Dräger*, Lübeck, Deutschland) und *Oxylog 3000* (*Dräger*, Lübeck, Deutschland) getestet wird. Diese beiden tragbaren Beatmungsgeräte sind die auf Notfalleinsatzmitteln in Graz eingesetzten Notfallrespiratoren. Als Hypothese wird angenommen, dass die beiden Notfallrespiratoren *Oxylog 2000* und *Oxylog 3000* als mangelhaft bezüglich der

Abgabegenauigkeit von kleinen Tidalvolumina eingestuft werden müssen und daher der Einsatz dieser Respiratoren an kleinen Patienten nur mit größter Vorsicht erfolgen sollte, um Hypoventilation oder Volutrauma zu vermeiden.

Im dritten Teil wird von medizinisch geschultem Personal, bestehend aus Rettungs- bzw. Notfallsanitätern und diplomierten Kinderkrankenschwestern, eine Beutel-Masken-Beatmung mit zwei verschiedenen Techniken (Zwei-Finger- und Fünf-Fingertechnik) an einem Säuglingsphantom durchgeführt. Während der durchgeführten Beatmung werden das applizierte Tidalvolumen, die Beatmungsfrequenz und das Maskenleck gemessen. Außerdem werden die Schuh- und Handgröße der Probanden dokumentiert.

Mit diesem Versuch sollen folgende Hypothesen untersucht werden:

- Hypothese 1: Es besteht ein Zusammenhang zwischen Schuhgröße und Handgröße der einzelnen Probanden.
- Hypothese 2a: Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Schuhgröße – als indirektes Maß für die Handgröße – und dem abgegebenem Tidalvolumen.
- Hypothese 2b: Medizinisch geschultes Personal orientiert sich bei der Beatmung von Neugeborenen an den Thoraxexkursionen. Daher besteht kein Zusammenhang zwischen der verwendeten Beatmungstechnik (Zwei- oder Fünf-Fingertechnik) und dem abgegebenen Tidalvolumen.
- Hypothese 3a: Die Handgröße beeinflusst die Handhabung mit Beutel und Maske bezüglich einer adäquaten Maskenposition. Es besteht daher ein Zusammenhang zwischen der Schuhgröße – als indirektes Maß für die Handgröße – und dem gemessenen Maskenleck.
- Hypothese 3b: Die verwendete Beatmungstechnik (Zwei- oder Fünf-Fingertechnik) hat keinen Einfluss auf das Maskenleck.
- Hypothese 4: Es bestehen Unterschiede in der Qualität der Beatmung hinsichtlich des abgegebenen Tidalvolumens, der Beatmungsfrequenz und des Maskenlecks zwischen Notfall- bzw. Rettungssanitätern und diplomierten Kinderkrankenschwestern.

1.2 Mitgeführte Hilfsmittel zur Beatmung auf Grazer Notfalleinsatzmitteln

Wie bereits im vorhergehenden Kapitel erwähnt, werden auf den Grazer Notfalleinsatzmitteln verschiedene Utensilien zur Beatmung von pädiatrischen Notfallpatienten mitgeführt. Zu den vier in Graz stationierten Notfalleinsatzmitteln (NEM) gehören die zwei Notfalleinsatzfahrzeuge (NEF), stationiert im Universitätsklinikum-Landeskrankenhaus Graz und Unfallkrankenhaus Graz, sowie die zwei Notfallwagen (NFW), stationiert in den Rotkreuzstützpunkten Münzgrabenstraße und Straßganger Straße.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die von diesen Fahrzeugen mitgeführten Hilfsmittel zur Beatmung.

Diese Arbeit beschränkt sich auf die Evaluierung der im Raum Graz am häufigsten eingesetzten Materialien. Abhängig von den verschiedenen Notfalleinsatzmitteln und der Verfügbarkeit der diversen Utensilien kann es zu Abweichungen dieser Auflistung kommen und ersatzweise vergleichbare Hilfsmittel mitgeführt werden.

Tabelle 1: Auf den Grazer Notfalleinsatzmitteln mitgeführte und in dieser Arbeit evaluierte Hilfsmittel zur Beatmung von pädiatrischen Notfallpatienten (Die eingesetzten Notfallrespiratoren werden an dieser Stelle nicht aufgeführt)

Beatmungshilfen	Größen
Beatmungsbeutel	<i>Ambu Baby R</i> (Ambu, Ballerup, Dänemark) <i>Ambu Mark IV Baby</i> (Ambu, Ballerup, Dänemark) <i>Ambu Mark III</i> (Ambu, Ballerup, Dänemark) <i>Ambu Mark IV</i> (Ambu, Ballerup, Dänemark)
Beatmungsmasken	<i>Laerdal</i> Silikonmaske rund 0/1 (<i>Laerdal Medical</i> , Stavanger, Norway) <i>Ambu</i> Gesichtsmaske 2 – 3 – 4 – 5 (Ambu, Ballerup, Dänemark)
Guedel Tubus	00 – 0 – 1 – 2 – 3 – 4 – 5
Endotrachealtuben	Ungeblockt: 2,5 – 3,0 – 3,5 – 4,0 – 4,5 – 5,0 – 5,5 Geblockt: 6,0 – 6,5 – 7,0 – 7,5 – 8,0 – 8,5
Laryngoskopspatel	Miller 0 Macintosh 0 – 1 – 2 – 3 – 4 – 5
Larynxtuben	0 – 1 – 2 – 2,5 – 3 – 4 – 5
Larynxmasken	1,5 – 2,5 – 3 – 4 – 5

Des Weiteren werden Beatmungsfilter in unterschiedlichen Größen, Magill-Zangen in unterschiedlichen Größen und PEEP-Ventile mitgeführt. Auf diese Hilfsmittel wird in dieser Arbeit nicht weiter eingegangen.

2 Material und Methoden

2.1 Literatursuche

2.1.1 Suchstrategie

Es wurde eine systematische Literatursuche mit Hilfe der Online-Datenbank *PubMed* (U.S. National Library of Medicine, Bethesda, U.S.A.) durchgeführt.

Hierzu wurden folgende Schlagwörter verwendet:

airwaymanagement / Atemwegsmanagement / kindliche Notfälle / paediatric emergencies / out-of-hospital / paediatric prehospital care / endotracheal intubation / mask leak / airway device

Des Weiteren wurden die oben genannten Schlagwörter auch bei *Google Scholar* (Google, Mountain View, U.S.A.) eingegeben.

Mittels Schneeballprinzip konnten zusätzlich relevante Artikel gefunden werden.

2.1.2 Auswahl und Verwaltung der Literatur

Sämtliche, nach Eingabe der oben aufgeführten Schlagwörter, von den Datenbanken aufgelisteten, Artikel wurden anhand des Titels und Abstracts evaluiert und bezüglich ihrer Relevanz für diese Arbeit eingestuft. War das Lesen von Titel und Abstract nicht ausreichend, um die Relevanz des Artikels beurteilen zu können, wurde der Volltext analysiert. Nach endgültiger Beurteilung der Relevanz wurden alle ausgewählten Publikationen vollständig gelesen, wenn der Volltext über die Medizinische Universität Graz abgerufen werden konnte.

Mit der Software *Endnote* (Thomson Reuters, Philadelphia, U.S.A.) wurden sämtliche inkludierten Publikationen verwaltet.

2.2 Versuchsaufbau

2.2.1 Imitation verschiedener Werte für Resistance und Compliance

Um die in Folge beschriebenen Versuche möglichst realitätsnahe nachstellen zu können, wurde versucht die pädiatrische Lunge mit ihren Charakteristiken in den unterschiedlichen Entwicklungsstufen zu imitieren.

Durch den Einsatz verschiedener Testlungen - *VBM 0,5 Liter* (*VBM Medizintechnik*, Sulz am Neckar, Deutschland), *Dräger 0,5 Liter* (*Dräger*, Lübeck, Deutschland), *Dräger 2,0 Liter* (*Dräger*, Lübeck, Deutschland) - und Interposition von gekürzten Endotrachealtuben unterschiedlicher Größe (ID 2,5 bis 8,5 mm) wurden Beatmungsverhältnisse pädiatrischer Patienten mit unterschiedlichen Werten für Resistance und Compliance imitiert.

Resistance und Compliance wurden mit einem *Babylog 8000 plus* (*Dräger*, Lübeck, Deutschland) gemessen. Während der Messung von Resistance und Compliance wurden am *Babylog 8000 plus* die Einstellungen für P_{insp} (inspiratorischer Druck) von 30 mbar und für PEEP (post endexpiratory pressure) von 5 mbar vorgenommen.

Da Modelle zur Imitation pädiatrischer Lungen die Voraussetzung für alle durchgeführten Versuche waren, werden die Ergebnisse der Messung von Compliance und Resistance bereits hier in den Kapiteln 2.2.1.1 und 2.2.1.2 besprochen.

2.2.1.1 Compliance

Mit verschiedenen Testlungen konnten unterschiedliche Werte für die Compliance gemessen werden.

Die Testlung *VBM 0,5 Liter* lieferte eine Compliance von 3 ml/mbar, die Testlung *Dräger 0,5 Liter* zeigte ebenso eine Compliance von 3 ml/mbar, während mit der Testlung *Dräger 2,0 Liter* eine Compliance von 28 ml/mbar imitiert werden konnte.

Beim Einsatz der verschiedenen Testlungen nahm das Zwischenstecken unterschiedlicher gekürzter Endotrachealtuben keinen signifikanten Einfluss auf die gemessene Compliance.

Wie in **Tabelle 2** ersichtlich, spiegelt eine Compliance von 3 ml/mbar die Lunge eines Neugeborenen wider, eine Compliance von 28 ml/mbar die eines Kleinkindes.

Tabelle 2: Normalwerte für die Lungencompliance in Abhängigkeit von der Entwicklungsstufe (1,5 ml/mbar/kg Körpergewicht) (11)

Neugeborene	3-5 ml/mbar
Säuglinge	10-20 ml/mbar
Kleinkinder	20-40 ml/mbar
Erwachsene	100 ml/mbar

2.2.1.2 Resistance

Um bei den geplanten Versuchen die Größe des Atemwegswiderstandes (Resistance) entsprechend variieren zu können, wurden Endotrachealtuben verschiedener Größen auf jeweils eine Länge von 5 cm gekürzt und beidseits mit einem Konnektorstück versehen. Diese Interponate konnten so problemlos vor die Testlunge geschaltet werden. Auf diese Weise konnten verschiedene Werte für die Resistance erzielt werden.

Abbildung 3 zeigt die gekürzten Endotrachealtuben in den Größen ID 2,5 bis 8,5.

Tabelle 3 zeigt Normalwerte für die Resistance in unterschiedlichen Entwicklungsstufen.

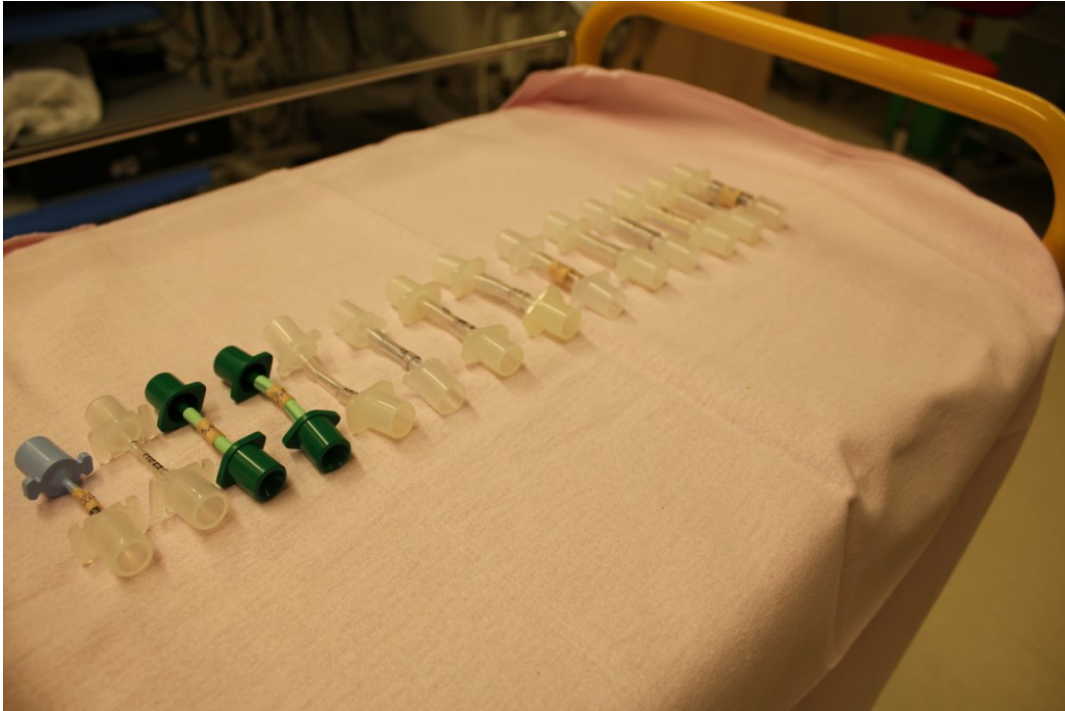


Abbildung 3: Interponate aus gekürzten Endotrachealtuben in den Größen ID 2,5 – 3,0 – 3,5 – 4,0 – 4,5 – 5,0 – 5,5 – 6,0 – 6,5 – 7,0 – 7,5 – 8, 0 – 8,5 mm

Tabelle 3: Normalwerte für den Atemwegswiderstand (Resistance) in der Lunge in Abhängigkeit von der Entwicklungsstufe (11)

Neugeborene	30-50 mbar/l/s
Säuglinge	20-30 mbar/l/s
Kleinkinder	20 mbar/l/s
Schulkinder – Erwachsene	1-3 mbar/l/s

Eine Messung erfolgte mit allen zur Verfügung stehenden Endotrachealtuben: ID 2,5 – 3,0 – 3,5 – 4,0 – 4,5 – 5,0 – 5,5 – 6,0 – 6,5 – 7,0 – 7,5 – 8, 0 – 8,5 mm.

Anhand dieser Messungen wurden für die weiteren Versuche gekürzte Endotrachealtuben ausgesuchter Größen gewählt, deren Resistance für die Imitation pädiatrischer Beatmungsverhältnisse brauchbar erschienen.

Dies war der Fall für die Endotrachealtuben mit einem ID von 4,0 – 6,0 – 8,0 mm.

Tabelle 4 zeigt die Werte für die Resistance in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Interponaten und Testlungen.

Tabelle 4: Mittelwerte der Resistance in Abhängigkeit von den Testlungen und den interponierten Endotrachealtuben

Testlunge	ID 4	ID 6	ID 8
VBM 0,5l Dräger 0,5l	37 mbar/l/s	30 mbar/l/s	29 mbar/l/s
Dräger 2,0l	31 mbar/l/s	23 mbar/l/s	22 mbar/l/s

ID = Innendurchmesser des Endotrachealtubus

2.2.2 Versuchsaufbau *Oxylog 3000*



Abbildung 4: Der Notfallrespirator *Oxylog 3000* (Dräger, Lübeck, Deutschland)

Folgender Versuch wurde auf der Frühgeburtensstation der Klinischen Abteilung für Neonatologie des Landeskrankenhauses-Universitätsklinikum Graz im Zeitraum März/April 2014 durchgeführt.

Für den Versuchsaufbau mit dem *Oxylog 3000* wurden Interponate aus den gekürzten Endotrachealtuben mit dem ID von 4,0 – 6,0 – 8,0 mm und zwei Testlungen (VBM 0,5 Liter und *Dräger* 2 Liter) verwendet.

Für alle Messungen wurde der Beatmungsmodus IPPV (intermittent positive pressure ventilation) verwendet und ein PEEP von 5 mbar, sowie ein I:E (Verhältnis von Inspiration zu Expiration) von 1:2 eingestellt.

In **Abbildung 5** ist der Versuchsaufbau zu sehen. An den herkömmlichen Mehrweg-Beatmungsschlauch (*Dräger*, Lübeck, Deutschland), welcher für den *Oxylog 2000* und den *Oxylog 3000* konzipiert wurde, wurde der Flow-Sensor eines *Florian Respiratory Function Monitor* (*ACUTRONIC Medical Systems*, Hirzel, Schweiz) anstelle eines Filters gesteckt, gefolgt von dem jeweiligen Interponat aus einem gekürzten Endotrachealtubus und der jeweiligen Testlunge. Der Sensor des *Florian Respiratory Function Monitor* hat in etwa den gleichen Totraum, wie ein BeatmungsfILTER für Kinder bis 20 kg.

Mit dem *Florian Respiratory Function Monitor* wurde das jeweils abgegebene Tidalvolumen (VT) vom *Oxylog 3000* gemessen.

Am *Oxylog 3000* wurden Einstellungen für ein VT von 50 – 60 – 70 – 80 – 90 – 100 ml vorgenommen. Messungen erfolgten bei jeder VT-Einstellung mit Beatmungsfrequenzen von 20 – 30 – 40 – 50 /min und mit verschiedenen gekürzten Endotrachealtuben, sowie mit jeder der zwei Testlungen über jeweils 2 Minuten pro Einstellung.

In einer *Excel*-Tabelle (*Microsoft*, Redmond, U.S.A) wurden die Messergebnisse gesammelt und ausgewertet. Mittels der Berechnung von Mittelwerten und Standardabweichungen wurden die Messwerte und deren Abhängigkeiten von Frequenz, Compliance und Resistance beurteilt.



Abbildung 5: Versuchsaufbau (von links nach rechts): *Oxylog 3000*-Beatmungsschlauch, Flowsensor, Interponat aus adaptierten Endotrachealtuben, Testlung *VBM* 0,5 Liter

2.2.3 Versuchsaufbau *Oxylog 2000*



Abbildung 6: Der Notfallrespirator *Oxylog 2000* (*Dräger*, Lübeck, Deutschland) (12)

Folgender Versuch wurde auf der Frühgeburtensstation der Klinischen Abteilung für Neonatologie des Landeskrankenhauses-Universitätsklinikum Graz im Zeitraum Juli/August 2014 durchgeführt.

Der Versuchsaufbau für den *Oxylog 2000* entspricht dem Versuchsaufbau mit dem *Oxylog 3000*, welcher bereits im Kapitel 2.2.2 beschrieben wurde. Hierbei wurden allerdings aufgrund von Gerätedifferenzen andere Einstellungen verwendet.

Der *Oxylog 2000* ermöglicht Einstellungen erst ab einem VT von 100 ml im Unterschied zum *Oxylog 3000*, welcher bereits ab einem VT von 50 ml einsetzbar ist.

Ein weiterer Unterschied ist, dass mit dem *Oxylog 2000* eine maximale Frequenz von 40/min möglich ist. Der *Oxylog 3000* erlaubt Beatmungsfrequenzen bis 50/min.

Anstelle der *VBM 0,5 Liter* Testlunge, die aufgrund eines Defektes für den Versuchsaufbau mit dem *Oxylog 2000* nicht mehr zur Verfügung stand, wurde eine *Dräger 0,5 Liter* Testlunge verwendet. Die gemessene Compliance der *Dräger 0,5 Liter* Testlunge entspricht jedoch der Compliance der Testlunge *VBM 0,5 Liter*.

Die oben genannten verschiedenen Interponate aus gekürzten Endotrachealtuben (ID 4,0 – 6,0 – 8,0 mm) und die zwei Testlungen *Dräger 0,5l* und *Dräger 2l* wurden jeweils bei einem VT von 100 ml und verschiedenen Beatmungsfrequenzen von 10 – 20 – 30 – 40/min über jeweils 2 Minuten eingesetzt. Die Messwerte wurden wiederum in einer Excel Tabelle verwaltet. Mittels der Berechnung von Mittelwerten und Standardabweichungen wurden die Messwerte und deren Abhängigkeiten von Frequenz, Compliance und Resistance beurteilt.

2.2.4 Versuchsaufbau Beutel-Masken-Beatmung

Für diesen Versuchsaufbau wurde ein Ethikantrag bei der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz eingereicht. Das gültige Votum vom 22.09.2014 mit der *EK-Nummer 26-582 ex13/14* ist im Anhang zu finden.

Folgender Versuch wurde auf der Frühgeburtensstation der Klinischen Abteilung für Neonatologie des Landeskrankenhauses-Universitätsklinikum Graz im Zeitraum September/Oktober 2014 durchgeführt.

Für den Versuchsaufbau wurde eine Säuglingsphantompuppe *CPR Resusci Baby* (*Laerdal Medical*, Stavanger, Norwegen) so adaptiert, dass eine Testlunge (*Dräger* 0,5 Liter) – anstatt der herkömmlich eingebauten Lunge – in den Thorax der Reanimationspuppe integriert wurde. Außerdem wurde die ins Leere führende Imitation des Ösophagus mit einem Plastikverschluss verschlossen.

Dies war notwendig, um einen leckfreien Atemweg des Phantoms zu erhalten. Auf diese Weise kann ein eventuell auftretendes Leck bei der Beutel-Masken-Beatmung gemessen werden.

Als Probanden für diese Studie fungierte medizinisches Personal, welches im Rahmen der jeweiligen Ausbildung in der Beatmung von Neugeborenen, Säuglingen und Kindern geschult wurde. Die Teilnehmer wurden auf freiwilliger Basis rekrutiert und dahingehend aufgeklärt, dass ein Ausscheiden aus der Studie jederzeit – ohne Gründe nennen zu müssen – möglich sei. Die 40 Probanden setzten sich aus zwei Berufsgruppen zusammen: 20 Notfall- bzw. Rettungssanitäter und 20 diplomierte Kinderkrankenschwestern. Eingeschlossen wurden Personen jeglicher Altersklasse und beiderlei Geschlechts.

Nach Begrüßung, ausführlicher Aufklärung über die Studie, Aushändigung der Probandeninformation und Ausfüllen der Einwilligungserklärung, bekamen die Probanden die Aufgabe, das adaptierte Säuglingsphantom nach eigenem Ermessen adäquat zu beatmen. Als einzige Möglichkeit der Rückmeldung über die Suffizienz der Beatmung fungierten die Thoraxbewegungen der Reanimationspuppe. Die Beatmung wurde mit einem Beatmungsbeutel *Ambu Baby R* (*Ambu*, Ballerup, Dänemark) und einer Beatmungsmaske *Laerdal* Silikonmaske rund Größe 0/1 (*Laerdal Medical*, Stavanger, Norwegen) durchgeführt.

Es fanden pro Studienteilnehmer zwei Messdurchgänge zu je 90 Sekunden statt. In einem Durchlauf wurde der Proband gebeten die Beatmung mit zwei Fingern –

sprich mit Daumen und Zeigefinger – und im anderen Durchlauf mit fünf Fingern – sprich der ganzen Hand – durchzuführen. Mit welchem Durchlauf begonnen wurde, wurde zufällig durch Würfeln entschieden. Die Augenzahlen eins bis drei bedeuteten, dass im ersten Durchlauf mit der Zwei-Fingertechnik und im zweiten Durchlauf mit der Fünf-Fingertechnik beatmet wurde; die Augenzahlen vier bis sechs bedeuteten, dass im ersten Durchlauf die Fünf-Fingertechnik und im zweiten Durchlauf die Zwei-Fingertechnik angewandt wurde. Zwischen den beiden Durchläufen konnte eine Pause eingelegt werden, deren Länge der Proband selbst bestimmen konnte. Dies wurde deshalb so gehandhabt, um zu verhindern, dass eventuelle Ermüdungserscheinungen die Messungen im zweiten Durchlauf beeinflussen.

Anstatt eines Filters wurde wiederum ein Flow-Sensor des *Florian Respiratory Function Monitors* vor die Testlunge geschaltet. Dieser diente der Messung des abgegebenen Tidalvolumens jedes einzelnen Beatmungshubes, sowie der Beatmungsfrequenz (f) und des Maskenlecks. Die Probanden wurden gebeten die Beutel-Masken-Beatmung für 90 Sekunden pro Durchlauf durchzuführen. Für die Auswertung wurden allerdings die letzten 60 Sekunden jedes Durchlaufes verwendet, um eventuelle Unsicherheiten zu Beginn der Beatmungsperiode zu exkludieren.

Nach der Durchführung der beiden Messdurchgänge wurden die anthropometrischen Daten – sprich Hand- und Schuhgröße - des jeweiligen Probanden sowie das Geschlecht anonymisiert dokumentiert. Bei Nichtwissen der chirurgischen Handschuhgröße wurden die Hände der Probanden wie in **Abbildung 7** dargestellt vermessen.



Abbildung 7: Methode zur Vermessung der Handgröße bei Nichtwissen der chirurgischen Handschuhgröße

Jegliche gemessenen Werte wurden live mit einem Multi-Channel System *a-Trace Digital MM* (*Best Medical Systems*, Wien, Österreich) aufgezeichnet, zur weiteren Bearbeitung gespeichert und in einer *Excel*-Tabelle verwaltet.

Um mögliche Zusammenhänge der aufgezeichneten Daten hinsichtlich der zuvor formulierten Fragestellungen zu überprüfen, wurden *Pearson Korrelationen* berechnet. Unterschiede zwischen Gruppen hinsichtlich der vordefinierten Hypothesen wurden mit einem *Student's T-Test* berechnet.

Bei bestehendem Interesse der Probanden bekamen diese nach Beendigung ihres Studiendurchlaufes ein ausführliches Feedback bezüglich der gemessenen Tidalvolumina, der Frequenz und des Maskenlecks, sowie individuelle Tipps zur Optimierung der Technik der Beutel-Masken-Beatmung.

3 Ergebnisse – Resultate

3.1 Ergebnisse der Literaturrecherche

Im ersten Schritt der Literaturrecherche konnten 191 Publikationen gefunden werden. Bei genauerer Betrachtung der Abstracts wurden 169 Artikeln ausgeschlossen, da sie keinen ausreichenden Bezug zur Thematik dieser Diplomarbeit aufwiesen.

Schlussendlich wurden 22 Literaturquellen als relevant eingestuft und für die Arbeit verwendet. **Abbildung 8** zeigt genaue Aufschlüsselung bezüglich der gefundenen Referenzen und gibt Überblick über die Anzahl inkludierter und exkludierter Arbeiten.

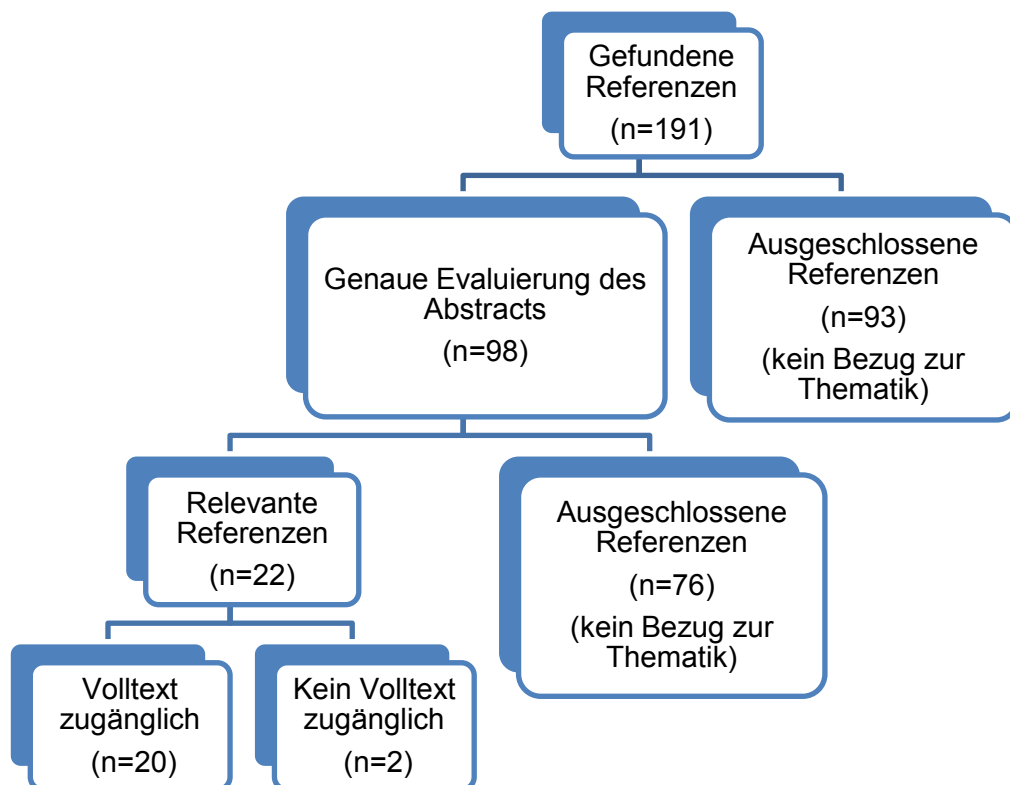


Abbildung 8: Übersicht über alle gefundenen Referenzen: Anzahl der inkludierten und exkludierten Publikationen

Für jedes Kapitel der Literaturrecherche ergaben sich die in **Tabelle 5** aufgelistete Anzahl an relevanten Referenzen.

Tabelle 5: Anzahl der durch die Literaturrecherche gefundenen Referenzen für die einzelnen Kapiteln

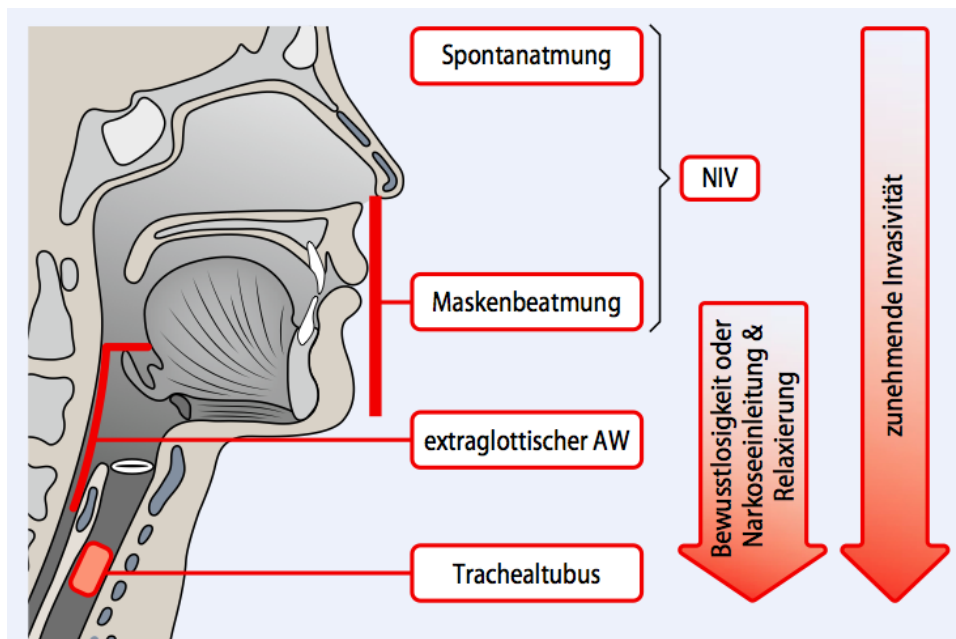
Kapitel	Anzahl an Referenzen
Invasivitätsstufen der Beatmung	1
Maskenbeatmung	3
Beatmungsbeutel	4
Beatmungsmaske	4
Guedel Tubus	4
Endotracheale Intubation	2
Laryngoskop und Spatel	2
Macintosh Spatel	2
Miller Spatel	2
Endotracheale Tuben	2
Extraglottische Atemwegshilfen	3

3.1.1 Invasivitätsstufen der Beatmung

Die Beatmung von pädiatrischen Notfallpatienten kann prinzipiell auf unterschiedlichen Invasivitätsstufen erfolgen.

Wie **Abbildung 9** zeigt, ist die am wenigsten invasive Beatmungsform eine Beatmung mittels Gesichtsmaske. Der extraglottische Atemweg stellt die nächste Invasivitätsstufe dar, gefolgt von der endotrachealen Intubation, welche mit der höchsten Invasivität verbunden ist (6).

Auf die Thematik der nicht invasiven Beatmung (NIV), welche eine Spontanatmung des Patienten voraussetzt, wird in dieser Diplomarbeit nicht eingegangen.



AW = Atemweg, NIV = Nicht-invasive Beatmung

Abbildung 9: Invasivitätsstufen der Beatmung (6)

Anhand von **Abbildung 9** sollen sich die nächsten Kapitel dieser Diplomarbeit mit den Ergebnissen für die unterschiedlichen Möglichkeiten der Beatmung und den hierfür notwendigen Mitteln beschäftigen.

3.1.2 Beutel-Masken-Beatmung

Bei ausreichender Erfahrung des Anwenders ist eine Gesichtsmaskenbeatmung in der Regel ohne größere Probleme durchführbar. Eine angepasste Lagerung, die richtige Technik und gegebenenfalls die Zuhilfenahme eines Guedel Tubus ermöglichen eine Gesichtsmaskenbeatmung fast immer, weshalb diese auch Rückzugstrategie für nicht erfolgreiche andere Atemwegssicherungsmaßnahmen ist (3).

Bei einer inadäquaten Beatmung mittels Gesichtsmaske lassen sich die Ursachen meist auf behebbare anatomische oder funktionelle Ursachen zurückführen (6).

Anatomische Ursachen können hierbei eine suboptimale Positionierung des Kopfes, eine inadäquate Beatmungstechnik, große Adenoide, große Tonsillen oder Übergewicht sein. Mögliche behebbare funktionelle Ursachen können sowohl in den oberen als auch in den unteren Atemwegen liegen. Beispiele für in den oberen Atemwegen gelegene Ursachen sind eine zu oberflächliche Anästhesie

und ein dadurch verursachter Laryngospasmus oder opiatinduzierter Glottisschluss.

In den unteren Atemwegen kann ein Bronchospasmus, ein Alveolarkollaps, opiatinduzierte Nebenwirkungen wie Thoraxrigidität oder eine Insufflation des Magens Probleme verursachen (7).

3.1.2.1 Beatmungsbeutel

Auf den Grazer Notfalleinsatzmitteln werden insgesamt vier Modelle von Beatmungsbeuteln mitgeführt, welche zwei unterschiedliche Größen aufweisen (**Tabelle 6**).

Als die zwei Vertreter der größeren Beatmungsbeutel werden der *Ambu Mark III* (*Ambu*, Ballerup, Dänemark) und der *Ambu Mark IV* (*Ambu*, Ballerup, Dänemark) mitgeführt, die vom Hersteller erst ab einem Gewicht von 15 kg – das entspricht etwa dem dritten Lebensjahr eines Kindes – empfohlen werden. Es wird ein maximales Tidalvolumen von 1300 ml beschrieben (13, 14). Für den Beatmungsbeutel *Ambu Mark III* gibt es eine statistische Auswertung, welche zeigt, dass bei einhändiger Beatmung maximal 900 ml und bei zweihändiger Beatmung maximal 1150 ml abgegeben werden (14).

Die Beatmungsbeutel *Ambu Baby R* (*Ambu*, Ballerup, Dänemark) und *Ambu Mark IV Baby* (*Ambu*, Ballerup, Dänemark) sind Vertreter der kleineren Größe. *Ambu Baby R* und *Ambu Mark Baby IV* werden beide vom Hersteller bis zu einem Patientengewicht von maximal 20 kg empfohlen – dies entspricht etwa dem vierten bis fünften Lebensjahr eines Kindes. Mit diesen zwei Modellen kann ein maximales Tidalvolumen von 300 ml verabreicht werden (13, 15).

Das passende Beatmungsvolumen wird laut der Gebrauchsanweisung für den Vorgänger des *Ambu Baby R*, dem *Ambu Baby Beatmungsbeutel Modell R* (*Ambu*, Ballerup, Dänemark), bei einem Beatmungsdruck von 15-20 mbar erreicht. Laut Empfehlung sollte die Beatmung mit zwei Fingern begonnen und unter Beobachtung der Thoraxexkursionen entsprechend adaptiert werden (16).

Um das Gefühl für den Beatmungsdruck zu trainieren wird empfohlen einen Endotrachealtubus unter Wasser zu tauchen und eine Beatmung auszuführen (16).

Tabelle 6: Die auf Grazer Notfalleinsatzmitteln mitgeführten Beatmungsbeutel mit Angabe des zugelassenen Patientengewichtes und des maximalen Tidalvolumens (Vt)

Beatmungsbeutel	Patientengewicht	maximales Vt
Ambu Baby R	bis 20kg	300ml
Ambu Mark IV Baby	bis 20kg	300ml
Ambu Mark III	ab 15kg	1300ml
Ambu Mark IV	ab 15kg	1300ml

3.1.2.2 Beatmungsmaske

Wichtig bei der Beatmung eines Kindes mittels Gesichtsmaske ist, dass die Maske möglichst luftdicht und somit leckfrei auf das Gesicht aufgesetzt wird. Dies kann schwierig sein, ist aber für eine adäquate Ventilation unabdingbar. Häufig wird das Maskenleck nicht erkannt, was eine insuffiziente Beatmung zur Folge haben kann (17).

Eine Studie aus Australien zeigte, dass bei der Beatmung eines neonatalen Reanimationsphantoms durch Ärzte bzw. *neonatal nurses* das durchschnittliche Maskenleck bei 65% lag (18).

Das Maskenleck spielt vor allem während der Inflation eine Rolle, wobei es bei großem Leck auch bei der Deflation zum Entweichen von Luft kommen kann (19).

Auf den Grazer Notfalleinsatzmitteln werden Gesichtsmasken in unterschiedlichen Größen mitgeführt. Eine *Laerdal Silikonmaske* rund Größe 0/1 (*Laerdal Medical*, Stavanger, Norway) (für Neugeborene/Säuglinge/Kleinkinder) und *Ambu* Gesichtsmasken (*Ambu*, Ballerup, Dänemark) in den Größen 2 (für Kinder), 3 (für Jugendliche/Erwachsene), 4 (für Jugendliche/Erwachsene) und 5 (für Erwachsene). Die Wahl der richtigen Maskengröße ist Voraussetzung für eine adäquate Ventilation.

Bei einem Vergleich einer runden *Laerdal Silikonmaske* in Größe 0/1 und einer anatomisch geformten Gesichtsmaske in vergleichbarer Größe mit aufblasbarem Wulst zeigte sich, dass es keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich des Maskenlecks gibt. Lediglich ein nicht aufgeblasener Wulst bei der anatomisch geformten Gesichtsmaske führte zu einem erhöhten Maskenleck (17). In einer weiteren Studie wurde die runde *Laerdal Silikonmaske* Größe 0/1 mit einem anderen Modell einer runden Gesichtsmaske von vergleichbarer Größe verglichen. Auch hier zeigten sich keine wesentlichen Unterschiede hinsichtlich des Maskenlecks (20).

3.1.2.3 Guedel Tubus (Oropharyngealer Tubus)

Häufig liegt einer Obstruktion der oberen Atemwege beim bewusstseinsgetrübten, narkotisierten oder relaxierten Patienten das Zurückfallen der Zunge zugrunde (21).

Gerade bei pädiatrischen Patienten, welche aufgrund ihrer Anatomie eine verhältnismäßig große Zunge aufweisen, kann es leicht zu einer Atemwegsverlegung kommen, wenn die Zunge nach hinten in den Oropharynx rutscht (6). Der Guedel Tubus wurde als Atemwegshilfe konstruiert, um die oberen Atemwege offen zu halten und das Zurückfallen der Zunge zu verhindern (22).

Über den Einsatz des Guedel Tubus beim pädiatrischen Notfallpatienten finden sich kaum Studien. Dennoch kann bei einer erschwerten Gesichtsmaskenbeatmung aufgrund anatomischer Ursachen im kindlichen Atemweg ein Guedel Tubus eingesetzt werden. Hierbei sollte allerdings auf eine ausreichende Sedierung des Patienten geachtet werden (6).

Des Weiteren ist es wichtig, die richtige Größe zu wählen: Die Größe des Guedel Tubus sollte dem Abstand zwischen Zahnreihe und Kieferwinkel entsprechen (23).

Auf den Grazer Notfalleinsatzmitteln sind alle handelsüblichen Größen (00 – 0 – 1 – 2 – 3 – 4 – 5) des Guedel Tubus – somit auch jene Größen für die ganz kleinen Notfallpatienten – vorhanden.

Nasopharyngealtuben (z. B. Wendel Tubus) werden auf den Grazer Notfalleinsatzmitteln nicht vorgehalten.

3.1.3 Endotracheale Intubation

Die endotracheale Intubation gilt in der Präklinik als *Golden Standard* des Atemwegsmanagements. Dennoch ist diese Aussage beim pädiatrischen Patienten nicht unumstritten, da die Erfolgsrate einer Intubation stark von der Übung des Ausführenden abhängt (3).

Es gibt nach wie vor keine evidenzbasierten Empfehlungen, in der die situations-, patienten- und anwenderbezogenen Kriterien zur präklinischen Intubation von Kindern definiert sind (24). Erfahrene und geübte Notärzte sollen auch in der Präklinik bei bestehender Notwendigkeit und unter Zuhilfenahme eines geeigneten Monitorings die endotracheale Intubation an pädiatrischen Notfallpatienten durchführen. Den Verlauf der Vitalwerte muss der Ausführende hierbei immer im Blick behalten, um eine Intubation rechtzeitig abbrechen bzw. eine Fehlintubation frühzeitig erkennen zu können, denn an oberster Stelle steht die ausreichende Ventilation und Oxygenierung des Patienten (3).

3.1.3.1 Laryngoskop und Spatel

Seit das erste Mal der Larynx über die Mundhöhle mit Hilfsmitteln einsehbar war, wurden etwa 50 verschiedene Laryngoskope entwickelt. Die am häufigsten verwendeten Spatel sind gebogen oder gerade. Diese werden auch zur Intubation von pädiatrischen Patienten verwendet (25).

Üblicherweise werden für die Intubation von pädiatrischen Patienten zwei verschiedene Arten von Spatel verwendet: Der gebogene Macintosh Spatel und der gerade Miller Spatel, welcher vor allem für die Intubation von Neugeborenen und Säuglingen verwendet wird (25). Diese Spatel werden auch auf den Grazer Notfalleinsatzmitteln mitgeführt.

Die Anwendung der Videolaryngoskopie wurde bereits in einigen Studien als vorteilig bei der notfallmäßigen oder intensivmedizinischen Sicherung der Atemwege erachtet. Aufgrund der indirekten Sicht auf laryngeale Strukturen kann die Intubation vor allem beim vulnerablen, kindlichen Atemweg aber erschwert sein und erfordert viel Übung. Dennoch wird die Videolaryngoskopie auch in der Präklinik weiter an Bedeutung gewinnen (6).

3.1.3.1.1 Macintosh Spatel

Robert Macintosh erfand seinen gebogenen Spatel im Jahre 1943 und ist seither der meistproduzierte und verkaufte Spatel weltweit. Obwohl der Erfinder selbst es aufgrund der Anatomie der kleinen Patienten für nicht sinnvoll erachtete, einen gebogenen Spatel in der Größe für Neugeborene und Säuglinge zu entwerfen, wurde der Spatel 1947 auch in einer pädiatrischen Ausgabe produziert (26).

Die Spitze des Macintosh Spatels sollte in der Vallecula epiglottica (Tasche zwischen Zungengrund und Epiglottis) zu liegen kommen. Durch kaudalen Zug kann man auf diese Weise die Epiglottis indirekt anheben, um freie Sicht auf den Larynxeingang zu erhalten (25).

Aufgrund der anatomischen Besonderheiten von Neugeborenen und Säuglingen, welche einen verhältnismäßig höher stehenden Kehlkopf und eine größere Epiglottis aufweisen, eignet sich dieser Spatel eher nur zur Intubation größerer Kinder. Die 1947 für kleine Kinder entworfene Modifikation des Macintosh Spatels scheint zu gebogen, um die Sicht auf den Larynx zu ermöglichen (25).

Somit ist der Macintosh Spatel zwar eine der beliebtesten Intubationshilfen weltweit, jedoch ist seine Einsetzbarkeit im pädiatrischen Tätigkeitsfeld insofern eingeschränkt, als dass er eher nur für die Intubation bereits etwas größerer Kinder geeignet erscheint. Eine genaue Angabe, ab welchem Alter oder ab welcher Gewichtsklasse eine Intubation mit dem Macintosh Spatel zu empfehlen ist, findet sich in der Literatur nicht.

3.1.3.1.2 Miller Spatel

Robert A. Miller entwickelte 1941 einen neuartigen Spatel, mit dem er im Vergleich zu anderen Modellen eine Reduktion von Traumata in der Mundhöhle und vor allem der Zähne erreichen wollte. Eine gerade und schmale Form sollen die endotracheale Intubation bereits bei geringerer Mundöffnung ermöglichen (27).

1946 entwarf Miller eine pädiatrische Variante seines Spatels. Die Spitze dieses Spatels kann anterior oder posterior der Epiglottis zu liegen kommen. Dies hat den Vorteil, dass bei kleinen Patienten die große Epiglottis leichter aus der Sichtachse geschoben werden kann. Seine schmale Form verschafft des Weiteren mehr Platz in der ohnehin kleinen Mundhöhle (25). Somit scheint der Miller Spatel für die Intubation von Neugeborenen und Säuglingen besser geeignet zu sein.

3.1.3.2 Endotracheale Tuben

Prinzipiell stehen zwei unterschiedliche Arten von Tuben zur endotrachealen Intubation bei pädiatrischen Notfallpatienten zur Verfügung – Tuben mit Cuff (geblockte Tuben) und ohne Cuff (ungeblockte Tuben).

Seit vielen Jahren werden für pädiatrische Patienten Tuben ohne Cuff verwendet. Diese haben sich über lange Zeit bewährt und werden vielerorts eingesetzt (28).

Tuben mit Cuff werden dennoch vermehrt bei pädiatrischen Patienten eingesetzt, wenn es aufgrund eines Atemwegslecks zu Problemen in der Beatmung und Oxygenierung kommt (28).

Bei der Anwendung von Tuben mit Cuff muss jedoch Folgendes bedacht werden: Prinzipiell muss der Durchmesser des Endotrachealtubus kleiner gewählt werden, um dem Cuff Platz zu geben. Ebenso ist es wichtig, dass ein zusätzliches Monitoring zur regelmäßigen Überprüfung des Cuff-Drucks eingesetzt wird. Des Weiteren muss an Komplikationen wie die Entstehung von Cuff-Hernien oder defekte und undichte Cuffs gedacht werden. Aus oben genannten Gründen wird es weiterhin empfohlen, Neugeborene und Säuglinge mit einem Tubus ohne Cuff zu versorgen (28).

Um die richtige Größe eines Tubus zu wählen und diesen in richtiger Tiefe und Lage zu platzieren, gibt es Formeln, anhand welcher man sich orientieren kann (Tabelle 7, Tabelle 8).

Tabelle 7: Richtlinien für die empfohlenen Tubusgrößen – sowohl für geblockte Tuben, als auch ungeblockte Tuben – für die einzelnen Altersklassen bei Kindern (3)

	Tubusgröße ungeblockt	Tubusgröße geblockt
Frühgeborene	ID in mm = GA in Wochen/ 10	X
reife Neugeborene	ID 3,5mm	X
Säuglinge	ID 3,5 - 4,0 mm	ID 3,0 - 3,5 mm
Kinder 1-2 Jahre	ID 4,0 - 4,5 mm	3,5 - 4,0 mm
Kinder >2 Jahre	ID in mm = Alter/4 + 4	ID in mm = Alter/4 + 3,5

ID = Innendurchmesser des Endotrachealtubus, GA = Gestationsalter

Tabelle 8: Richtlinien für die empfohlene Einführtiefe eines Endotrachealtubus bei oraler und nasaler Intubation beim Kind (3)

	zu erwartende Einführtiefe in cm
orale Intubation	Alter/2 + 12
nasale Intubation	Alter/2 + 15

Über die Art der Intubation– ob oral oder nasal –gibt es lang währende Diskussion. Eine orale Intubation gelingt im Regelfall schneller, eine nasale Intubation hingegen weist geringere Dislokationsraten auf. Es wird empfohlen in einem Notfall eine orale Intubation vorzuziehen. Auf eine gute Tubusfixation und eine ständige Überwachung der korrekten Tubuslage ist hierbei allerdings zu achten (3, 29).

3.1.4 Extraglottische Atemwegshilfen

Es werden auf allen Grazer Notfalleinsatzmitteln Larynxtuben in Größen für Neugeborene, Säuglinge und Kleinkinder (0 – 1 – 2 – 2,5 – 3) als Alternative für die Sicherung des Atemweges mitgeführt. Eines der beiden Grazer Notarzteeinsatzfahrzeuge führt zusätzlich Larynxmasken in kleinen Größen mit (1,5 – 2,5).

Noch gibt es wenige Studien über den sicheren Einsatz dieser Atemwegshilfen in den oben angeführten Altersgruppen (22).

Viele extraglottische Atemwegshilfen wurden für die Atemwege des Erwachsenen konzipiert, und dann für den pädiatrischen Patienten miniaturisiert auf den Markt gebracht. Die spezielle Anatomie des kindlichen Atemweges wurde hierbei außer Acht gelassen, was häufig eine schlechte Positionierung oder Dislokation zur Folge hat (30).

Minimale Volumenschwankungen können den Cuff-Druck bei extraglottischen Atemwegshilfen von kleiner Größe schnell verändern, sodass ein zu hoher Druck zu Schleimhautdefekten und -nekrosen führen kann (30).

Extraglottische Atemwegshilfen sind benutzerfreundlicher als Beatmungsmasken und bergen ein niedrigeres Komplikationsrisiko als die endotracheale Intubation. Das ist der Grund, warum sie auch bei pädiatrischen Patienten immer häufiger eingesetzt werden (31).

3.2 Ergebnisse – Versuchsaufbau Oxylog 3000

Laut Gebrauchsanweisung des *Oxylog 3000* kann der Notfallrespirator ab einem VT von 50 ml eingesetzt werden. Die Genauigkeit dieser Einstellung wird vom Hersteller mit $\pm 15\%$ des eingestellten Wertes oder ± 25 ml angegeben, wobei hier der größere Wert herangezogen werden muss (32).

Betrachtet man die Mittelwerte (\pm Standardabweichung) der tatsächlich vom *Oxylog 3000* abgegebenen VT unter verschiedenen Beatmungsverhältnissen mit variabler Frequenz, Resistance und Compliance, zeigen sich zum Teil beträchtliche Abweichungen von den voreingestellten VT. Diese Werte werden in **Tabelle 9** und in **Abbildung 10** dargestellt.

Hierbei wird ersichtlich, dass bei den meisten Einstellungen weniger Volumen abgegeben wird als eingestellt. Lediglich bei einem voreingestellten VT von 50 ml wird die VT-Einstellung übertroffen.

Bei einem voreingestellten VT von 50 ml werden Tidalvolumina von bis zu 69,8 ml abgegeben. Dies bedeutet, dass das voreingestellte VT von 50 ml um bis zu 40% überschritten wird!

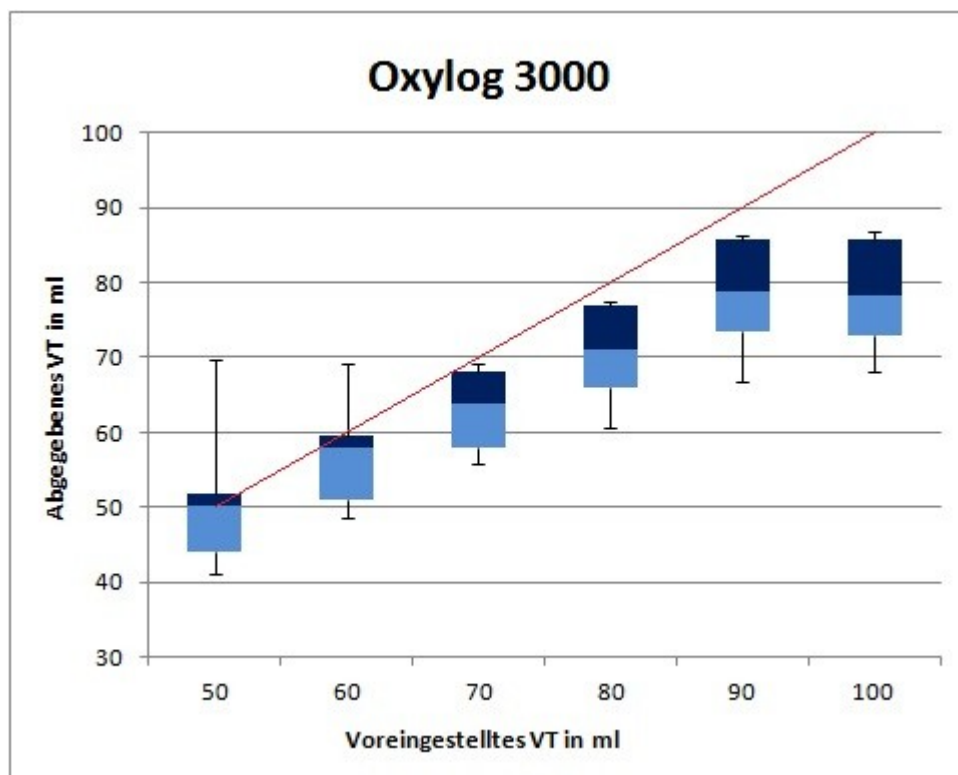
Bei eingestellten Werten von 70 – 80 – 90 – 100 ml und unterschiedlicher Frequenz, Resistance und Compliance werden die eingestellten Werte während der gesamten Messzeit nie erreicht, sondern immer unterschritten.

Bei einem voreingestellten VT von 100 ml werden minimal 68,2 ml abgegeben. Dies sind nur 68% des voreingestellten VT.

Tabelle 9: Mittelwerte, Standardabweichung, Maximal- und Minimalwerte abgegebener VT vom Oxylog 3000 bei variabler Frequenz, Resistance und Compliance – alle Werte in ml

Eingestellte VT	Abgegebene VT	± SD	Minimalwert	Maximalwert
50	50,9	8,5	41,1	69,8
60	56,8	5,9	48,6	69,3
70	62,9	5,4	55,8	69,3
80	70,8	6,1	60,5	77,6
90	78,9	6,8	66,8	86,4
100	78,9	6,9	68,2	86,8

SD = Standardabweichung, VT = Tidalvolumen



VT = Tidalvolumen

Abbildung 10: Median, erstes und drittes Quartil, Maximal- und Minimalwert der abgegebenen VT vom Oxylog 3000 bei variabler Frequenz, Resistance und Compliance in einem Boxplot-Diagramm; Die voreingestellten VT werden graphisch durch eine Linie verdeutlicht.

3.2.1 Abhängigkeit des abgegebenen Tidalvolumens von der Frequenz

Im Folgenden werden die Mittelwerte (\pm Standardabweichung) der abgegebenen VT in Bezug zur eingestellten Frequenz bei variabler Compliance und Resistance dargestellt (Tabelle 10).

Hierbei wird deutlich ersichtlich, dass das abgegebene VT das eingestellte VT vor allem bei einer Frequenz von 20/min und niedrigen voreingestellten VT (50 und 60 ml) überschreitet. Im Unterschied dazu wird das voreingestellte VT beim Großteil der Einstellungen (30 – 40 – 50/min bzw. 70 – 80 – 90 – 100 ml) unterschritten.

Tabelle 10: Mittelwerte \pm Standardabweichungen der abgegebenen VT vom *Oxylog 3000* in Bezug auf voreingestellte VT und voreingestellte Frequenz bei variabler Compliance und Resistance – alle Werte in ml

	50 ml	60 ml	70 ml	80 ml	90 ml	100 ml
20/min	63 \pm 7	62 \pm 7	62 \pm 7	68 \pm 8	75 \pm 8	77 \pm 9
30/min	46 \pm 4	54 \pm 5	62 \pm 6	70 \pm 7	79 \pm 7	78 \pm 7
40/min	46 \pm 4	55 \pm 5	63 \pm 6	71 \pm 6	79 \pm 7	79 \pm 7
50/min	47 \pm 4	55 \pm 4	63 \pm 5	72 \pm 5	80 \pm 6	79 \pm 6

3.2.2 Abhängigkeit des abgegebenen Tidalvolumens von der Compliance

Die Mittelwerte (\pm Standardabweichung) der abgegebenen VT werden nun in Bezug zur nachgeschalteten Compliance bei variabler Frequenz und Resistance dargestellt.

In **Tabelle 11** wird gezeigt, dass die Compliance die abgegebenen Tidalvolumina beeinflusst. Bei einer Compliance von 28 ml/mbar – dies würde der Lunge eines Kleinkindes entsprechen – ist das abgegebene Tidalvolumen bei gleichen Respiratoreinstellungen stets höher als bei einer Compliance von 3 ml/mbar – dies würde der Lunge eines Neugeborenen entsprechen. Die Differenzen liegen zwischen 16% und 18%.

Tabelle 11: Mittelwerte \pm Standardabweichungen der abgegebenen VT vom *Oxylog 3000* in Bezug auf voreingestellte VT und Compliance bei variabler Frequenz und Resistance – alle Werte in ml

	3 ml/mbar	28 ml/mbar	Differenz
50 ml	47 \pm 7	55 \pm 8	+ 17%
60 ml	52 \pm 3	62 \pm 4	+ 19%
70 ml	58 \pm 2	68 \pm 1	+ 17%
80 ml	65 \pm 3	77 \pm 1	+ 18%
90 ml	73 \pm 3	85 \pm 1	+ 16%
100 ml	72 \pm 2	85 \pm 1	+ 18%

3.2.3 Abhängigkeit des abgegeben Tidalvolumens von der Resistance

Die Mittelwerte (\pm Standardabweichung) der abgegebenen VT werden nun in Bezug zur nachgeschalteten Resistance bei variabler Frequenz und Compliance dargestellt.

Aus **Tabelle 12** ist ersichtlich, dass die Resistance das abgegebene VT nur minimal beeinflusst. Es ist bei unterschiedlicher Resistance bezüglich der Mittelwerte abgegebener Tidalvolumen ein maximaler Unterschied von 2 ml zu finden.

Tabelle 12: Mittelwerte \pm Standardabweichungen der abgegebenen VT vom *Oxylog 3000* in Bezug auf voreingestellte VT und Resistance bei variabler Frequenz und Compliance – alle Werte in ml

	50 ml	60 ml	70 ml	80 ml	90 ml	100 ml
25 mbar/l/s	52 \pm 9	57 \pm 6	64 \pm 5	72 \pm 6	80 \pm 6	80 \pm 7
27 mbar/l/s	50 \pm 9	56 \pm 6	62 \pm 6	70 \pm 7	79 \pm 8	79 \pm 8
34 mbar/l/s	51 \pm 9	57 \pm 6	63 \pm 6	70 \pm 6	78 \pm 7	78 \pm 7

3.3 Ergebnisse – Versuchsaufbau *Oxylog 2000*

Laut Gebrauchsanweisung des *Oxylog 2000* kann das Gerät ab einem VT von 100 ml verwendet werden. Die Genauigkeit dieser Einstellung wird mit \pm 10% des eingestellten Wertes angegeben, beträgt aber mindestens \pm 50 ml (12).

Betrachtet man die Mittelwerte (\pm Standardabweichung) abgegebener VT, unter verschiedenen Beatmungsverhältnissen – bei variabler Frequenz, Resistance und Compliance – zeigt sich, dass stets höhere VT abgegeben werden als eingestellt (Tabelle 13). Bei einem voreingestellten VT von 100 ml werden im Durchschnitt 160 ml abgegeben, was einer Steigerung des eingestellten VT von 60% entspricht. Außerdem werden maximale Volumina von bis zu 225 ml abgegeben. Dies ist mehr als das Doppelte vom eingestellten VT!

Tabelle 13: Mittelwerte, Standardabweichung, Maximal- und Minimalwerte abgegebener VT vom Oxylog 2000 bei variabler Frequenz, Resistance und Compliance – alle Werte in ml

eingestellte VT	100 ml
abgegebene VT	160 ml
\pm SD	33,5 ml
minimaler Wert	125 ml
maximaler Wert	225 ml

SD = Standardabweichung, VT = Tidalvolumen

3.3.1 Abhängigkeit des abgegebenen Tidalvolumens von der Frequenz

Im Folgenden werden die Mittelwerte (\pm Standardabweichung) der abgegebenen VT in Bezug zur eingestellten Frequenz bei variabler Compliance und Resistance dargestellt (Tabelle 14).

Das voreingestellte VT von 100 ml wird bei jeglicher Frequenzeinstellung überschritten. Es zeigt sich, dass das voreingestellte VT von 100 ml mit steigender Frequenz weniger hoch überschritten wird.

Tabelle 14: Mittelwerte \pm Standardabweichungen der abgegebenen VT vom Oxylog 2000 in Bezug auf voreingestelltes VT und voreingestellte Frequenz bei variabler Compliance und Resistance – alle Werte in ml

	100 ml
20/min	185 \pm 44
30/min	155 \pm 22
40/min	141 \pm 14

3.3.2 Abhängigkeit des abgegebenen Tidalvolumens von der Compliance

Die Mittelwerte (\pm Standardabweichung) der abgegebenen VT werden nun in Bezug zur nachgeschalteten Compliance bei variabler Frequenz und Resistance dargestellt.

In **Tabelle 15** wird gezeigt, dass die Compliance die abgegebenen VT beeinflusst. Bei einer Compliance von 28 ml/mbar ist das mittlere abgegebene VT bei gleichen Respiratoreinstellungen um 35% höher als bei einer Compliance von 3 ml/mbar.

Tabelle 15: Mittelwerte \pm Standardabweichungen der abgegebenen VT vom *Oxylog 2000* in Bezug auf voreingestelltes VT und Compliance bei variabler Frequenz und Resistance – alle Werte in ml

	3 ml/mbar	28 ml/mbar	Differenz
100 ml	136 \pm 8	184 \pm 31,8	+ 35%

3.3.3 Abhängigkeit des abgegebenen Tidalvolumens von der Resistance

Die Mittelwerte (\pm Standardabweichung) der abgegebenen VT werden nun in Bezug zur nachgeschalteten Resistance bei variabler Frequenz und Compliance dargestellt.

Aus **Tabelle 16** ist ersichtlich, dass die Resistance das abgegebene VT nur minimal beeinflusst. Es ist bei unterschiedlicher Resistance bezüglich der Mittelwerte abgegebener Tidalvolumen ein maximaler Unterschied von nur 2 ml zu finden.

Tabelle 16: Mittelwerte \pm Standardabweichungen der abgegebenen VT vom *Oxylog 2000* in Bezug auf voreingestelltes VT und Resistance bei variabler Frequenz und Compliance – alle Werte in ml

	100 ml
25 mbar/l/s	160 \pm 35
27 mbar/l/s	161 \pm 35
34 mbar/l/s	159 \pm 37

3.4 Ergebnisse – Versuchsaufbau Beutel-Masken-Beatmung

3.4.1 Hypothese 1

„Es besteht ein Zusammenhang zwischen Schuhgröße und Handgröße der einzelnen Probanden.“

Wie in **Abbildung 11** und **Abbildung 12** dargestellt, besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen der chirurgischen Handschuhgröße und der Schuhgröße ($r=0,4911$; $p=0,027$) sowie zwischen der (wie in **Abbildung 7** gemessenen) Handgröße und der Schuhgröße ($r=0,7661$; $p<0,001$).

Somit unterstützen die gefundenen Daten unsere Hypothese.

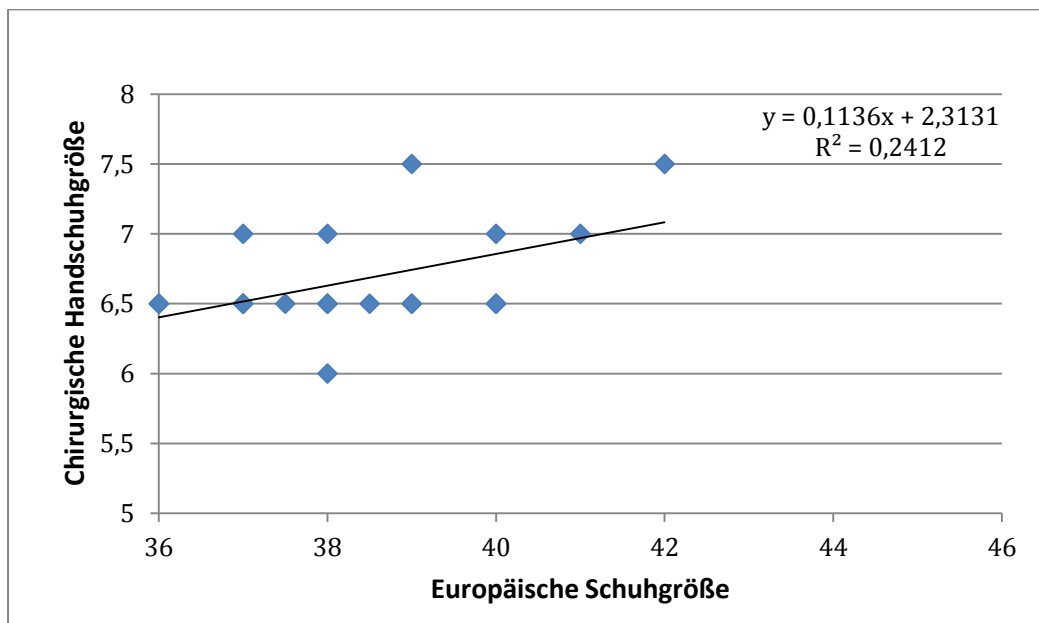


Abbildung 11: Korrelation zwischen der chirurgischen Handschuhgröße und der europäischen Schuhgröße

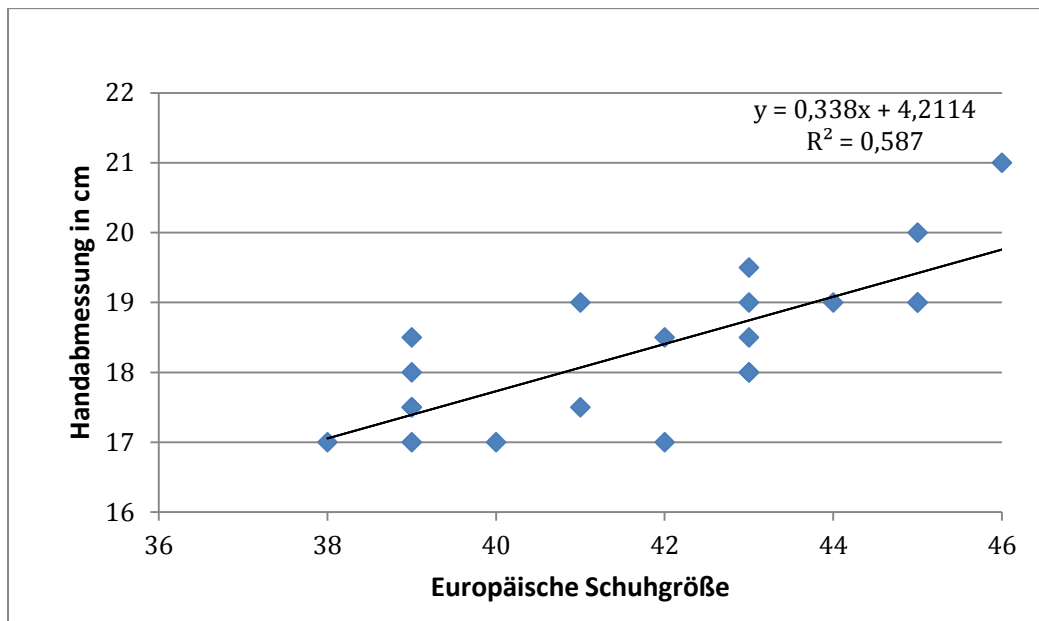


Abbildung 12: Korrelation zwischen der Handabmessung in cm und der europäischen Schuhgröße

3.4.2 Hypothese 2a

„Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Schuhgröße – als indirektes Maß für die Handgröße – und dem abgegebenem Tidalvolumen.“

Wie in **Abbildung 13** und **Abbildung 14** dargestellt, besteht kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem abgegebenen VT mittels Zwei-Fingertechnik und der Schuhgröße des Beatmenden ($r=0,062$; $p=0,70$). Ebenso besteht kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem abgegebenen VT mittels Fünf-Fingertechnik und der Schuhgröße ($r=0,062$; $p=0,71$).

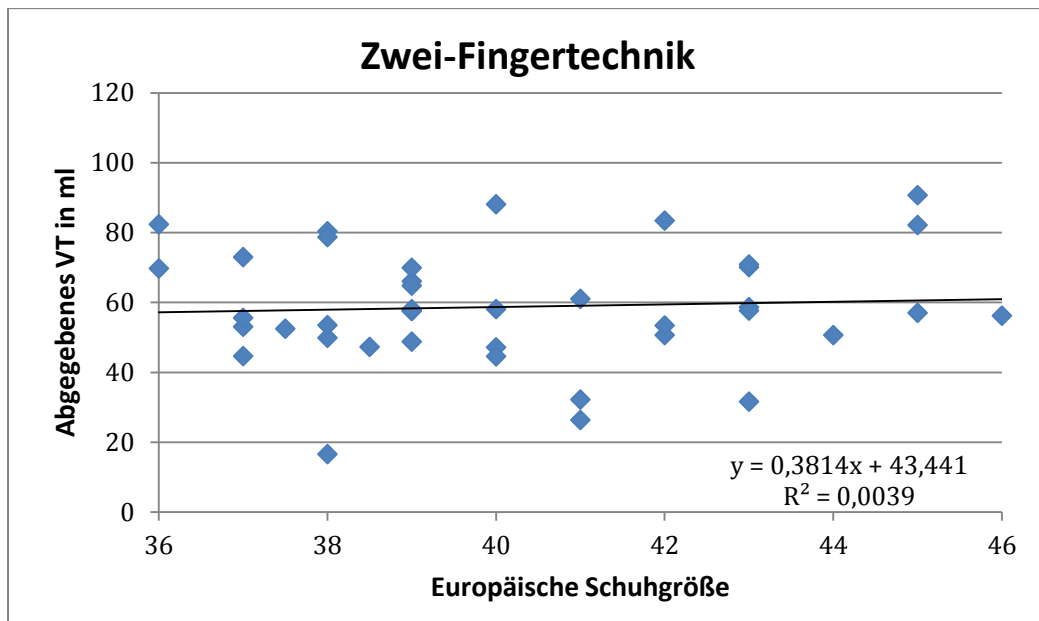


Abbildung 13: Korrelation zwischen dem abgegebenen VT mittels Zwei-Fingertechnik und der Schuhgröße

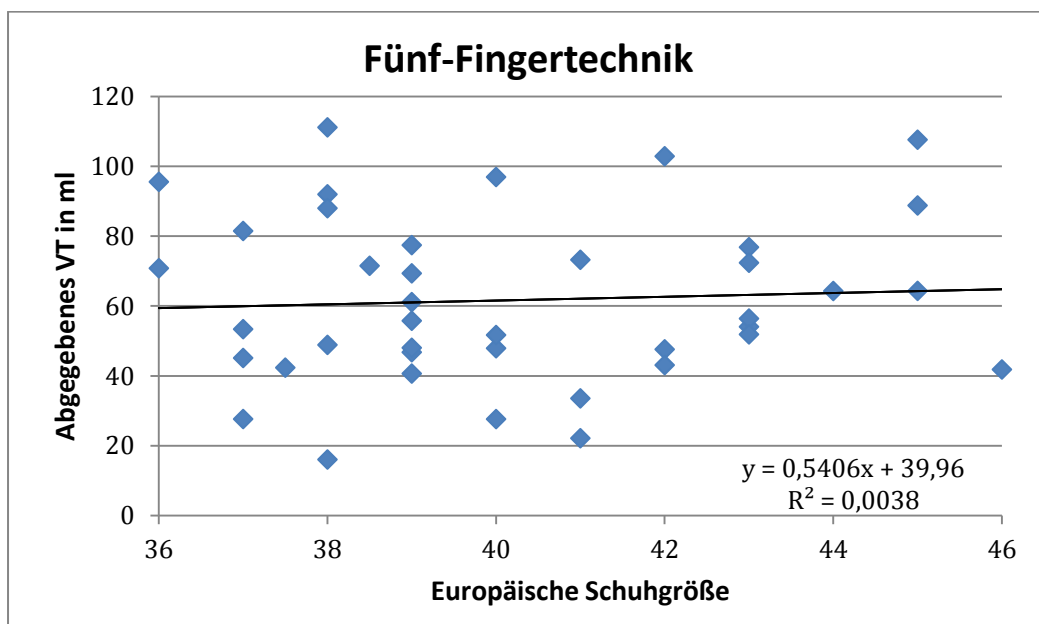


Abbildung 14: Korrelation zwischen dem abgegebenen VT mittels Fünf-Fingertechnik und der Schuhgröße

Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Schuhgröße – als indirektes Maß für die Handgröße – und dem abgegebenem Tidalvolumen. Aufgrund der vorliegenden Daten muss die Hypothese verworfen werden.

3.4.3 Hypothese 2b

„Medizinisch geschultes Personal orientiert sich bei der Beatmung von Neugeborenen an den Thoraxexkursionen. Daher besteht kein Zusammenhang zwischen der verwendeten Beatmungstechnik (Zwei- oder Fünf-Fingertechnik) und dem abgegebenen Tidalvolumen.“

Wie aus **Abbildung 15** ersichtlich, geben manche Probanden bei einer Beatmung mittels Fünf-Fingertechnik größere VT ab, als bei der Beatmung mittels Zwei-Fingertechnik. Manche Probanden geben allerdings größere VT bei der Beatmung mittels Zwei-Fingertechnik ab. Im Mittel werden $2,9 \pm 14,9$ ml mehr abgegeben, wenn eine Fünf-Fingertechnik angewendet wird.

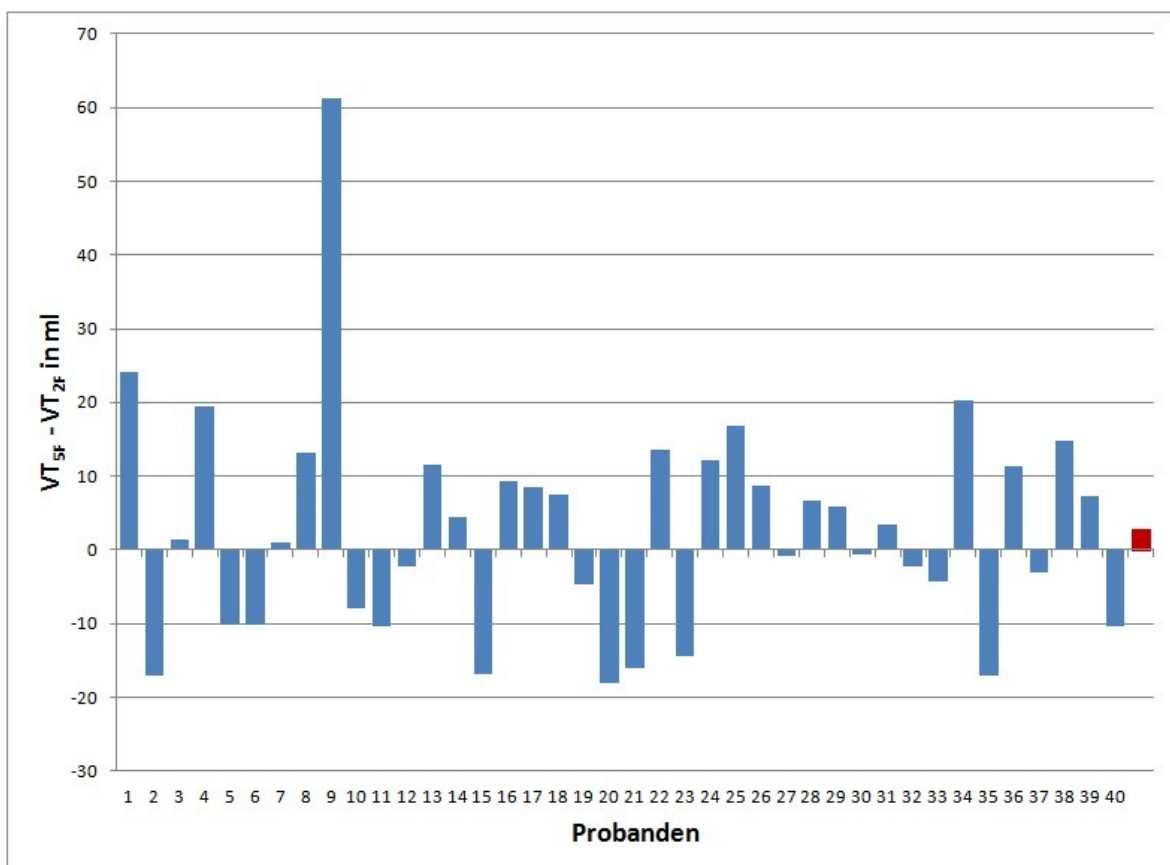


Abbildung 15: Balkendiagramm der Differenzen zwischen dem abgegebenen VT mittels Fünf-Fingertechnik (VT_{5F}) und dem abgegebenen VT mittels Zwei-Fingertechnik (VT_{2F}) dargestellt für jeden einzelnen Probanden. Der letzte rechte Balken zeigt den Mittelwert aller Differenzen.

Es besteht kein signifikanter Zusammenhang zwischen der verwendeten Beatmungstechnik (Zwei- oder Fünf-Fingertechnik) und dem abgegebenen VT ($p=0,22$). Die Ergebnisse unterstützen die formulierte Hypothese.

3.4.4 Hypothese 3a

„Die Handgröße beeinflusst die Handhabung mit Beutel und Maske bezüglich einer adäquaten Maskenposition. Es besteht daher ein Zusammenhang zwischen der Schuhgröße – als indirektes Maß für die Handgröße – und dem gemessenen Maskenleck.“

Wie in **Abbildung 16** und **Abbildung 17** ersichtlich, besteht weder ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Maskenleck bei durchgeführter Zwei-Fingertechnik und der Schuhgröße ($r=0,112$; $p=0,49$), noch besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Maskenleck bei durchgeführter Fünf-Fingertechnik und der Schuhgröße ($r=0,226$; $p=0,16$).

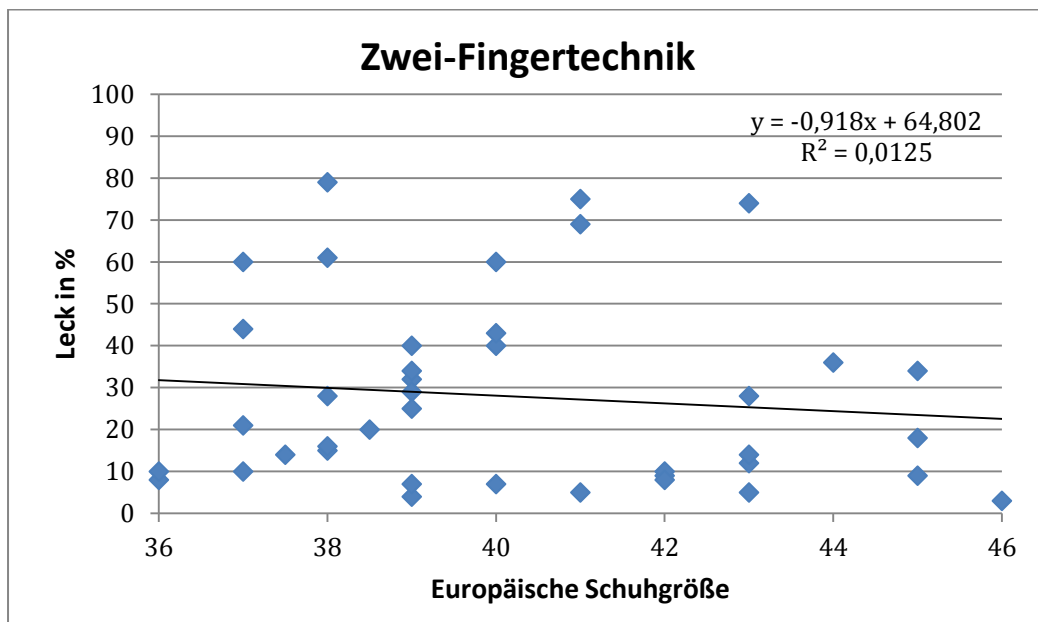


Abbildung 16: Korrelation zwischen dem Maskenleck in % bei durchgeführter Zwei-Fingertechnik und der Schuhgröße

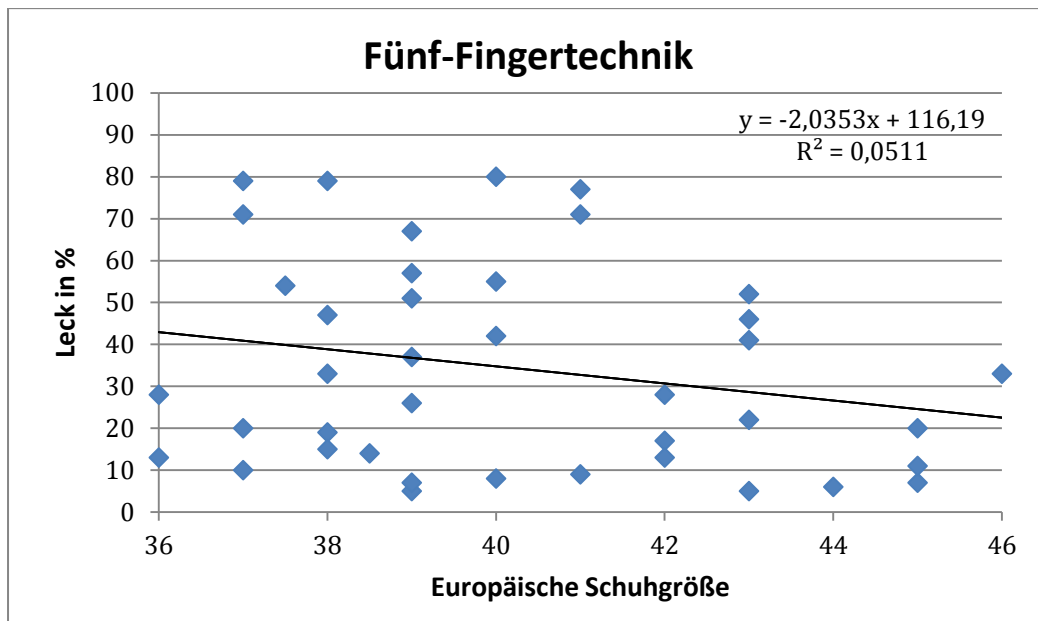


Abbildung 17: Korrelation zwischen dem Maskenleck in % bei durchgeführter Zwei-Fingertechnik und der Schuhgröße

Es besteht kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Schuhgröße – als indirektes Maß für die Handgröße – und dem gemessenen Maskenleck. Aufgrund der vorliegenden Daten muss die Hypothese verworfen werden.

3.4.5 Hypothese 3b

„Die verwendete Beatmungstechnik (Zwei- oder Fünf-Fingertechnik) hat keinen Einfluss auf das Maskenleck.“

Es besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen der verwendeten Beatmungstechnik und dem Maskenleck. Bei der Verwendung einer Zwei-Fingertechnik betrug das Maskenleck im Mittel 27,9%, bei einer Beatmung mit einer Fünf-Fingertechnik betrug das Maskenleck im Mittel 34,3%.

Die verwendete Beatmungstechnik (Zwei- oder Fünf-Fingertechnik) hat entgegen der Hypothese einen signifikanten Einfluss auf das Maskenleck ($p=0,02$).

3.4.6 Hypothese 4

„Es bestehen Unterschiede in der Qualität der Beatmung hinsichtlich des abgegebenen Tidalvolumens, der Beatmungsfrequenz und des Maskenlecks zwischen Notfall- bzw. Rettungssanitätern und diplomierten Kinderkrankenschwestern.“

Abgegebenes Tidalvolumen:

Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen Notfall- bzw. Rettungssanitätern und diplomierten Kinderkrankenschwestern hinsichtlich des abgegebenen VT – weder bei der Beatmung mit Zwei-Fingertechnik (57,3 ml vs. 60,2 ml; $p=0,55$) noch bei der Beatmung mit Fünf-Fingertechnik (59,8 ml vs. 63,6 ml; $p=0,63$).

Beatmungsfrequenz:

Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen Notfall- bzw. Rettungssanitätern und diplomierten Kinderkrankenschwestern hinsichtlich der Beatmungsfrequenz – sowohl bei der Beatmung mit Zwei-Fingertechnik (37/min vs. 56/min; $p<0,001$) als auch bei der Beatmung mit Fünf-Fingertechnik (35/min vs. 52/min; $p<0,001$).

Maskenleck:

Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen Notfall- bzw. Rettungssanitätern und diplomierten Kinderkrankenschwestern hinsichtlich des Maskenlecks – weder bei der Beatmung mit Zwei-Fingertechnik (24,4% vs. 31,5%; $p=0,32$) noch bei der Beatmung mit Fünf-Fingertechnik (27,9% vs. 40,9 %; $p=0,09$).

Es bestehen Unterschiede in der Ausführung der Beutel-Masken-Beatmung am Neugeborenenphantom zwischen Notfall- bzw. Rettungssanitätern und diplomierten Kinderkrankenschwestern hinsichtlich der Beatmungsfrequenz, nicht aber hinsichtlich des abgegebenen VT und des Maskenlecks. Somit konnte die Hypothese zumindest für einen Beatmungsparameter bestätigt werden.

4 Diskussion

4.1 Diskussion der Fragestellung

Kindernotfälle sind in der Prälinik ein seltenes Ereignis. Bei der Versorgung von pädiatrischen Notfallpatienten treten bei den behandelnden Notärzten immer wieder Unsicherheiten auf. Eine suffiziente Beatmung von Neugeborenen, Säuglingen und Kleinkindern ist für präklinisch tätige Ärzte der unterschiedlichen Fachbereiche nicht immer komplikationslos durchzuführen.

Klare Richtlinien über die Durchführung einer Beatmung von pädiatrischen Notfallpatienten für die Prälinik sind derzeit nicht verfügbar. Die Evidenzlage bezüglich der einzusetzenden Beatmungshilfen ist schlecht; häufig kann man sich lediglich auf Expertenmeinungen stützen. Um Übersicht über die vorhandene Literatur zu geben und einige Fragestellungen experimentell zu klären, entstand die Idee dieser Diplomarbeit.

Ziel ist es einerseits die möglichen Hilfsmittel zur Beatmung von Neugeborenen, Säuglingen und Kleinkindern zu evaluieren und die Praktikabilität ihres Einsatzes in den unterschiedlichen Altersklassen aufzuzeigen.

Andererseits wird versucht mittels unterschiedlicher Versuche sowohl mit den Notfallrespiratoren *Oxylog 3000* und *Oxylog 2000* als auch mit einem Beatmungsbeutel und unterschiedlichen Beatmungstechniken (Zwei-Fingertechnik und Fünf-Fingertechnik) Empfehlungen zur suffizienten und sicheren Beatmung von Kindern in den unterschiedlichen Altersklassen zu geben.

Des Weiteren soll der Versuch mit der Beutel-Masken-Beatmung evaluieren, ob vorhandene Empfehlungen über die Technik zur Beatmung von Kindern hilfreich sind und eingehalten werden sollten.

Die Ergebnisse dieser Versuche könnten in Zukunft Grundlage für Empfehlungen zur Vermeidung von Hypoventilation oder Volutraumata bei der Beatmung von Kindern in den unterschiedlichen Altersklassen sein.

4.2 Diskussion der Methodik

4.2.1 Literaturrecherche

Die systematische Literaturrecherche wurde in erster Linie mit der im Bereich der Biomedizin bestens etablierten online-Datenbank *PubMed* durchgeführt. Bei der Suche wurden die Schlagwörter so gewählt, dass möglichst alle zu evaluierenden Beatmungshilfen und das Atemwegsmanagement beim kindlichen Notfallpatienten im Allgemeinen abgedeckt wurden, und im Besonderen der Aspekt der präklinischen Versorgung Beachtung gefunden hat.

Da besonders im mitteleuropäischen Raum die prähospitalen ärztliche Versorgung Tradition hat (im Unterschied zum angloamerikanischen *Paramedic*-System), wurde für die Suche der zahlreichen deutschsprachigen Publikationen zu dieser Thematik zusätzlich die Suchmaschine *Google Scholar* herangezogen, da in *PubMed* diese Arbeiten nur unzureichend gelistet werden.

Des Weiteren wurde das Schneeballsystem angewendet, durch welches weitere Publikationen zu den einzelnen Fragestellungen identifiziert werden konnten.

4.2.2 Versuchsaufbau *Oxylog 3000/2000*

Es wurde versucht den Versuchsaufbau möglichst realitätsnah an eine pädiatrische Beatmungssituation anzupassen. Dennoch gibt es einige Punkte, welche zur Diskussion gebracht werden müssen:

- Es ist anzumerken, dass der Versuch mit dem *Oxylog 3000* und der Versuch mit dem *Oxylog 2000* jeweils nur mit einem Gerät durchgeführt wurde. Es ist zu diskutieren, dass die jeweils untersuchten Geräte nicht zur Repräsentation aller Geräte des selben Typs herangezogen werden können.
- Des Weiteren wurde bei unseren Versuchen der herkömmliche Mehrweg-Beatmungsschlauch der *Oxylog* Geräte verwendet. Für die Beatmung von

Kindern wurde vom Hersteller ein Kinderbeatmungsschlauch mit geringerem Totraum und niedrigerer Compliance entwickelt. Allerdings wird auf allen Grazer Notfalleinsatzmitteln nur der herkömmliche Beatmungsschlauch mitgeführt. Somit steht Notärzten für die Beatmung von Kindern kein eigens angepasster Beatmungsschlauch zur Verfügung und die Verwendung eines Kinderbeatmungsschlauches für die Versuche hätte keine reale Situation eines präklinischen Einsatzszenarios dargestellt.

- Die Einstellungen am *Oxylog 3000* und am *Oxylog 2000* für das abzugebende VT und die Beatmungsfrequenz werden mittels eines Drehknopfes mit stufenloser Verstellbarkeit vorgenommen. Es bedarf daher großer Genauigkeit, um eine exakte Einstellung anhand der aufgedruckten Skalierung zu treffen. Jedoch konnten wir wiederholt bei gleichen Einstellungen gleiche Messwerte erzielen.
- Es konnten mit den vorhandenen Utensilien nicht alle möglichen Werte für Compliance und Resistance imitiert werden. Allerdings wurde versucht die unterschiedlichen Altersklassen mit ihren Eigenschaften bezüglich Resistance und Compliance möglichst gut darzustellen.
- Die Messzeit von 2 Minuten pro Einstellungen spiegelt keine reale Beatmungssituation wider, da die Zeit der Beatmung auch präklinisch meist mehrere Minuten andauert. Dennoch sollte ein Gerät die gewünschten Tidalvolumina nicht erst nach Minuten abgeben, da Hypoventilation oder Volutraumata vor allem bei Kindern schnell zu Komplikationen führen können. Wir konnten außerdem beobachten, dass das abgegebene Tidalvolumen bei den einzelnen Beatmungseinstellungen über die gesamte Messzeit einer minimalen Schwankungsbreite unterliegt.

Trotz oben genannter Diskussionspunkte können mit den vorliegenden Ergebnissen Empfehlungen bezüglich der Beatmung von pädiatrischen Notfallpatienten mit dem *Oxylog 3000* oder dem *Oxylog 2000* gegeben werden.

4.2.3 Versuchsaufbau Beutel-Masken-Beatmung

Für diesen Versuchsaufbau wurde medizinisch geschultes Personal auf freiwilliger Basis rekrutiert. Daher war die Vorbildung in der Durchführung der Beatmung von Neugeborenen Voraussetzung für die Teilnahme an der Studie.

Die Erfahrung und die Möglichkeit, Thoraxexkursionen während einer Beatmung zu evaluieren, beeinflusst das abgegebene Tidalvolumen. Im Besonderen ist es daher interessant, ob sich die abgegebenen Tidalvolumina je nach angewandter Technik (Zwei-Fingertechnik oder Fünf-Fingertechnik) unterscheiden. Die Notwendigkeit von vorhandenen Leitlinien für geschultes medizinisches Personal bezüglich der Beatmungstechnik und der empfohlenen Anzahl der zur Kompression des Beatmungsbeutels zu verwendenden Finger können hierdurch evaluiert werden.

Aufgrund theoretischer Überlegungen beeinflussen das Geschlecht und die Handgröße des Probanden das abgegebene Tidalvolumen. Hier ist ins Besondere interessant, ob diese Abhängigkeiten trotz optischen Feedbacks über das Ausmaß der Thoraxbewegungen gegeben sind.

Es wurden die Probanden aus unterschiedlichen Berufsgruppen –Notfall- bzw. Rettungssanitäter und diplomierte Kinderkrankenschwestern – auserwählt, um eine breite Streuung der Handgröße und Schuhgröße sowie eine annähernd gleiche Geschlechterverteilung zu erzielen.

Der Kreis der freiwilligen diplomierten Kinderkrankenschwestern setzte sich ausschließlich aus weiblichen Personen zusammen, welche verhältnismäßig kleine Schuh- und Handgrößen aufwiesen. Im Kreise der Notfall- und Rettungssanitäter gab es sowohl männliche als auch weibliche Probanden, wobei die Anzahl an männlichen Personen überwogen hat. Diese trugen größere Schuhe und hatten größere Hände.

Im Laufe der Studie stellte sich heraus, dass Notfall- und Rettungssanitäter zu meist ihre chirurgische Handschuhgröße nicht kannten, da im Rettungsdienst nur Einweghandschuhe mit den Größenbezeichnungen *Small*, *Medium* und *Large*

eingesetzt werden.. Daher wurde in solchen Fällen die Handgröße, wie in **Abbildung 7** dargestellt, gemessen.

4.3 Diskussion der Ergebnisse

4.3.1 Ergebnisse der Literaturrecherche

Zusammenfassend ist zu sagen, dass nur wenig Literatur zu den einzelnen Beatmungshilfen und deren Einsatz an pädiatrischen Notfallpatienten in der Präklinik gefunden werden konnte.

Ein Grund hierfür könnte sein, dass im Allgemeinen weniger Studien an Kindern vorgenommen und präklinische Studien eher selten durchgeführt werden. Außerdem werden viele der genannten Beatmungshilfen bereits seit Jahren unumstritten eingesetzt, sodass Studien nach heutigen Standards zur Evaluierung dieser gut etablierten Hilfsmittel einfach nie durchgeführt wurden.

Die gefundene Literatur bestätigte fast ausnahmslos, dass Beatmungshilfen, deren Einsatz beim Erwachsenen als sicher eingestuft wurde, in adäquater Größe auch beim pädiatrischen Patienten eingesetzt werden können.

Aufgrund des sich ständig ändernden Marktes für Hilfsmittel, welche zur Beatmung von pädiatrischen Patienten eingesetzt werden können, und einer großen Bandbreite an unterschiedlichen Devices, wurden für diese Arbeit nur die auf den Notfalleinsatzmitteln im Ballungsraum Graz eingesetzten Utensilien evaluiert.

4.3.1.1 Beutel-Masken-Beatmung

Den Ergebnissen zu Folge ist eine Beutel-Masken-Beatmung eine bei Kindern für geübte Anwender meist mögliche und suffiziente Form der Beatmung. Dennoch zeigen sich einige Punkte, welche hierbei beachtet werden sollten.

Für den Fall, dass sich eine Beatmung mittels Gesichtsmaske und Beutel insuffizient erweist, sollte man die möglichen behebbaren Ursachen für das

Problem kennen, um eventuelle anatomische oder funktionelle Ursachen beheben zu können. In einem präklinischen Einsatzszenario kann sich dies eventuell schwierig gestalten. Daher wäre es für jeden Notarzt sinnvoll eine Checkliste bereitzustellen, welche die möglichen behebbaren Ursachen für eine nicht adäquate Beatmung auflistet, um im Notfall rasch adäquat reagieren zu können.

Die Verwendung eines Beatmungsbeutels wird in vielen Schulungen durchgeführt und geübt. Was jedoch häufig außer Acht gelassen wird, sind die technischen Spezifikationen der einzelnen Beutel. Maximale Abgabevolumina der mitgeführten Beatmungsbeutel sollten zum Wissen eines jeden Notarztes zählen, um im Ernstfall die Wahl für den richtigen Beatmungsbeutel treffen zu können und jedes Kind der unterschiedlichen Altersklassen adäquat zu beatmen.

Ebenso kann es für den sicheren Einsatz eines Beatmungsbeutels nützlich sein, durch Übungen das Gefühl für den richtigen Beatmungsdruk zu erlangen. Eignen würde sich hierfür der Versuch mit einem Endotrachealtubus und einem Eimer voll Wasser wie in Kapitel 3.1.2.1 beschrieben. Es ist zu diskutieren, ob ein solcher Versuchsaufbau bei etwaigen Schulungen zum Einsatz kommen sollte.

Trotz häufig durchgeführter Schulungen und Übungen, kommt es bei einer Beutel-Masken-Beatmung zu hohen Maskenlecks. Deshalb gilt es darauf zu achten, dass die Maske luftdicht abschließt, allerdings ohne dabei zu großen Druck auf den kindlichen Kopf auszuüben. Ebenso ist es wichtig die Größe der Maske an die Größe des Kindes anzupassen (33).

Fraglich ist, ob Thoraxexkursionen als einziges Feedback über die Suffizienz der Beatmung genügend Rückschluss über das Maskenleck liefern. Eine durchgeführte Studie an einer neonatologischen Abteilung bei der Ärzte und diplomierte Kinderkrankenschwestern teilnahmen, zeigte, dass ein zusätzliches Monitoring durch einen Respiratory Function Monitor hilfreich für eine möglichst leckfreie Beatmung war. Nach Abdecken dieses Monitors stieg das Maskenleck in allen Berufsgruppen an (34).

Da in einem präklinischen Setting zumindest derzeit ein solcher Monitor nicht zur Verfügung steht, muss genaues Augenmerk auf die richtige Positionierung und

Dichtigkeit der Maske gelegt werden. Allerdings kann ein solcher Respiratory Function Monitor zum Training einer Maskenbeatmung verwendet werden, um die korrekte Maskenhaltung und Positionierung zu erlernen (35). Zukünftig wäre die Integration der vom Respiratory Function Monitor angebotenen Funktionen in bestehende präklinisch eingesetzte EKG-Monitore oder Defibrillatoren wünschenswert.

4.3.1.2 Endotracheale Intubation

In vorliegenden Publikationen wird eine endotracheale Intubation in der Präklinik für Geübte auch bei Kindern empfohlen.

Es stellt sich allerdings die Frage, wer als geübt bezeichnet werden kann. Hierzu gibt es keine Empfehlungen. Geübte Notärzte können den Versuch einer Intubation wagen, dennoch sollte stets eine Alternative bereit gehalten werden (3).

Präklinische Notfälle mit pädiatrischen Patienten, welche mittels endotrachealer Intubation versorgt werden müssen, sind ein seltenes Ereignis (1). Auch regelmäßig Dienst versehende Notärzte können daher im Einsatz nicht eine genügend große Anzahl an Intubationen am pädiatrischen Patienten erreichen um ausreichend Übung und Erfahrung zu sammeln. Daher wären regelmäßige Übungen am Phantom und innerklinische Praktika auf kideranästhesiologischen Abteilungen vonnöten, um als „geübt“ eingestuft werden zu können.

Selbst innerklinisch können die Intubationszahlen von bestimmten Patientengruppen zu gering sein, um ausreichend Erfahrung zu sammeln. Nur 3-6% aller Neugeborenen brauchen respiratorische Unterstützung, eine endotracheale Intubation wird noch wesentlich seltener notwendig (35). In der Literatur wird beschrieben, dass jeder Arzt auf einer Früh- und Neugeborenenstation die Intubation beherrschen sollte, dies jedoch bei einer niedrigen Intubationsnotwendigkeit der Patienten und einer großen Personalfuktuation schwer realisierbar ist (33).

Eine multizentrische Studie zeigte, dass selbst an neonatologischen Abteilungen tätige Ärzte in den unterschiedlichen Ausbildungsstufen und medizinische

Fachangestellte mehrere Versuche für eine erfolgreiche Intubation von Frühgeborenen benötigen. Nur 36,5% dieser Neugeborenen konnten beim ersten Versuch erfolgreich intubiert werden. Erst nach dem achten Versuch waren 100% der Neugeborenen erfolgreich intubiert (36). Diese Studie zeigt, dass selbst vermeintlich Geübte keine guten Erfolgsraten bei der Intubation von Frühgeborenen haben.

Eine Intubation von Neugeborenen, Säuglingen oder Kleinkindern in einem präklinischen, ungewohnten Setting sollte daher gut überlegt sein. Die Notwendigkeit und der Nutzen sollten gut abgewogen werden und Alternativen für eine Beatmung sollten in Reichweite gehalten werden.

Bezüglich der zu verwendenden Utensilien ergab die Literaturrecherche eindeutige Empfehlungen. Neugeborene und Säuglinge sind leichter mit einem geraden Miller Spatel zu intubieren, da durch diesen trotz der anatomischen Besonderheiten im Unterschied zu anderen Spateln eine gute Sicht zum Larynxeingang gewährleistet wird (25). Ebenso wird empfohlen Neugeborene und Säuglinge mit einem Endotrachealtubus ohne Cuff zu versorgen, da hierbei die Komplikationsraten geringer sind (28).

4.3.1.3 Extraglottische Atemwege

Es gibt kaum Studien über den Einsatz von extraglottischen Atemwegen – im Speziellen für den auf allen Grazer Notfalleinsatzmitteln mitgeführten Larynxtubus – an pädiatrischen Patienten. Zwar wird der Einsatz eines extraglottischen Atemweges als Alternative empfohlen, über die Dichtigkeit und Sicherheit bei kleinen Patienten gibt es allerdings wenige Daten.

Während es zur Beatmung mit dem Larynxtubus beim Erwachsenen gute Daten gibt und dieser Steiermark-weit auch von Sanitätern als Alternative zur Beutel-Masken-Beatmung erfolgreich eingesetzt wird, gibt es zum Einsatz am pädiatrischen Patienten im Grazer Notfallwesen nur einzelne mündliche Fallberichte. So wurde der Larynxtubus zweimal nach neonataler Reanimation und erfolglosen Intubationsversuchen von Notärzten eingesetzt. Bei einem

Neugeborenen war die Ventilation über dieses Device nicht möglich, beim anderen konnte eine ausreichende Oxygenierung ($\text{SpO}_2 \sim 80\%$) erzielt werden. Der versuchte Einsatz bei einem *very low birth weight*-Frühgeborenen war aufgrund der zu großen Ausmaße des kleinsten verfügbaren Larynxtubus nicht möglich. Somit stehen bei Frühgeborenen außer der Beutel-Masken-Beatmung keine Alternativen zur endotrachealen Intubation zur Verfügung.

Auf einem der beiden Grazer Notarzteinsatzfahrzeuge werden zusätzlichen zu den Larynxtuben auch Larynxmasken mitgeführt, allerdings nicht die kleinste Größe für Neugeborene und Säuglinge bis 5kg. Die Larynxmaske wird von den ERC Guidelines 2010 bei Neugeborenen > 2000 g als Alternative zur Maskenbeatmung oder der endotrachealen Intubation empfohlen (37).

Auch für Kinder sind Larynxmasken eine gute Alternative bei einer insuffizienten Beutel-Masken-Beatmung oder bei Atemwegobstruktionen durch supraglottische Fehlbildungen. Dennoch ist die Verwendung der Larynxmaske bei kleinen Kindern mit einer höheren Komplikationsrate verbunden als beim Erwachsenen. Für Kinder können auch andere supraglottische Atemwegshilfen, welche in der Kinderanästhesie erfolgreich eingesetzt werden, in Notfallsituationen Verwendung finden (29).

Daher ist zu diskutieren, ob es sinnvoll wäre, alle Grazer Notfalleinsatzmittel mit Larynxmasken in allen kleinen Größen (1 – 1,5 – 2 – 2,5 – 3) auszustatten, um stets eine weitere Alternative, welche in der Literatur empfohlen wird, einsetzen zu können.

4.3.2 Versuchsaufbau *Oxylog 3000*

Laut Herstellerangaben ist die Genauigkeit der Einstellung für VT $\pm 15\%$ des eingestellten Wertes oder ± 25 ml, wobei hier der größere Wert herangezogen werden muss (32). Bei kleinen voreingestellten VT zeigte sich beim Versuch mit dem *Oxylog 3000* zwar dass die Angabe der Genauigkeit von ± 25 ml eingehalten werden konnte, dies allerdings bis zu $\pm 40\%$ des eingestellten Wertes ausmachte.

Im Generellen ist anzumerken, dass der *Oxylog 3000* unabhängig von Frequenz, Resistance und Compliance bei einem voreingestellten VT von 50 ml tendenziell mehr Volumen abgibt als eingestellt und bei höheren VT von 60 – 70 – 80 – 90 – 100 ml weniger Volumen abgibt, als am Gerät eingestellt wurde.

Da der Notfallrespirator laut Herstellerangaben ab einem VT von 50 ml verwendbar ist, sollte bedacht werden, dass es bei der Minimaleinstellung zu einer Abgabe von mehr als 50 ml kommen kann. Um bei einem Zieltidalvolumen von etwa 50 ml ein Volutrauma zu vermeiden, muss eine alternative Beatmung mit einem Beatmungsbeutel in Erwägung gezogen werden.

Bei Einstellungen von 70 – 80 – 90 – 100 ml sollte – um eine Hypoventilation zu vermeiden – tendenziell mehr Volumen voreingestellt werden, um eine Abgabe des gewünschten VT zu erreichen.

Betrachtet man die abgegebenen Mittelwerte für VT in Abhängigkeit von der Frequenz, unabhängig von Resistance und Compliance, verstärkt sich die oben angesprochene Beobachtung.

Nehme man das *Beispiel 1*, wie in **Tabelle 17** dargestellt, mit den voreingestellten Werten von 50 ml und 20/min, beträgt das abgegebene VT bis zu 70 ml, was einer Steigerung des eingestellten VT von circa 40% entspricht. Zwar wird die Genauigkeitsangabe des Herstellers eingehalten, da rechnerisch bei einer Einstellung von 50 ml und einer Genauigkeit von ± 25 ml die Abgabe eines Volumens von bis zu 75 ml möglich wäre.

Die Einstellung von einem VT von 50 ml würde bei einem Kind mit circa 6-7 kg Körpergewicht vorgenommen werden und eine Steigerung des VTs um 40% könnte bei diesen kleinen Kindern gravierende Folgen mit sich bringen.

Umso höher die Frequenzen eingestellt werden, umso weniger Volumen wird bei einem voreingestellten VT von 50 ml abgegeben, was bedeutet, dass bei einem voreingestellten VT von 50 ml und höheren Frequenzen – sprich 30 – 40 – 50/min – das abgegebene VT genauer eingehalten wird.

Wenn das abgegebene VT größer als 8 ml/kg Körpergewicht ist, kann dies zu Verletzungen der Lunge führen (38).

Daher ist zu beachten, dass Kinder, welche ein VT von etwa 50 ml benötigen mit höheren Frequenzen beatmet werden um ein eventuelles Volutrauma zu vermeiden. Dies macht aber eine strenge Überwachung des

Kohlendioxidpartialdrucks (pCO₂) im Blut notwendig, um eine Hypokapnie zu vermeiden. Will man ein kleines VT bei niedriger Frequenz erzielen, ist empfehlenswert auf eine Beatmung mit Beatmungsbeutel umzusteigen.

Tabelle 17: *Beispiel 1* - Mittelwerte ± Standardabweichungen der abgegebenen VT vom Oxylog 3000 in Bezug auf voreingestellte VT und voreingestellte Frequenz bei variabler Compliance und Resistance – alle Werte in ml

	50 ml	60 ml	70 ml	80 ml	90 ml	100 ml
20/min	!! 63 ± 7 !!	62 ± 7	62 ± 7	68 ± 8	75 ± 8	77 ± 9
30/min	46 ± 4	54 ± 5	62 ± 6	70 ± 7	79 ± 7	78 ± 7
40/min	46 ± 4	55 ± 5	63 ± 6	71 ± 6	79 ± 7	79 ± 7
50/min	47 ± 4	55 ± 4	63 ± 5	72 ± 5	80 ± 6	79 ± 6

Ebenso wird das VT bei einem voreingestellten Wert von 60 ml und einer Frequenz von 20/min überschritten; in diesem Ausmaß dürfte dies klinisch aber wenig Relevanz haben. Mit steigender Frequenz wird das voreingestellte VT von 60 ml tendenziell unterschritten.

Bei höheren voreingestellten VT wird auch in Abhängigkeit von der Frequenz das voreingestellte Volumen stets unterschritten.

Nehme man das *Beispiel 2*, wie in **Tabelle 18** dargestellt, eines voreingestellten VT von 100 ml und einer voreingestellten Frequenz von 20/min. Hier beträgt der Mittelwert des abgegebenen VT 77 ml, was eine Unterschreitung des eingestellten Volumens von 33% bedeutet. Durch eine Steigerung der Beatmungsfrequenz steigt bei einem voreingestellten VT von 100 ml das abgegebene VT im Durchschnitt um 2 ml.

Ähnliches zeigt sich auch bei den Einstellungen von 70 – 80 – 90 ml. Bei Einstellungen dieser Größenordnung ist es daher empfehlenswert die Einstellungen der VT am *Oxylog 3000* höher zu wählen und mit einer ständigen Überwachung des Patienten und des abgegebenen Minutenvolumens eine Hypoventilation zu vermeiden.

Zum Beispiel muss, um ein tatsächliches VT von 80 ml zu erreichen, die Einstellung für das VT am Gerät mit 100 ml gewählt werden.

Tabelle 18: Beispiel 2 - Mittelwerte \pm Standardabweichungen der abgegebenen VT vom Oxylog 3000 in Bezug auf voreingestellte VT und voreingestellte Frequenz bei variabler Compliance und Resistance – alle Werte in ml

	50 ml	60 ml	70 ml	80 ml	90 ml	100 ml
20/min	63 \pm 7	62 \pm 7	62 \pm 7	68 \pm 8	75 \pm 8	!! 77 \pm 9 !!
30/min	46 \pm 4	54 \pm 5	62 \pm 6	70 \pm 7	79 \pm 7	78 \pm 7
40/min	46 \pm 4	55 \pm 5	63 \pm 6	71 \pm 6	79 \pm 7	79 \pm 7
50/min	47 \pm 4	55 \pm 4	63 \pm 5	72 \pm 5	80 \pm 6	79 \pm 6

Betrachtet man die Mittelwerte der abgegebenen VT abhängig von der Compliance und unabhängig von Frequenz und Resistance zeigt sich, dass bei einer Compliance von 28 ml/mbar – was der Compliance eines Kleinkindes entsprechen würde – bis zu 19% mehr Volumen abgegeben wird als bei einer Compliance von 3 ml/mbar – was der Compliance eines Neugeborenen entsprechen würde. Diese Differenz variiert abhängig von den voreingestellten VT minimal.

Daraus lässt sich schließen, dass eine niedrigere Compliance und damit eine schlechtere Dehnbarkeit der Lunge, die Abgabe niedrigerer VT zur Folge hat. Dies kann einerseits eine Hypoventilation zur Folge haben, andererseits sollte der maximale Atemwegsdruck nicht außer Acht gelassen werden, um ein Barotrauma zu vermeiden.

Betrachtet man die Mittelwerte der abgegebenen VT abhängig von der Resistance und unabhängig von Compliance und Frequenz zeigt sich, dass die Resistance die Mittelwerte der abgegebenen VT nur minimal beeinflusst. Es ist daher nicht zu erwarten, dass die unterschiedlichen Werte für Resistance in den unterschiedlichen Altersklassen zu Komplikationen bei der Beatmung wie Hypoventilation oder Volutrauma führen können.

4.3.3 Versuchsaufbau Oxylog 2000

Anders als beim Oxylog 3000 werden beim Oxylog 2000 die Angaben des Herstellers nicht eingehalten. Die Genauigkeit des abgegebenen VT wird mit $\pm 10\%$ des eingestellten Wertes angegeben, beträgt aber mindestens ± 50 ml (12).

Der Mittelwert der abgegebenen VT liegt bei einem voreingestellten VT von 100 ml bei 160 ml und es werden Maximalwerte von 225 ml erreicht, was mehr als das Doppelte des voreingestellten VT ausmacht.

Ebenso liegt der kleinste gemessene Wert 25 ml über dem voreingestellten Wert. Eine Beatmung eines Kindes, welches ein VT von 100 ml benötigen würde, ist daher mit dem *Oxylog 2000* nur mit größter Vorsicht durchzuführen und man sollte eine alternative Beatmung mit einem Beatmungsbeutel in Betracht ziehen.

Betrachtet man die abgegebenen Mittelwerte der VT in Abhängigkeit von der Frequenz, unabhängig von Resistance und Compliance zeigt sich selbiges Phänomen wie beim *Oxylog 3000*. Das voreingestellte VT von 100 ml wird zwar bei jeglichen Frequenzen überschritten, es zeigt sich aber, dass das voreingestellte VT bei steigender Frequenz weniger hoch überschritten wird. Dennoch ist auch eine Beatmung mit einem voreingestellten VT von 100 ml bei hohen Frequenzen nicht empfehlenswert, da auch hier das voreingestellte VT deutlich überschritten wird.

Betrachtet man die Mittelwerte der abgegebenen VT abhängig von der Compliance und unabhängig von Frequenz und Resistance, zeigt sich, dass bei einer Compliance von 28 ml/mbar – was der Compliance eines Kleinkindes entsprechen würde – bis zu 35% mehr Volumen abgegeben wird als bei einer Compliance von 3 ml/mbar – was der Compliance eines Neugeborenen entsprechen würde. Ebenso wie beim *Oxylog 3000* scheint eine niedrigere Compliance und damit eine schlechtere Dehnbarkeit der Lunge das abgegebene VT zu verringern. Dennoch wird bei beiden Werten für die Compliance das voreingestellte VT von 100 ml deutlich überschritten.

Wie auch beim *Oxylog 3000* nimmt die Resistance kaum Einfluss auf das abgegebene VT. Daher sind auch bei der Beatmung mit dem *Oxylog 2000* keine Komplikationen aufgrund unterschiedlicher Werte für die Resistance in den unterschiedlichen Altersklassen zu erwarten.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass sowohl der *Oxylog 3000* als auch der *Oxylog 2000* hinsichtlich der Abgabegenauigkeit der voreingestellten VT nicht

optimal arbeiten. Eine Beatmung von Kindern mit dem *Oxylog 2000* oder dem *Oxylog 3000* sollte daher nur mit größter Vorsicht durchgeführt werden. Ein geeignetes Monitoring zur Überwachung des tatsächlich abgegebenen VT und des Minutenvolumens wäre für die Vermeidung von Hypoventilation oder Volutrauma empfehlenswert.

4.3.4 Versuchsaufbau Beutel-Masken-Beatmung

Die Probanden wurden gebeten das Säuglingsphantom nach eigenem Ermessen adäquat mittels Masken-Beutel-Beatmung zu ventilieren. Aufgrund der Größe der zu beatmenden Puppe und auch aufgrund des Ortes der Durchführung des Versuches – an der Klinischen Abteilung für Neonatologie des Landeskrankenhaus-Universitätsklinikum Graz – wurde von den Probanden stets angenommen, dass sie ein Neugeborenes zu versorgen hätten.

Es besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Schuhgröße und der Handgröße (chirurgische Handschuhgröße beziehungsweise gemessene Handgröße). Die aus theoretischen Überlegungen entstandene Idee, dass Notfall- und Rettungssanitäter häufiger männlich sind und im Durchschnitt größere Hände haben als weibliche diplomierte Kinderkrankenschwestern, konnte ebenfalls bestätigt werden. Der bestätigte Zusammenhang zwischen Schuh- und Handgröße war Voraussetzung für die Überprüfung aller weiteren formulierten Hypothesen.

Hinsichtlich der Beatmung von Neugeborenen finden sich in der Literatur unterschiedliche Empfehlungen:

Die Guidelines des ERC (*European Resuscitation Council*) von 2010 besagen, dass die optimalen Werte für Beatmungsdruck, Inspirationszeit und Gasfluss bei der Beatmung eines Neugeborenen nicht bekannt sind. Ein Beatmungsdruck von 30-40 mmHg führt bei einem reifen Neugeborenen zu einer suffizienten Beatmung (37).

Eine andere Empfehlung lautet, dass Frühgeborene mit dem Daumen und der Spitze eines Zeigefingers beatmet werden sollen. Für die Beatmung von reifen Neugeborenen wird empfohlen einen Daumen, einen Zeigefinger und einen

Mittelfinger zu verwenden. In dieser Empfehlung wird außerdem unterschieden zwischen einer Beatmung mit und einer Beatmung ohne Sauerstoff. Bei der Beatmung mit Sauerstoff soll sich der Thorax sichtbar heben. Bei einer Beatmung ohne Sauerstoff soll sich der Thorax deutlich sichtbar heben (39).

Eine weitere Empfehlung gibt an, bei der Beutel-Masken-Beatmung den Beutel mit jeweils einem Finger pro Kilogramm Körpergewicht des Kindes zu komprimieren. Laut dieser Empfehlung sollen Thoraxbewegungen und ein Druckmanometer beachtet werden und die Beatmung auch mittels Auskultation überprüft werden (33).

Eine Studie, welche die einzelnen Beatmungstechniken evaluiert, ist derzeit nicht verfügbar. Deshalb entstand die Idee, eine Masken-Beutel-Beatmung mit Zwei-Fingertechnik und Fünf-Fingertechnik zu prüfen.

In unserer Studie zeigte sich, dass die verwendete Beatmungstechnik (Zwei-Fingertechnik oder Fünf-Fingertechnik) keinen signifikanten Einfluss auf das abgegebene VT nimmt. Empfehlungen, wie sie oben genannt werden, sind daher für medizinisch geschultes Personal nicht notwendig, wenn diese mittels sichtbarer Thoraxexkursionen eine Rückmeldung über die Suffizienz ihrer Beatmung erhalten.

Wie in **Abbildung 15** zu sehen, wird mit der Fünf-Fingertechnik teils mehr und teils weniger Volumen abgegeben als mit der Zwei-Fingertechnik. Dies bedeutet, dass eine größere Anzahl verwendeter Finger zur Kompression des Beatmungsbeckens nicht unbedingt zu größeren abgegebenen VT führen.

Da in das Säuglingsphantom eine leckfreie Testlunge von 500 ml eingebaut wurde, um realistische Thoraxexkursionen imitieren zu können, ist die Größe des gemessenen VT in diesem Versuch nicht mit der Größe des Lungenvolumens eines Neugeborenen zu vergleichen.

Ebenso hat sich die Annahme, dass durch größere Hände der Umgang mit Beutel und Maske erleichtert würde und einen besseren Sitz der Maske mit niedrigerem Maskenleck erreicht werden könnte, nicht bestätigt. Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Schuhgröße und dem Maskenleck. Dies könnte allerdings auch darauf zurückzuführen sein, dass diplomierte

Kinderkrankenschwestern – mit kleinerer Schuh- und Handgröße-, welche an der Klinischen Abteilung für Neonatologie tätig sind, mehr Übung in der Beatmung von Neugeborenen haben, als Notfall- und Rettungssanitäter, welche die Beatmung von Neugeborenen nur in seltenen Fällen (meist Übungen) durchführen.

Allerdings zeigte sich ein Zusammenhang zwischen der verwendeten Beatmungstechnik (Zwei-Fingertechnik oder Fünf-Fingertechnik) und dem Maskenleck. Das Maskenleck war bei einer Beatmung mit Fünf-Fingertechnik signifikant höher als bei der Beatmung mit Zwei-Fingertechnik.

Eventuelle Ursache hierfür könnte sein, dass bei einer Beatmung mit Fünf-Fingertechnik mehr Druck im Beatmungsbeutel aufgebaut wird als bei einer Beatmung mit Zwei-Fingertechnik. Obwohl aber kein Unterschied im applizierten VT zu finden ist, könnte durch einen höheren Druck mehr Volumen über ein eventuell gegebenes Maskenleck entweichen, als dies bei weniger aufgebautem Druck der Fall wäre. So könnte man das Maskenleck als Druckventil verstehen, dass eine Beatmung mit zu großen Volumina verhindert.

Eine andere Ursache könnte sein, dass bei der Fünf-Fingertechnik mehr Manipulation am Beatmungsbeutel verübt wird, welche sich auf den Sitz der Maske übertragen kann und so ein größeres Maskenleck zur Folge hat. Hierdurch eventuell entstehende Kippbewegungen könnten sich negativ auf die Maskenposition auswirken.

Diplomierte Kinderkrankenschwestern von der Klinischen Abteilung für Neonatologie haben berufsgruppenbedingt mehr Erfahrung in der Beatmung von Neugeborenen als Notfall- und Rettungssanitäter. Deshalb und aufgrund der Tatsache, dass im Kreise der freiwilligen Notfall- und Rettungssanitäter mehr männliche Probanden mit größeren Händen (und Schuhen) zu erwarten waren, wurde angenommen, dass Unterschiede in der Qualität der Beatmung zwischen diplomierten Kinderkrankenschwestern und Notfall- bzw. Rettungssanitätern bestehen.

Es konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des abgegebenen VT und des Maskenlecks gefunden werden.

Es zeigte sich allerdings ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Frequenz der Beatmung: Notfall- und Rettungssanitäter beatmeten das

Reanimationsphantom durchschnittlich mit langsameren Frequenzen als diplomierte Kinderkrankenschwestern.

Die ERC-Guidelines 2010 empfehlen für die Beatmung eines Neugeborenen eine Frequenz von 30/min (37). Die deutsche Übersetzung dieser Richtlinien empfiehlt jedoch für die Beatmung von Neugeborenen eine Frequenz von 30-60/min (40). Lehrmaterialien für Sanitäter des Roten Kreuzes besagen, dass bei der Beatmung eines Neugeborenen eine Frequenz von 30/min angestrebt werden sollte (41).

Da Notfall- und Rettungssanitäter aufgrund ihres Tätigkeitsfeldes in der Regel häufiger Erwachsene versorgen und diese mit langsameren Frequenzen beatmet werden, kann sich aus dieser Gewohnheit heraus möglicherweise auch eine niedrigere Frequenz bei der Beatmung eines Neugeborenen ergeben.

Die mittlere Beatmungsfrequenz bewegt sich dennoch in beiden Berufsgruppen innerhalb der empfohlenen Bandbreite von 30 bis 60 Beatmungen pro Minute.

5 Literaturverzeichnis

1. Eich C, Russo SG, Heuer JF, Timmermann A, Gentkow U, Quintel M, et al. Characteristics of out-of-hospital paediatric emergencies attended by ambulance- and helicopter-based emergency physicians. *Resuscitation*. 2009;80(8):888-92.
2. Brambrink AM. Notfälle im Kindesalter - eine interdisziplinäre Herausforderung. *Notfall + Rettungsmedizin*. 1998;1:361 - 70.
3. Landsleitner B, Eich C, Weiss M, Nicolai T. Präklinisches Atemwegsmanagement bei Kindern. *Notfall + Rettungsmedizin*. 2011;14(7):526-34.
4. Altemeyer KH, Schlechtriemen T, Albrech M. Notfälle im Kindesalter. *Notfall + Rettungsmedizin*. 2000;3:186-98.
5. Zink W, Bernhard M, Keul W, Martin E, Volkl A, Gries A. [Invasive techniques in emergency medicine. Practice-oriented training concept to ensure adequately qualified emergency physicians]. *Der Anaesthesist*. 2004;53(11):1086-92.
6. Russo SG, Trieschmann U, Nicolai T. Atemwegsmanagement bei Kindern in Notfallsituationen. *Notfall + Rettungsmedizin*. 2014;17(2):105-12.
7. Schmidt AR, Weiss M, Engelhardt T. The paediatric airway: basic principles and current developments. *European journal of anaesthesiology*. 2014;31(6):293-9.
8. Klär-Hlawatsch B, Kamin W. Akute Luftnot im Kindesalter. *Monatsschrift Kinderheilkunde*. 2001;149:459-65.
9. Banerjee A, Subba Rao KSVK, Khanna SK, Narayanan PS, Gupta BK, Sekar JC, Rajendra Retnam C, Nachiappan M. Laryngo-tracheo-bronchial foreign bodies in children. *The Journal of Laryngology and Otology*. 1988;102:1029-32.
10. Tobias JD. Airway management for pediatric emergencies. *Pediatric Annals*. 1996;25(6):317-20.
11. Oczenski W. *Atmen - Atemhilfen, Atemphysiologie und Beatmungstechnik*. Stuttgart, Deutschland: Georg Thieme Verlag KG; 2012. 832 p.
12. Dräger. *Oxylog 2000, Notfall-Beatmungsgerät, Gebrauchsanweisung*. Lübeck, Deutschland: Drägerwerk AG & Co, KGaA.
13. Ambu A/S. *Ambu Mark IV Resuscitators*. Ballerup, Dänemark: Ambu A/S; 2003.

14. Ambu A/S. Ambu Mark III Resuscitator. Ballerup, Dänemark: Ambu A/S; 2002.
15. Ambu A/S. Ambu Baby R Resuscitator. Ballerup, Dänemark: Ambu A/S.
16. Ambu A/S. Bedienungsanleitung, Baby Beatmungsbeutel, Modell R. Kopenhagen, Dänemark: Ambu A/S.
17. Deindl P, O'Reilly M, Zoller K, Berger A, Pollak A, Schwindt J, et al. Influence of mask type and mask position on the effectiveness of bag-mask ventilation in a neonatal manikin. *European journal of pediatrics*. 2014;173(1):75-9.
18. O'Donnell CP, Davis PG, Lau R, Dargaville PA, Doyle LW, Morley CJ. Neonatal resuscitation 2: an evaluation of manual ventilation devices and face masks. *Archives of disease in childhood Fetal and neonatal edition*. 2005;90(5):F392-6.
19. O'Donnell CP, Kamlin CO, Davis PG, Morley CJ. Neonatal resuscitation 1: a model to measure inspired and expired tidal volumes and assess leakage at the face mask. *Archives of disease in childhood Fetal and neonatal edition*. 2005;90(5):F388-91.
20. Wood FE, Morley CJ, Dawson JA, Kamlin CO, Owen LS, Donath S, et al. Improved techniques reduce face mask leak during simulated neonatal resuscitation: study 2. *Archives of disease in childhood Fetal and neonatal edition*. 2008;93(3):F230-4.
21. Baskett TF. Arthur Guedel and the oropharyngeal airway. *Resuscitation*. 2004;63(1):3-5.
22. Schmölder GM, Agarwal M, Kamlin CO, Davis PG. Supraglottic airway devices during neonatal resuscitation: an historical perspective, systematic review and meta-analysis of available clinical trials. *Resuscitation*. 2013;84(6):722-30.
23. Nicolai T. Airwaymanagement bei Kindern in Notfallsituationen. *Notfall + Rettungsmedizin*. 1999;2:212-5.
24. Lecky F, Brvden D, Little R, Tong N, Moulton C. Emergency intubation for acutely ill and injured patients. *Cochrane Database Syst Rev*. 2008;CD001429.
25. Doherty JS, From SR, Gildersleve CD. Pediatric laryngoscopes and intubation aids old and new. *Paediatric anaesthesia*. 2009;19 Suppl 1:30-7.
26. Jephcot A. The Macintosh laryngoscope. *Anaesthesia*. 1984;39:474 - 9.
27. Miller R. A new laryngoscope. *Anesthesiology*. 1941;2(3):317 - 20.

28. Weber T, Salvi N, Orliaguet G, Wolf A. Cuffed vs non-cuffed endotracheal tubes for pediatric anesthesia. *Paediatric anaesthesia*. 2009;19 Suppl 1:46-54.
29. Biarent D, Bingham R, Eich C, Lopez-Herce J, Maconochie I, Rodriguez-Nunez A, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 6. Paediatric life support. *Resuscitation*. 2010;81(10):1364-88.
30. Sunder RA, Haile DT, Farrell PT, Sharma A. Pediatric airway management: current practices and future directions. *Paediatric anaesthesia*. 2012;22(10):1008-15.
31. Ramesh S, Jayanthi R. Supraglottic airway devices in children. *Indian Journal of Anaesthesia*. 2011;55(5):476-82.
32. Dräger. Oxylog 3000. Notfall- und Transportbeatmungsgerät, Gebrauchsanweisung Lübeck, Deutschland: Drägerwerk AG & Co, KGaA.
33. Maier RF, Obladen M, Stiller B, Bahr M. Neugeborenenintensivmedizin, Evidenz und Erfahrung. Berlin, Deutschland: Springer Verlag; 2011. 613 p.
34. Wood FE, Morley CJ, Dawson JA, Davis PG. A respiratory function monitor improves mask ventilation. *Archives of disease in childhood Fetal and neonatal edition*. 2008;93(5):F380-1.
35. Schmölzer GM, Kamlin OC, Dawson JA, te Pas AB, Morley CJ, Davis PG. Respiratory monitoring of neonatal resuscitation. *Archives of disease in childhood Fetal and neonatal edition*. 2010;95(4):F295-303.
36. Haubner LY, Barry JS, Johnston LC, Soghier L, Tatum PM, Kessler D, et al. Neonatal intubation performance: room for improvement in tertiary neonatal intensive care units. *Resuscitation*. 2013;84(10):1359-64.
37. Richmond S, Wyllie J. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 7. Resuscitation of babies at birth. *Resuscitation*. 2010;81(10):1389-99.
38. Schmölzer GM, Kamlin OC, O'Donnell CP, Dawson JA, Morley CJ, Davis PG. Assessment of tidal volume and gas leak during mask ventilation of preterm infants in the delivery room. *Archives of disease in childhood. Fetal and neonatal edition*. 2010;95(6):F393-7.
39. Bund Deutscher Hebammen. Das Neugeborene in der Hebammenpraxis. Stuttgart, Deutschland: Hippokrates Verlag; 2004. 402 p.

40. Richmond S, Wyllie J. Versorgung und Reanimation des Neugeborenen, Sektion 7 der Leitlinien zur Reanimation 2010 des European Resuscitation Council. Notfall + Rettungsmedizin. 2010;13:665-78.

41. Steiermark ÖRK. Sanitätshilfe Ausbildung, Kindernotfälle. Steiermark: Österreichisches Rotes Kreuz Steiermark; 2011. p. G-56 - G-7.

6 Anhang

Im Anhang befinden sich in der aufgeführten Reihenfolge folgende Dokumente:

- Votum der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz; Nummer 26-582 ex13/14 (Seite 78-79)

- Studienplan Version 1 (Seite 80-81)

- ProbandInneninformation und Einwilligungserklärung Version 1 (Seite 82-84)

- Poster 7. Kongress der Arbeitsgemeinschaft für Notfallmedizin, Graz, 24.-26.04.2014, 1. Posterpreis (Seite 85)



VOTUM
gültig bis 22.09.2015

EK-Nummer: 26-582 ex 13/14
Studientitel: Feasibility of the ventilation of pediatric patients in out-of-hospital emergencies.
Prüfer: Dr. Bernhard Schwabegger
Abteilung für Neonatologie, Meduni Graz
Sponsor: Medizinische Universität Graz
Ansprechpartner: Dr. med. Bernhard Schwabegger, A-8036 Graz, Auenbruggerplatz 34/2
CRO: -
Antragsteller: Medizinische Universität Graz
Ansprechpartner: Hanna Kilbertus, 4651 Stadl-Paura, Donauschwabenstraße 12

Die o.a. Studie wurde von der Ethikkommission erstmals im 'expedited Review' am 09.09.2014 behandelt. Die Ethikkommission ist zu folgendem Schluss gekommen:

Es besteht kein Einwand gegen die Durchführung der Studie in der vorliegenden Form.

Kommissionsmitglieder, die für diesen Tagesordnungspunkt als befangen anzusehen waren und daher gemäß Geschäftsordnung an der Entscheidungsfindung und Abstimmung nicht teilgenommen haben: keine

Zur Beurteilung vorliegende Dokumente:

Dokumente eingegangen am 25.08.2014, begutachtet im 'expedited Review' am 09.09.2014

✓ Cover Letter Brief Version 1	24.08.2014
✓ Antragsformular ECS	25.08.2014
Originalprotokoll Konzeptformular Diplomarbeit Version 1	15.12.2013
✓ Case Report Form case report form Version 1	24.08.2014

Dokumente eingegangen am 08.09.2014 (in der nächsten Begutachtung mitbegutachtet)

✓ Antragsformular ECS Unterschriftenseiten	08.09.2014
--	------------

Dokumente eingegangen am 15.09.2014, begutachtet im 'expedited Review' am 22.09.2014

✓ Informed Consent Form 1.0	10.09.2014
✓ Sonstiges: Versuchsaufbau 1, undatiert	
✓ Sonstiges: Stellungnahme zur Bearbeitungsmitteilung	10.09.2014

Die Ethikkommission geht - rechtlich unverbindlich - davon aus, dass es sich um keine klinische Prüfung nach AMG bzw. MPG handelt.

Es handelt sich um eine Studie im Rahmen einer Diplomarbeit.

Das Votum der Ethikkommission berührt in keiner Weise die alleinige Verantwortung der Prüferin / des Prüfers / der Prüfer für die ordnungsgemäße Durchführung der Studie unter Einhaltung aller einschlägiger gesetzlicher Bestimmungen und Richtlinien.

Weiters machen wir darauf aufmerksam, dass der Kommission unverzüglich zu melden sind:

- Abweichungen vom Protokoll aus Sicherheitsgründen oder Protokolländerungen

- Änderungen, die das Risiko der Teilnehmer/-innen erhöhen oder die Durchführung der Studie wesentlich beeinflussen
- Mutmaßliche unerwartete schwerwiegende Nebenwirkungen - SUSARs (AMG-Studien ab 1.5.2004) oder schwerwiegende unerwünschte Ereignisse - SAEs (andere Studien)
- Jegliche Information über sonstige Umstände, die die Sicherheit der Teilnehmer/-innen oder die Durchführung der Studie beeinträchtigen können

Dieses Votum gilt für ein Jahr ab dem Datum der Ausstellung. Bei längerer Studiendauer ist rechtzeitig vor Ablauf der Gültigkeit des Votums ein Zwischenbericht vorzulegen (Berichtsformular), um eine etwaige Verlängerung zu erlangen.

Graz, 22. September 2014

Univ. Prof. DI Dr. Josef Haas
Vorsitzender

Univ. Prof. DDr. Hans-Peter Kapfhammer
Stv. Vorsitzender

Achtung: Bitte bei allen das Projekt betreffende Schreiben oder telefonischen Anfragen die EK-Nummer angeben!

**„Feasibility of the ventilation of pediatric patients in out-of hospital emergencies“
(Praktikabilität der Beatmung von pädiatrischen Notfallpatienten in der Prädiklinik)**

Geplante Anzahl an ProbandInnen:

- 30

Rekrutierung der ProbandInnen auf freiwilliger Basis:

- Diplomkinderkrankenschwestern und -pfleger der Abteilung für Neonatologie Graz
- Rettungs- und Notfallsanitäter des Österreichischen Roten Kreuzes, Bezirksstelle Graz-Stadt

Ort der Durchführung des Versuches:

- Der Versuch wird an der Abteilung für Neonatologie, auf der Frühgeburtensstation durchgeführt.

Geplanter Zeitraum der Durchführung des Versuches:

- September/Oktober 2014

Zeitlicher Ablauf des Versuches:

- Ca. 7-10 Minuten: Begrüßung, Information über die Studie, Übergabe der ProbandInneninformation, Ausfüllen der Einwilligungserklärung, Beantwortung etwaiger Fragen, Erklärung des zu verwendenden Equipments, Aufklärung über den hier beschriebenen Studienablauf
- 90 Sekunden: 1. Durchgang (2-Finger oder 5-Fingertechnik, Reihenfolge erfolgt nach Zufall*)
- Ca. 30 Sekunden Pause (die Länge der Pause wird durch den Probanden selbst bestimmt); es soll verhindert werden, dass Ermüdung die Ergebnisse beeinflusst.
- 90 Sekunden: 2. Durchgang (2-Finger oder 5-Fingertechnik, Reihenfolge erfolgt nach Zufall*)
- Ca. 1 Minute: Erhebung der anthropometrischen Größen (Handschuhgröße und Schuhgröße) und Dokumentation des Geschlechts des Probanden
- Im Anschluss kann bei Interesse des Probanden außerhalb des eigentlichen Studienprotokolls eine Analyse der Beatmungstechnik und Feedback über verschiedene Beatmungsparameter gegeben werden.
- Verabschiedung und Danksagung

*Die Reihenfolge wird zufällig durch Würfeln bestimmt. Augenzahlen 1-3 bedeuten, dass der Proband im ersten Durchlauf die 2-Fingertechnik anwenden soll und im zweiten Durchlauf die 5-Fingertechnik; Augenzahlen 4-6 bedeuten, dass der Proband im ersten Durchlauf die 5-Fingertechnik anwenden soll und im zweiten Durchlauf die 2-Fingertechnik.

Produktbezeichnungen des verwendeten Equipments:

- Ambu Baby R (Ambu, Ballerup, Dänemark) - *Beatmungsbeutel*

- Laerdal Silicon Maske rund Größe 0/1 (Laerdal Medical, Stavanger, Norwegen) - *Gesichtsmaske*
- Florian RFM (Acutronic Medical Systems, Hirzel, Schweiz) - *Respiratory Function Monitor*
- CPR Resusci Baby (Laerdal Medical, Stavanger, Norwegen) - *Säuglingsreanimationsphantom*
- Dräger 0,5 Liter (Dräger, Lübeck, Deutschland) – *Testlunge*
- α-trace digital MM (BEST Medical Systems, Wien, Österreich) - *Multi Channel System*

Versuchsaufbau:

- Das Säuglingsphantom wird insofern umgebaut, als dass die Testlunge anstatt der herkömmlich eingebauten Lunge integriert wird, um leckfreie Atemwege zu erhalten.
- Zwischen Beatmungsmaske und Beatmungsbeutel wird der Sensor des Florian Respiratory Function Monitors gesteckt.
- Die vom Respiratory Function Monitor abgeleiteten Beatmungsparameter werden durch das Multi Channel System aufgezeichnet und für die weitere Analyse gespeichert.

ProbandInneninformation¹ und Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der Studie

Feasibility of the ventilation of pediatric patients in out-of hospital emergencies

(Praktikabilität der Beatmung von pädiatrischen Notfallpatienten in der Präklinik)

Sehr geehrte Teilnehmerin, sehr geehrter Teilnehmer!

Wir laden Sie ein an der oben genannten Studie teilzunehmen. Die Aufklärung darüber erfolgt in einem ausführlichen Gespräch.

Ihre Teilnahme an dieser Studie erfolgt freiwillig. Sie können jederzeit ohne Angabe von Gründen aus der Studie ausscheiden. Die Ablehnung der Teilnahme oder ein vorzeitiges Ausscheiden aus dieser Studie hat keine nachteiligen Folgen für Sie.

Bei dieser Studie handelt es sich um einen experimentellen Studienaufbau, bei dem Sie gebeten werden Ihre medizinischen Fähigkeiten an einem Puppenphantom einzusetzen. Im Rahmen dieser Studie erheben wir von Ihnen außerdem anthropometrische Größen (Handschuh- und Schuhgröße), die dann mit den erhobenen Studienergebnissen in Verbindung gestellt werden. Studien wie diese sind notwendig, um zusätzliche Erkenntnisse über bereits bewährte medizinische Verfahren zu gewinnen.

Zu dieser Studie, sowie zur Probandeninformation und Einwilligungserklärung wurde von der zuständigen Ethikkommission eine befürwortende Stellungnahme abgegeben.

1. Was ist der Zweck dieser Studie?

Die Durchführung der Beatmung von Neugeborenen und Säuglingen im Rettungs- und Notarztendienst zählt zu einem seltenen und gefürchteten Einsatzszenario. Verunsicherung herrscht über den sicheren Einsatz von verschiedenen Beatmungshilfen in den unterschiedlichen Gewichtsklassen. Deshalb soll in einer experimentellen Versuchsanordnung die sichere Abgabe von Beatmungsvolumen durch Zuhilfenahme von Beatmungsbeuteln untersucht werden.

2. Wie läuft diese Studie ab?

Sie werden gebeten im Rahmen dieser Studie eine Beutel-Maskenbeatmung an einem Säuglingspuppenphantom durchzuführen. Hierbei wird es zwei Durchgänge zu je 90 Sekunden geben. In einem Durchgang werden Sie gebeten eine mit Zweifingertechnik anzuwenden (Kompression des Beatmungsbeutels mit Daumen und Zeigefinger), im

¹ Wegen der besseren Lesbarkeit wird im weiteren Text zum Teil auf die gleichzeitige Verwendung weiblicher und männlicher Personenbegriffe verzichtet. Gemeint und angesprochen sind – sofern zutreffend – immer beide Geschlechter.

anderen Durchgang werden Sie gebeten eine Fünffingertechnik anzuwenden (Kompression des Beatmungsbeutels mit der ganzen Hand). Sie werden angehalten eine suffiziente Beatmung durchzuführen, welche Sie anhand des Ausmaßes der Brustkorbbewegungen beurteilen sollen. Am Ende des Versuches werden Ihr Geschlecht, Ihre Handschuh- und Schuhgröße dokumentiert und anonymisiert gespeichert.

Diese Studie wird an der Abteilung für Neonatologie in Graz durchgeführt, und es werden insgesamt ungefähr 30 Personen daran teilnehmen. Ihre Teilnahme wird voraussichtlich 10 Minuten in Anspruch nehmen.

3. Worin liegt der Nutzen einer Teilnahme an dieser Studie?

Nachdem Sie an der Studie teilgenommen haben und Ihre Daten vollständig dokumentiert wurden, erhalten Sie ein ausführliches Feedback, wie suffizient Ihre Beatmung hinsichtlich Beatmungsvolumen, Beatmungsfrequenz und Maskendichtigkeit („Maskenleck“) gewesen ist.

4. Gibt es Risiken, Beschwerden und Begleiterscheinungen?

Nein.

5. In welcher Weise werden die im Rahmen dieser Studie gesammelten Daten verwendet?

Es haben nur der Studienarzt und eine die Studie betreuende Diplomandin Zugang zu den vertraulichen Daten, in denen Sie nicht namentlich genannt werden. Personenbezogene Daten werden direkt nach Beendigung der Studiendurchläufe anonymisiert gespeichert. Des Weiteren können der zuständigen Ethikkommission und Personen, die vom Studienleiter und/oder Auftraggeber der Studie mit der Kontrolle der Datenqualität beauftragt werden, Einsicht in diese anonymisierten Daten nehmen, um die Richtigkeit der Aufzeichnungen zu überprüfen. Diese Personen sind zur Verschwiegenheit verpflichtet.

Die Weitergabe der Daten erfolgt ausschließlich zu statistischen Zwecken und Sie werden ausnahmslos nicht namentlich genannt. Auch in etwaigen wissenschaftlichen Veröffentlichungen der Daten dieser Studie werden Sie nicht namentlich genannt.

Die Bestimmungen des Datenschutzgesetzes in der geltenden Fassung werden eingehalten.

6. Möglichkeit zur Diskussion weiterer Fragen

Für weitere Fragen im Zusammenhang mit dieser Studie stehen Ihnen Ihr Studienarzt und seine Mitarbeiter gern zur Verfügung.

Name der Kontaktperson: Dr. Bernhard Schwabegger

Ständig erreichbar unter: 0316/385-30018

7. Einwilligungserklärung

Name des Probanden in Druckbuchstaben:

Geb.Datum: Code:

Ich habe dieses Informationsblatt gelesen und verstanden. Alle meine Fragen wurden beantwortet und ich habe zurzeit keine weiteren Fragen mehr.

Mit meiner persönlich datierten Unterschrift gebe ich hiermit freiwillig mein Einverständnis, dass meine Daten gespeichert und ohne direkten Personenbezug für wissenschaftliche Zwecke verwendet werden dürfen. Mir ist bekannt, dass zur Überprüfung der Richtigkeit der Datenaufzeichnung Beauftragte der zuständigen Behörden und der Ethikkommission, sowie mit der Kontrolle der Datenqualität beauftragte Personen Einblick in meine Studiendaten nehmen dürfen.

Ich weiß, dass ich diese Zustimmungen jederzeit und ohne Angabe von Gründen widerrufen kann.

Eine Kopie dieser Probandeninformation und Einwilligungserklärung habe ich erhalten. Das Original verbleibt beim Studienarzt.

.....
(Datum und Unterschrift des Probanden)

.....
(Datum, Name und Unterschrift des verantwortlichen Arztes)

(Der Proband erhält eine unterschriebene Kopie der Probandeninformation und Einwilligungserklärung, das Original verbleibt im Studienordner des Studienarztes)



Evaluierung der Abgabegenauigkeit von niedrigen Tidalvolumina zur Beatmung von pädiatrischen Notfallpatienten mit dem Oxylog 3000

Hanna Kilbertus¹; Berndt Urlesberger²; Bernhard Schwabberger^{1,2}

¹Medizinercorps Graz, Österreichisches Rotes Kreuz Bezirksstelle Graz-Stadt, Landesverband Steiermark, Österreich

²Klinische Abteilung für Neonatologie, Universitätsklinik für Kinder- und Jugendheilkunde, Medizinische Universität Graz, Österreich

Fragestellung

Die Durchführung der Beatmung pädiatrischer Notfallpatienten mit einem Gewicht bis zu 15 Kilogramm zählt in der Pränatal- und Neonatal-Intensivmedizin zu einem seltenen und gefürchteten Einsatzszenario. Unter Notärzten herrscht Uneinigkeit über den sicheren Einsatz verschiedener Notfallrespiratoren in unterschiedlichen Gewichtsklassen. Diese Studie soll in einer experimentellen Versuchsordnung die sichere Abgabe von Atemhubvolumina (VT) mit dem Oxylog 3000 untersuchen.

Methodik

Durch den Einsatz zweier Testlungen (VBM 0,5 Liter, Dräger 2,0 Liter) und Interposition von gekürzten Endotrachealtuben (ID 4,0 – 6,0 – 8,0 mm) wurden Beatmungsverhältnisse pädiatrischer Patienten mit unterschiedlicher Resistance und Compliance initiiert. Die Einstellung verschiedener VT (50 – 60 – 70 – 80 – 90 – 100 ml) bei unterschiedlichen Beatmungsfrequenzen (20 – 30 – 40 – 50 /min) im IPPV-Modus am Oxylog 3000 (Dräger, Deutschland) wurden durch den Einsatz eines Flowsensors mit dem Florian Respiratory Function Monitor (Acutronic, Schweiz) geprüft.



Abb.1: Notfallrespirator Oxylog 3000 (Dräger, Lübeck, Deutschland)



Abb.2: Versuchsaufbau: Oxylog 3000-Beatmungsschlauch, Flowsensor, Interponat aus adaptierten Endotrachealtuben, Testlung VBM 0,5 Liter



Abb.3: Florian Respiratory Function Monitor (ACUTRONIC Medical Systems, Hirzel, Schweiz)

Ergebnisse

Unter den diversen Beatmungsverhältnissen (variable Frequenz, Resistance, Compliance) zeigten sich abgegebene VT (Mittelwert \pm Standardabweichung) [bei voreingestellten Werten] von 50,9 \pm 8,5 ml [50 ml] – 56,8 \pm 5,9 ml [60 ml] – 63,0 \pm 5,4 ml [70 ml] – 70,8 \pm 6,2 ml [80 ml] – 78,9 \pm 6,8 ml [90 ml] – 78,8 \pm 6,9 ml [100 ml].

Tab.1: Abgegebene Volumina bei voreingestellten VT und Frequenzen am Oxylog 3000 (bei variabler Resistance und Compliance); Mittelwert \pm Standardabweichung

	50ml	60ml	70ml	80ml	90ml	100ml
20/min	63 \pm 7	62 \pm 7	62 \pm 7	68 \pm 8	75 \pm 8	77 \pm 9
30/min	46 \pm 8	54 \pm 5	62 \pm 6	70 \pm 7	79 \pm 7	78 \pm 7
40/min	46 \pm 8	55 \pm 5	63 \pm 6	71 \pm 6	79 \pm 7	79 \pm 7
50/min	47 \pm 8	55 \pm 5	63 \pm 6	72 \pm 6	80 \pm 6	79 \pm 6

Tab.2: Abgegebene Volumina bei voreingestellten VT am Oxylog 3000 in Abhängigkeit unterschiedlicher Compliance (bei variabler Resistance und Frequenz); Mittelwert \pm Standardabweichung

	3ml/mbar	28ml/mbar	Differenz
50ml	47 \pm 7	55 \pm 8	+17%
60ml	52 \pm 8	62 \pm 8	+19%
70ml	58 \pm 7	68 \pm 8	+17%
80ml	65 \pm 8	77 \pm 8	+18%
90ml	73 \pm 8	85 \pm 8	+16%
100ml	72 \pm 7	85 \pm 8	+18%

Eine Zunahme der Resistance um 9 mbar/l/s durch Austausch des Endotrachealtuben-Interponates hatte im Mittel bei variabler Compliance, Frequenz und voreingestelltem VT eine Abnahme des abgegebenen Volumens um 1,5 ml zur Folge.

Interpretation:

Die Abgabegenauigkeit des Tidalvolumens wird durch die Frequenzeinstellung am Notfallrespirator und die Größe der Compliance beeinflusst. Die Größe der Resistance hat keinen wesentlichen Einfluss auf das Tidalvolumen.

Die Ergebnisse dieser Studie können beim Einsatz des Oxylog 3000 an pädiatrischen Notfallpatienten helfen Volutrauma oder Hypoventilation zu vermeiden.



Kontakt: bernhard.schwabberger@medunigraz.at