

Aus der Klinik für Neonatologie  
der Medizinischen Fakultät der Charité - Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

# **Manuelle Beatmung bei der Reanimation und Kreislauerstversorgung Neugeborener**

Untersuchungen zu geräte- und anwenderspezifischen  
Einflussgrößen am neonatalen Lungenmodell

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité - Universitätsmedizin Berlin

von  
Marcus Kelm  
aus Berlin

Gutachter:

1. Prof. Dr. med. R. Wauer
2. Prof. Dr. med. M. Rüdiger
3. Prof. H.D. Hummler

Datum der Promotion:

07.09.2012

*„Neonatal resuscitation is based on experience with little evidence to support the methods advocated (...). There can be few areas of medicine where the potential benefit is so great but which have been subjected to so little evaluation“*

Colm O'Donnell 2003

# Inhaltsverzeichnis

Abstract .....	1
Zusammenfassung der Publikationspromotion .....	2
1.1 Einleitung und Zielstellung.....	2
1.1.1 Stellenwert von Beatmung in der Erstversorgung Neugeborener.....	2
1.1.2 Gefahren durch Handbeatmung.....	2
1.1.3 Fragestellung .....	2
1.2 Methodik.....	3
1.2.1 Gemeinsamer Versuchsaufbau .....	3
1.2.2 Untersuchte Beatmungsgeräte .....	4
1.2.3 Probanden.....	4
1.2.4 Versuchsablauf .....	4
1.2.5 Auswertung der Meßsignale und Datenanalyse.....	5
1.3 Ergebnisse.....	5
1.3.1 Vergleich von Spitzendruck und Atemzugvolumen zwischen den Systemen .....	5
1.3.2 Untersuchung der Anwenderfertigkeiten .....	5
1.3.3 Untersuchung der PEEP-Ventile.....	6
1.4 Diskussion .....	7
1.4.1 Vergleich von Spitzendruck und Atemzugvolumen zwischen den Systemen .....	7
1.4.2 Untersuchung der Anwenderfertigkeiten .....	7
1.4.3 Untersuchung der PEEP-Ventile.....	8
1.4.4 Limitationen der Versuche.....	9
1.4.5 Bedeutung für die Klinik .....	10
1.4.6 Zusammenfassung .....	10
1.5 Literaturverzeichnis .....	11
1.6 Abkürzungsverzeichnis.....	17
Ausweisung der Eigenanteile .....	19
Publikation 1 .....	21
Publikation 2.....	22
Publikation 3.....	23
Curriculum vitae.....	24
Komplette Publikationsliste.....	25
Selbständigkeitserklärung .....	28
Danksagung .....	29

## Hintergrund

Die intermittierende Positivdruckbeatmung (IPPV, engl. Intermittent Positive Pressure Ventilation) Neugeborener mit Handbeatmungsgeräten ist eine der häufigsten Interventionen in der Neugeborenenmedizin. Da hier die Anwender inspiratorische Spitzendrücke (PIP, engl. Peak Inspiratory Pressure) und Atemzugvolumina ( $V_T$ , Tidalvolumina) jeweils gerätespezifisch variieren können, besteht die Gefahr der alveolären Überdehnung, sowie 1) direkten Gewebsschädigung und 2) der darauffolgenden Lungenschädigung durch Initiation einer Entzündungsreaktion. Ebenso kann durch das Fehlen von positivem Endausatemdruck (PEEP, engl. Positive End-Expiratory Pressure) insbesondere die unreife Neugeborenenlunge geschädigt werden.

Über den kombinierten Einfluss von Anwendern und Geräten auf diese Beatmungsparameter ist nur wenig bekannt. Ziel war es zu untersuchen, welche kombinierten Einflussgrößen zu einem möglichst kontrollierten und somit lungenprotektiven Vorgehen beitragen.

## Methodik

Die Untersuchung erfolgte an einem leckfreien, intubierten Modell eines 1000g Frühgeborenen. Die Messaufzeichnung erfolgte mittels eines Pneumotachographen. Verglichen wurde: 1) die PIP und  $V_T$  Applikation bei einem selbstentfaltenden Beatmungsbeutel und einem T-Stück System 2) in einer kombinierten Erfassung von Messdaten und anwenderspezifischen Fertigkeiten sowie 3) die Zuverlässigkeit beider Handbeatmungssysteme PEEP zu generieren.

## Ergebnisse

Über den Beatmungsbeutel wurden, verglichen mit dem T-Stück- Beatmungssystem, signifikant höhere  $V_T$  und PIP generiert: mediane PIP waren 25,6 cmH<sub>2</sub>O vs. 19,7 cmH<sub>2</sub>O ( $p < 0,001$ ); sowie beim  $V_T$  5,1 ml vs. 3,6 ml ( $p < 0,001$ ). Beim Einsatz des Beatmungsbeutel war ein signifikanter Unterschied ( $p < 0,001$ ) des applizierten PIP und  $V_T$  in Abhängigkeit zu unterschiedlichen anwenderspezifischen Fertikeitsstufen zu beobachten. Beim T-Stück System bestand für PIP und  $V_T$  kein signifikanter Unterschied. Beim Beutel betrug der PEEP im Mittelwert 2,95 (1,82) cmH<sub>2</sub>O; beim T-Stück System 5,59 (0,32) cmH<sub>2</sub>O.

## Diskussion

Die Benutzung von selbstentfaltenden Beatmungsbeuteln führte zu teilweise hohen PIP und  $V_T$ . PEEP kann dabei nicht zuverlässig generiert werden. Anwender mit spezifischem Training konnten mit einem Beatmungsbeutel Druck- und Volumenvorgaben besser einhalten, aber auch erfahrene Anwender erzeugten exzessiv hohe PIP und  $V_T$ . Vergleicht man die Beutelbeatmung mit dem Einsatz eines T-Stück Beatmungssystems, so zeigt sich eine wesentlich konsistentere Beatmung mit PIP,  $V_T$  und PEEP welche näher an Vorgaben liegen und einen möglichen Vorteil bei der Neugeborenenbeatmung bieten.

## 1.1 Einleitung und Zielstellung

### 1.1.1 Stellenwert von Beatmung in der Erstversorgung Neugeborener

Intermittierende Positivdruckbeatmung (IPPV, engl. Intermittent Positive Pressure Ventilation) und der Einsatz von positivem Endausatemdruck (PEEP, engl. Peak End-Expiratory Pressure) unterstützen Neugeborene effektiv bei der postnatalen Etablierung von funktioneller Residualkapazität und spontaner Atmung (1-3). Aktuelle Richtlinien empfehlen den Einsatz von Handbeatmungsgeräten bei der Erstversorgung und bei der Reanimation Neu- und Frühgeborener (4-6). Am häufigsten werden selbstentfaltende Beatmungsbeutel (engl. self-inflating bag, SIB) verwendet und zunehmend sogenannte T-Stück-Beatmungssysteme eingesetzt (7-9). In vergleichenden Studien zeigen aber gerade die weit verbreiteten SIB stark variable inspiratorische Beatmungsspitzen drücke (PIP, engl. Peak Inspiratory Pressure) mit ausgeprägter intra- und interindividueller Anwendervarianz (10-15).

### 1.1.2 Gefahren durch Handbeatmung

Die morphologisch, biochemisch und funktionell unreifen Lungen Frühgeborener haben eine herabgesetzte Toleranz gegenüber Überdehnung und Scherstress der Alveolen und terminalen Bronchiolen. Während der individuellen pulmonalen Adaptation können bereits wenige Atemhübe mit inadäquat hohen PIP und Atemzugvolumina ( $V_T$ , Tidalvolumina) Baro- bzw. Volutrauma hervorrufen (16). Neben einer direkten mechanischen Verletzung (Luftlecksyndrom) werden infolge der Zellschädigung auch pro-inflammatorische Mediatoren freigesetzt, welche eine Entzündungskaskade auslösen und damit die konsekutive Entwicklung von pulmonaler Kurz- und Langzeitmorbidity begünstigen (16-19). Auch das Beatmen ohne wirksamen PEEP birgt durch das repetitive Kollabieren und Wiederöffnen einzelner Lungenabschnitte das Risiko, Scherstress zu erzeugen (20-22). Das Ziel, beatmungsinduzierte Lungenschädigungen (engl. Ventilator Induced Lung Injury, VILI) zu vermeiden, betonen verschiedene Autoren (23-28). Inwiefern mit stark anwenderabhängigen Handbeatmungsgeräten Atemzugvolumina dosiert und ein Mindest-PEEP generiert werden kann, ist bisher kaum untersucht (10, 11, 15).

### 1.1.3 Fragestellung

Untersucht werden sollte:

- 1) Inwiefern unterscheiden sich die beiden gegenwärtig gängigsten Handbeatmungsgeräte hinsichtlich der Höhe applizierter PIP und  $V_T$  wenn man ein Spektrum verschiedener Anwender zugrunde legt?
- 2) Welche trainingsspezifischen Anwenderfaktoren beeinflussen PIP und  $V_T$ ?
- 3) Wie stabil können PEEP-Ventile in Verbindung mit selbstentfaltenden Beatmungsbeuteln im Vergleich zu T-Stück-Beatmungssystemen PEEP generieren?

## 1.2 Methodik

### 1.2.1 Gemeinsamer Versuchsaufbau

Als Messsystem für die Bestimmung der Beatmungsparameter wurde ein Beatmungsmonitor mit integriertem Pneumotachographen verwendet (CO<sub>2</sub>SMO® Plus, Fa. Novamatrix, USA).

Auf Grund der bereits aus Tierversuchen bekannten Gefahren inadäquat hoher Beatmungsspitzen drücke und Atemzugvolumina (16, 18, 29-33) erfolgte die Untersuchung und Anwendung der Beatmungsmaßnahmen ausschließlich experimentell an einem Lungenmodell. Ein Endotrachealtubus war direkt mit der internen Testlunge (Compliance 0,2 ml \* cmH<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>; Fa. Fisher & Paykel Healthcare, Auckland, Neuseeland) verbunden. Der Flusssensor des Beatmungsmonitors war zwischen oberem Tubusende und Beatmungssystem angebracht. Am Tubusansatz konnte wahlweise ein SIB oder ein T-Stück System angeschlossen werden. Das leckfreie Modell besitzt näherungsweise die atemmechanischen Eigenschaften eines 1000 g schweren VLBW (engl. Very Low Birth Weight, Geburtsgewicht < 1500 g) - Frühgeborenen. Das leckfreie Modell (Abb. 1) zeigte sichtbare Thoraxexkursionen unter IPPV.

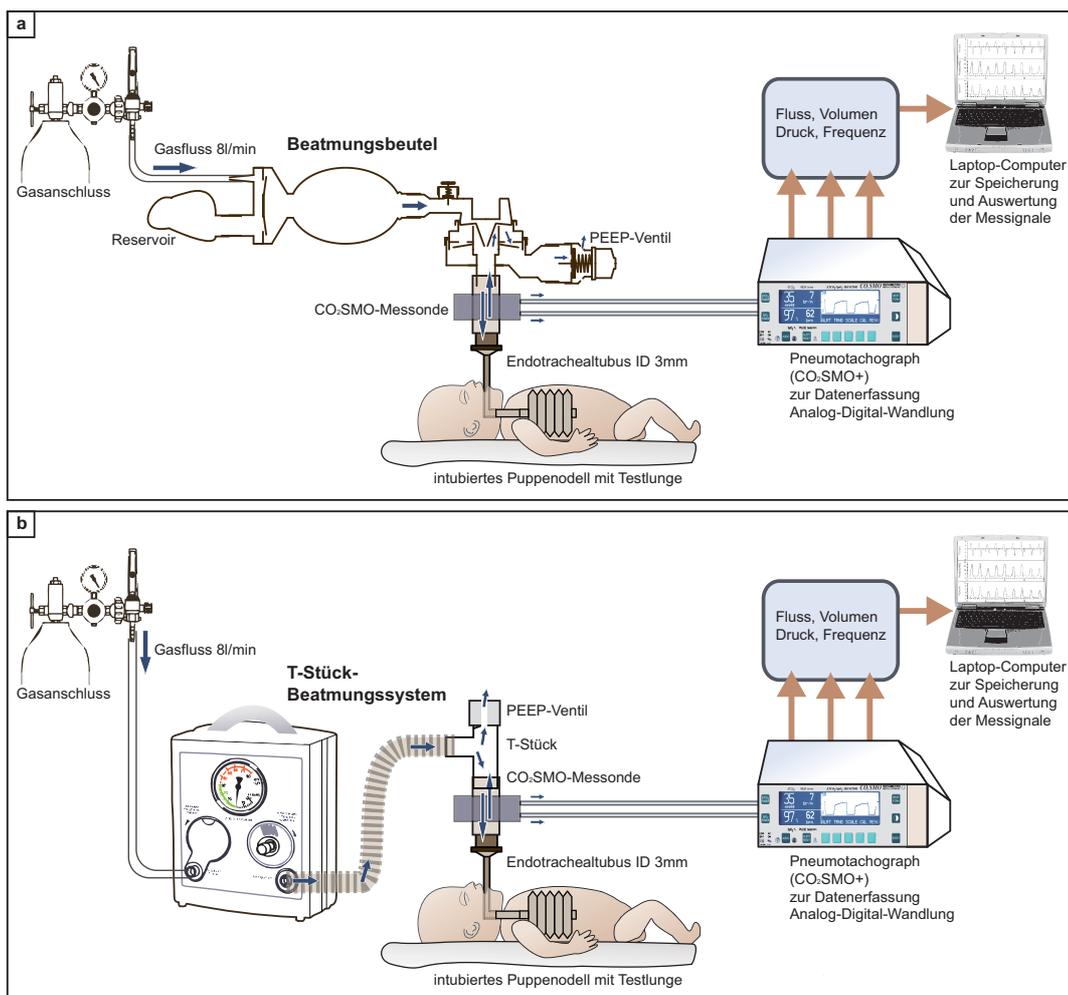


Abbildung 1: Der Versuchsaufbau zeigt das intubierte Puppenmodell. Am oberen Tubusende war die Messsonde des Pneumotachographen angebracht, mit dessen Hilfe die Beatmungsdaten erfasst wurden. Je nach Szenario war a) ein selbstentfaltender Beatmungsbeutel oder b) eine T-Stück System mit dem Messadapter verbunden. Die blauen Pfeile zeigen den Atemgasfluss im System.

### 1.2.2 Untersuchte Beatmungsgeräte

Zwei verschiedene Beatmungsgeräte kamen neu zum Einsatz und wurden mit einem kontinuierlichen Gasfluss von 8l/min gespeist:

1. ein 240ml Laerdal®-Neugeborenenbeatmungsbeutel (Fa. Laerdal, Oslo, Norwegen), ausgestattet mit einem passenden Ambu®-10-PEEP-Ventil (Fa. Ambu, Ballerup, Dänemark) im Expirationsschenkel, eingestellt auf einen PEEP von 5 cmH<sub>2</sub>O.
2. ein T-Stück System (Perivent®, Fa. Fisher & Paykel, Auckland, Neuseeland), bei welchem der PEEP ebenfalls auf 5 cmH<sub>2</sub>O eingestellt wurde.

### 1.2.3 Probanden

Die professionellen Anwender nahmen freiwillig und anonym an der Studie teil. Es bestand keinerlei Abhängigkeitsverhältnis zwischen Trainingsteilnehmern und Untersuchern. Einschlusskriterium war die potenzielle oder reale Involvierung in die Frühgeborenenenerstversorgung. Ausschlusskriterium war eine noch nicht abgeschlossene Berufsausbildung. Der Vergleich von Spitzendruck und Atemzugvolumen zwischen beiden Beatmungsgeräten erfolgte an einem großen, realitätsnahen Anwenderkollektiv. Dazu wurden 120 Teilnehmer von Neugeborenen-Notfalltrainingskursen nach Berufsgruppen stratifiziert eingeschlossen (20 Pädiater, 22 Gynäkologen, 23 Anästhesisten, 30 Kinderkrankenschwestern und 25 Hebammen). Die Untersuchung der Trainingsfaktoren erfolgte bei 84 Anwendern (10 Pädiater, 22 Anästhesisten, 30 Kinderkrankenschwestern, 22 Hebammen).

### 1.2.4 Versuchsablauf

Der Ablauf erfolgte nach einem standardisierten Beatmungsprotokoll mit dem Szenario eines apnoeischen Frühgeborenen und der Aufgabenstellung: „Sie versorgen ein 1000 g schweres Frühgeborenes mit Atemnotsyndrom und anhaltenden Apnoen im Kreißsaal. Das Kind ist intubiert, hat Surfactant erhalten und soll von Ihnen mit einem Spitzendruck von 20 cmH<sub>2</sub>O und einer Frequenz von 60 Atemhüben/Minute beatmet werden“.

#### 1.2.4.1 Vergleich von Spitzendruck und Atemzugvolumen zwischen den Systemen

In einer prospektiven und randomisierten Crossover-Studie absolvierten alle Teilnehmer einzeln mit jeweils beiden Handbeatmungsgeräten das standardisierte Protokoll. Die Gerätereihenfolge wurde zufällig gewechselt. Die Datenaufzeichnung war für die Anwender verblindet und dauerte 3 Minuten pro Teilnehmer (90 Sekunden pro Gerät). In einem ebenfalls standardisierten Interview wurden Informationen zu Fachrichtung, Berufserfahrung sowie der Anzahl der jährlich durchgeführten Beatmungen bei Neugeborenen erhoben.

#### 1.2.4.2 Untersuchung der Anwenderfertigkeiten

Der Versuchsablauf war identisch zu 1.2.4.1. Vor der Testung wurde zusätzlich erhoben, ob jemals eine Fortbildung zum Thema Neugeborenenbeatmung besucht wurde und je die Möglichkeit bestand, die eigenen Beatmungsspitzendrücke visualisiert oder in anderer Form rückgemeldet zu bekommen.

### 1.2.4.3 Untersuchung der PEEP-Ventile

Hinsichtlich der Fähigkeit beider Geräte PEEP zu generieren, wurden 11 Ambu®-10-PEEP-Ventile am SIB und 5 Perivent®-Systeme gegeneinander verglichen. Die Geräte wurden hierzu durch einen erfahrenen Neonatologen bedient. Der Versuchsaufbau entsprach dem in 1.2.1 beschriebenen.

### 1.2.5 Auswertung der Meßsignale und Datenanalyse

Die mit dem CO<sub>2</sub>SMO-System gemessenen Signale wurden an einen angeschlossenen Laptop-Computer übertragen und gespeichert. Alle Datensätze der jeweiligen Messreihen wurden in einer Tabelle aggregiert. Pro Beatmungsgerät wurde für die Untersuchung von PIP und V<sub>T</sub> die komplette Aufzeichnung von 90 Sekunden Beatmung ausgewertet; bei der Untersuchung der PEEP-Ventile waren es jeweils 15 Sekunden von den stabil aufgezeichneten Beatmungskurven. Die Daten wurden mithilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung überprüft. Für den Vergleich nicht normalverteilter skaliertes Daten wurde der Mann-Whitney U-Test (2 Gruppen) bzw. Kruskal-Wallis-Test (> 2 Gruppen) verwendet. Normalverteilte Daten wurden mithilfe einer univariaten Varianzanalyse (engl. analysis of variance, ANOVA) verglichen. Für den Vergleich kategorischer Daten kam der Chi-Quadrat-Test ( $\chi^2$ -Test) in Kombination mit dem exakten Fisher-Test zum Einsatz. Um Anwender mit variierenden Beatmungsfrequenzen zu vergleichen, erfolgte die Datenaggregation der individuellen Medianwerte. Ein p-Wert < 0,05 wurde als signifikant angesehen. Zur statistischen Auswertung wurde SPSS Version 16.0 (Fa. SPSS, Chicago, IL, USA) verwendet.

## 1.3 Ergebnisse

### 1.3.1 Vergleich von Spitzendruck und Atemzugvolumen zwischen den Systemen

Insgesamt wurden 23.300 Beatmungszyklen analysiert. Jährlich selbst bis zu 2 Neugeborene zu beatmen, gaben 26 Teilnehmer an; 34 Teilnehmer gaben mehr als 2 Kinder/Jahr an, 60 gaben keine Patientenerfahrung in der manuellen Beatmung Neugeborener an. Das mediane V<sub>T</sub> (in Klammern: Interquartilsabstand, IQR) für den SIB betrug 5,1 (3,2) ml und war signifikant (p<0,0005) höher als beim T-Stück System: 3,6 (0,8) ml. Das niedrigste aufgezeichnete V<sub>T</sub> betrug beim SIB 1 ml, das maximale V<sub>T</sub> 14,6 ml. Für das T-Stück System betrug das minimale V<sub>T</sub> 1,3 ml und das maximale V<sub>T</sub> 5,7 ml. Der mediane PIP (IQR) betrug für den SIB 25,6 (18,2) cmH<sub>2</sub>O und lag beim T-Stück System mit 19,7 (0,6) cmH<sub>2</sub>O signifikant (p<0,001) niedriger als beim SIB. Der niedrigste PIP betrug beim SIB 2,7 cmH<sub>2</sub>O; der höchste PIP betrug 59,8 cmH<sub>2</sub>O. Beim T-Stück System lag der minimale PIP bei 10,5 cmH<sub>2</sub>O; der maximale PIP bei 21,3 cmH<sub>2</sub>O.

### 1.3.2 Untersuchung der Anwenderfertigkeiten

Die Analyse der Fragebogen-Items ermöglichte die folgende Einteilung der Versuchsteilnehmer in unterschiedliche Fertigkeitsstufen (s. Tabelle 1). Als spezifische Fertigkeiten sind hierbei die berufliche Praxis eines Anwenders, dessen Kenntnisse zum Thema lungenprotektives

Management in der Erstversorgung sowie zusätzlich die Teilnahme an einem praktischen Training charakterisiert.

Tabelle 1: Charakteristika und Teilnehmeranzahl der einzelnen Fertigungsstufen

	Fertigungsstufe			
	0 (n=30)	1 (n=21)	2 (n=13)	3 (n=20)
Teilnahme an Manometertraining	-	-	-	+
Fortbildung zum Thema Beatmung in der Erstversorgung	-	-	+	+
Praktische Beatmungserfahrung	-	+	+	+

Bei der Benutzung des SIB zeigte der individuelle Trainingsgrad einen signifikanten Einfluss auf PIP und  $V_T$ : Je spezifischer der Trainingsgrad der Anwender war, desto näher lagen die applizierten Spitzendrücke im Bereich der Vorgaben. Dieser Einfluss war geräteabhängig und konnte ausschließlich für den SIB beobachtet werden, dagegen fand sich unabhängig vom Grad der Vorerfahrungen keinerlei Einfluss auf die Spitzendrücke für das T-Stück System.

Für den PIP zeigte sich beim SIB auf Fertigungsstufe 0 ein medianer Wert (IQR) von 34,5 (8)  $\text{cmH}_2\text{O}$ ; für die 1. Stufe 32,9 (12,8)  $\text{cmH}_2\text{O}$ ; für die 2. Stufe 24,7 (15,3)  $\text{cmH}_2\text{O}$  und für die 3. Stufe 18,3 (11,8)  $\text{cmH}_2\text{O}$ . Der Unterschied zwischen den Fertigungsstufen war hoch signifikant ( $p < 0,001$ ). Im Vergleich dazu ergab sich beim T-Stück System auf Fertigungsstufe 0 ein medianer PIP (IQR) von 19,7 (0,43)  $\text{cmH}_2\text{O}$ ; für die 1. Stufe 19,6 (0,5)  $\text{cmH}_2\text{O}$ ; für die 2. Stufe 19,6 (0,5)  $\text{cmH}_2\text{O}$  und für die 3. Stufe 19,7 (0,5)  $\text{cmH}_2\text{O}$ . Zwischen den Fertigungsstufen bestand kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,556$ ).

Für das  $V_T$  zeigte sich beim SIB auf Fertigungsstufe 0 ein medianer Wert (IQR) von 30 (7,3) ml; für die 1. Stufe 6,4 (2,7) ml; für die 2. Stufe 4,8 (2,2) ml und für die 3. Stufe 3,8 (2,3) ml. Der Unterschied zwischen den Fertigungsstufen war hoch signifikant ( $p < 0,001$ ). Im Vergleich dazu ergab sich beim T-Stück System auf Fertigungsstufe 0 ein medianes  $V_T$  (IQR) von 3,5 (0,8) ml; für die 1. Stufe 3,5 (0,5) ml; für die 2. Stufe 3,4 (0,3) ml und für die 3. Stufe 3,5 (0,3) ml. Zwischen den Gruppen bestand kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,661$ ).

Für die  $T_i$  zeigte sich beim SIB auf Fertigungsstufe 0 ein medianer Wert (IQR) von 0,3 (0,3) s; für die 1. Stufe 0,2 (0,2) s; für die 2. Stufe 0,2 (0,1) s und für die 3. Stufe 0,2 (0,1) s. Der Unterschied zwischen den Fertigungsstufen war signifikant ( $p = 0,048$ ). Im Vergleich dazu ergab sich beim T-Stück System auf Fertigungsstufe 0 eine mediane  $T_i$  (IQR) von 0,5 (0,4) s; für die 1. Stufe 0,3 (0,4) s; für die 2. Stufe 0,3 (0,1) s und für die 3. Stufe 0,3 (0,3) s. Zwischen den Gruppen bestand kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,661$ ).

### 1.3.3 Untersuchung der PEEP-Ventile

Es wurden insgesamt 240 Beatmungszyklen ausgewertet. Nur eines von 11 PEEP-Ventilen erreichte einen PEEP von 5  $\text{cmH}_2\text{O}$  (Mittelwert (Standardabweichung) 2,95 (1,82)  $\text{cmH}_2\text{O}$ ). Der Variationskoeffizient (CV) beträgt 0,6%. Bei fünf von 11 Ventilen (45%) lag der PEEP unter 3  $\text{cmH}_2\text{O}$ , bei 2 Ventilen unter 0,3  $\text{cmH}_2\text{O}$ . Im Vergleich dazu erreichten alle T-Stück Systeme einen PEEP von über 5  $\text{cmH}_2\text{O}$  (Mittelwert 5,59 (0,32)  $\text{cmH}_2\text{O}$ ). Der CV beträgt 0,06%. Die

applizierten PEEP variierten signifikant sowohl zwischen den einzelnen Ventilen ( $p < 0,05$ ) als auch im Vergleich zwischen PEEP-Ventilen und den T-Stück Systemen ( $p = 0,007$ ).

## 1.4 Diskussion

### 1.4.1 Vergleich von Spitzendruck und Atemzugvolumen zwischen den Systemen

Untersucht wurden die gerätespezifischen Einflüsse auf  $V_T$  und PIP in einem Trainingsszenario zur manuellen Neugeborenenbeatmung. Bei der Verwendung eines SIB konnten wie bei Resende et al., Hussey et al. und Oddie et al. Spitzendrücke mit starker Streubreite beobachtet werden (12, 14, 34, 35). In der vorliegenden Untersuchung variieren diese sowohl bei den einzelnen Anwendern (intraindividuell) als auch zwischen den einzelnen Anwendern (interindividuell) stark. Der Bereich des inspiratorischen Spitzendrucks betrug 0 bis 58 cmH<sub>2</sub>O, obwohl der SIB mit einem Überdruckventil ausgestattet war, welches nach Herstellerangaben einen Öffnungsdruck von 35 cmH<sub>2</sub>O besitzt. Gerade in der Hand von Ungeübten besteht die Gefahr, über den Beatmungsbeutel die kindlichen Lungenstrukturen durch Überdehnung zu schädigen (16). Mit dem T-Stück System wurden PIPs vorgabenadäquat kontrollierter appliziert. Die Verwendung von druckkontrollierter T-Stück-Beatmungshilfe konnte außerdem zur Volumenreduktion beitragen und verringert damit potenziell Scherkräfte im Sinne eines lungenprotektiven Managements (23-28).

In bisherigen Untersuchungen wurden Teilaspekte, insbesondere zum PIP, an nur kleineren Anwenderkollektiven verglichen und konnten bestätigt werden (12-15, 34-36). Die vorliegende Arbeit liefert erstmalig einen Vergleich der  $V_T$  zwischen den Geräten an einem großen stratifizierten Anwenderkollektiv.

Ebenso wie Hussey et al. konnte kein signifikanter Einfluss von Beatmungsvorerfahrung auf die PIP-Applikation gezeigt werden (14). Dass auch bei der Verwendung von T-Stück Systemen Risiken einer Fehlbedienung bestehen, wird in einer Arbeit von Hawkes et al. bei höheren Flüssen von  $> 10$  l/min deutlich (37). Da in manchen Ländern auch eine dritte Gerätegruppe, sogenannte Flow-entfaltende Beatmungsbeutel (Anästhesiebeutel) in der Erstversorgung zum Einsatz kommen, wurden diese Geräte in anderen Untersuchungen berücksichtigt (14, 15, 38). Anästhesiebeutel werden in Deutschland aber 1) nahezu nicht für die Erstversorgung Neugeborener angewandt und zeigten 2) eine ähnliche Anwenderabhängigkeit wie beim SIB (14, 39).

### 1.4.2 Untersuchung der Anwenderfertigkeiten

Untersucht wurde der Einfluss von spezifischen Anwenderfertigkeiten (Trainingsgrad) auf die PIP-,  $V_T$ - und  $T_i$ - Applikation mit 2 verschiedenen Beatmungssystemen. Es zeigte sich für die Parameter PIP und  $V_T$  eine klare Abhängigkeit von den Variablen Anwenderfertigkeiten und Gerät. Nur für den SIB bestehen hohe Variationen in PIP und  $V_T$ . Je größer der Grad der individuellen Fertigkeiten jedoch ausfällt, desto besser gelang es den Anwendern PIP und  $V_T$  zu begrenzen. Bei der Benutzung von T-Stück Systemen bestand diese Abhängigkeit nicht.

Bereits im Jahr 1967 stellten Egbert et al. fest, dass Anästhesisten mit längerer Berufserfahrung bei der Handbeatmung besser Beatmungsvorgaben einhielten (40). Das Konzept der „geschulten Hand“, bei dem der Anwender kleine Lungenveränderungen während der Beatmung über die Hand spürt, bestand seitdem. Im Jahr 1991 wurde diese These von Spears et al. widerlegt: Die Arbeitsgruppe hatte bei einem simulierten Tubusverschluss eines Reifgeborenen gezeigt, dass Anwender mit unterschiedlicher Berufserfahrung ein solches Ereignis nicht feststellen konnten (41). In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass der reine Faktor klinischer Beatmungsvorerfahrung bei keinem der untersuchten Geräte einen signifikanten Einfluss auf Applikation von PIP und  $V_T$  hatte. In allen untersuchten Fertigungsstufen wurden beim Beatmungsbeutel teilweise dramatisch hohe Spitzendrücke appliziert, die als risikoreich für unreife Lungenstrukturen einzuschätzen sind (33). Im Vergleich zur Senkung der inspiratorischen Spitzendrücke am SIB durch fortgeschrittene Trainingserfahrung der Teilnehmer zeigte der Einsatz eines T-Stück Systems jedoch deutlich niedrigere PIP und  $V_T$ . Beide Faktoren sind zur Vermeidung von Baro- und Volutrauma insbesondere bei Frühgeborenen von Bedeutung (16-19). Ohne nähere systematische Untersuchung der zugrunde liegenden Einflussfaktoren wurde in der bisherigen Literatur beim Vergleich zwischen Handbeatmungssystemen teilweise die berufliche Ausbildung der Anwender miteinbezogen. In diesen Studien zeigten sich jedoch allenfalls minimale bis keinerlei Einflüsse auf den Beatmungsspitzenwert (und  $V_T$ ). PIP und  $V_T$  lagen beim Einsatz eines T-Stück Systems näher an Beatmungsvorgaben (11, 14, 36). Bassini et al. konnten in einer aktuellen Untersuchung am Lungenmodell von Reifgeborenen zeigen, dass es keinerlei Einfluss der Berufsgruppe auf applizierte  $V_T$  beim Einsatz von Beatmungsbeuteln gibt (10).

Die kontrollierteste Beutelbeatmung zeigte sich in der vorliegenden Untersuchung bei Anwendern, die bereits an Manometertrainings teilgenommen hatten. Dass Manometer oder Beatmungsmonitore, während sie angeschlossen sind, ein sinnvolles direktes Rückmeldesystem darstellen, wird in verschiedenen Studien deutlich (42-44). Die dargestellten Daten liefern einen Hinweis auf den anhaltenden Lerneffekt von Manometertrainings.

#### 1.4.3 Untersuchung der PEEP-Ventile

Neben Baro- und Volutrauma gelten auch inadäquat niedrige Atemzugvolumina als mögliches Risiko für die unreife Lunge (22, 45-47). Durch einen endexpiratorisch aufrecht erhaltenen Atemwegsdruck soll in der Lunge beim „Open lung“-Konzept ein De-Recruitment vermieden und somit die FRC aufrechterhalten werden (45, 47, 48). Bei der Untersuchung von PEEP-Ventilen am Beatmungsbeutel zeigt sich, dass etwa die Hälfte der untersuchten Ventile nicht in der Lage ist einen adäquaten PEEP aufzubauen, während alle untersuchten T-Stück Systeme mit niedrigerer Variabilität pro Gerät und zwischen den Geräten im Zielbereich lagen. Finer et al. hatten in einer Untersuchung mit verschiedenen Anwendern erstmalig stark variablen PEEP bei der Beutelbeatmung beschrieben (15). In einem Anwendervergleich (n=31) zwischen einem Beatmungsbeutel (Fa. Vital Signs, Totowa, NJ), einem T-Stück System und einem

Anästhesiebeutel konnten in derselben Forschungsgruppe Bennett et al. dieses Ergebnis erneut bestätigen (13). Bei Vorabuntersuchungen zur vorliegenden Arbeit stellte sich heraus, dass unterschiedliche Anwender zwar eine Auswirkung auf PIP und  $V_T$  hatten, der PEEP hingegen vom eingesetzten Ventil abhängig zu sein schien. Daher unterscheidet sich das Vorgehen zu den bisherigen Studien darin, dass hier die Ventile bzw. die T-Stück Systeme als vermuteter Haupteinflussfaktor variiert und der Anwender konstant gehalten wurde. Auch Morley et al. konnten kürzlich die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bestätigen und zeigten zudem die Abhängigkeit des PEEP-Niveaus von der Atemfrequenz (49). Wie auch bei PIP und  $V_T$  erzeugen die untersuchten T-Stück Systeme PEEP konsistenter als Beatmungsbeutel.

#### 1.4.4 Limitationen der Versuche

Die durchgeführten Untersuchungen unterliegen verschiedenen Limitationen. Zum einen wurde ein künstliches Lungenmodell in einer Simulationsumgebung verwendet. Diese artifizielle Situation selbst könnte einen Einfluss auf die individuelle Beatmungsleistung verursacht haben. Andere Arbeitsgruppen wählten allerdings ein ähnliches Vorgehen(11, 13-15); klinische Untersuchungen in diesem Feld stehen noch aus. Weiterhin waren die Compliance-Eigenschaften der Testlunge statisch und reflektieren somit nicht die dynamischen Veränderungen, die nach der Geburt an der Neugeborenenlunge stattfinden (50, 51). Kattwinkel et al. konnten jedoch kürzlich zeigen, dass die Wahrnehmung solcher Compliance-Veränderungen allein durch die geschulte Anwenderhand weder beim Beatmungsbeutel noch beim T-Stück System möglich ist (52). Ferner war das in der vorliegenden Arbeit untersuchte Modell intubiert und nicht maskenbeatmet. Dies geschah in der Absicht, unabhängig von anwenderspezifischen Lecks, eine zuverlässige Datenerhebung zu ermöglichen (36, 53, 54). Die Graduierung in Fertigungsstufen und die Items des Fragebogens wurden im Rahmen der Untersuchungen generiert und stellen lediglich ein Modell dar. Sie gehen über die bisher untersuchte Berufserfahrung hinaus und verdeutlichen den starken Bezug zur Trainingsteilnahme und Fortbildung.

Die untersuchten PEEP-Ventile stammten aus dem klinischen Alltag mit einer unterschiedlichen Anzahl an Sterilisations- und Wiederaufbereitungszyklen ohne sichtbare Schäden. Vom Hersteller werden keine Angaben zur maximalen Anzahl an Wiederaufbereitungen gegeben, trotzdem ist ein möglicher Einfluss nicht auszuschließen. PEEP-Ventile bestehen aus mindestens drei verschiedenen Materialien: Kunststoff, Gummi und Metall, welche möglicherweise von der Hitzeaufbereitung beeinflusst werden. Im Jahr nach Veröffentlichung der vorliegenden Daten gingen Morley et al. genau dieser Fragestellungen nach und testeten Einweg-Beutel-/PEEP-Ventil-Systeme gegen wiederaufbereitete Systeme. Auch neuwertige Einwegsysteme lagen beim applizierten PEEP deutlich unter den Vorgaben der eingestellten PEEP (49).

#### 1.4.5 Bedeutung für die Klinik

In einer Cochrane-Metaanalyse von DePaoli et al. konnte der Nutzen von CPAP (kontinuierlich positiver Atemwegsdruck; engl. Continuous Positive Airway Pressure) insbesondere bei Atemstörungen von unreifen Neugeborenen gezeigt werden (55, 56). Dass PEEP-Ventile am SIB im Unterschied zu T-Stück Systemen mit konstantem Flow PEEP-Vorgaben deutlich unterschreiten stellt einen möglichen Nachteil bei der Therapie dar. Dieser Hinweis mit dem Zitat der vorliegenden Untersuchung fand auch bei der Konsensuskonferenz der American Heart Association 2010 Beachtung (4, 57). Auch O'Donnell et al. hatten eine Anpassung der ILCOR-Richtlinien vorgeschlagen, in der Handbeatmungsgeräte empfohlen werden, die stark variable PIP und  $V_T$  erzeugen und keinen zuverlässigen PEEP applizieren (27). Eine explizite Leitlinienempfehlung zur Gerätewahl steht aus.

In der Erstversorgung involvierte Personen sollten sich darüber im Klaren sein, dass mit einem SIB unter Umständen zu hohe PIP und  $V_T$  und dabei kein zuverlässiger PEEP generiert wird. Auch wenn druckkontrollierte Beatmung zunehmend Einsatz findet, so wird der Beatmungsbeutel auf Grund seiner weltweiten Verbreitung einen gewissen Stellenwert behalten - nicht zuletzt in Notfallkoffern, bei Transporten und ambulanten Noteinsätzen auf Grund seiner Verwendbarkeit ohne externen Gasfluss. Hier sollten gezielte Schulungen in Kombination mit praktischem Training erfolgen.

#### 1.4.6 Zusammenfassung

Die Beatmung mit einem T-Stück System ist deutlich konsistenter und gegenüber der Beutelbeatmung unabhängig von der Beatmungsvorerfahrung des Anwenders. Es konnte gezeigt werden, dass mit steigenden Anwenderfertigkeiten auch eine kontrolliertere Applikation von PIP und  $V_T$  am SIB ermöglicht wird, jedoch nicht, wie lange angenommen, ausschließlich durch Berufserfahrung beeinflusst wird. Vielmehr ist es die Teilnahme an Fortbildungen und praktischen Übungen unter Sicht von Beatmungsdrücken, die zur Senkung von PIP und  $V_T$  bei der Beutelbeatmung beitragen. Vergleicht man den Effekt, den ein hohes Maß an Fertigkeiten am SIB gegenüber dem Einsatz eines T-Stück Systems bietet, so liegt der Vorteil auf der Seite des T-Stück Systems, über welches eine wesentlich kontrolliertere Druck- und Volumenapplikation erreicht wird. Das gilt insbesondere bei der Versorgung VLBW-Frühgeborener. Idealerweise sollten während der neonatalen Kreißsaalerstversorgung Beatmungsdrücke und -volumina stets und kontinuierlich überwacht werden.

Vor der Anwendung von Handbeatmung sollte eine gerätespezifische Schulung zum lungenprotektiven Vorgehen erfolgen. Für Fachpersonal des Neugeborenen-Intensivbereichs ist zusätzlich die Teilnahme an Trainingsszenarien sinnvoll, in denen die Möglichkeit besteht, Drücke und Volumina der eigenen Handbeatmung hinsichtlich möglicher Gefahren rückgemeldet zu bekommen.

## 1.5 Literaturverzeichnis

1. Te Pas A, Siew M, Wallace M, *et al.* Establishing functional residual capacity at birth: the effect of sustained inflation and positive end expiratory pressure in a preterm rabbit model. *Pediatr Res.* 2009;65:537-41.
2. Siew ML, te Pas AB, Wallace MJ, *et al.* Positive end-expiratory pressure enhances development of a functional residual capacity in preterm rabbits ventilated from birth. *J Appl Physiol.* 2009;106:1487-93.
3. Schmölzer GM, te Pas AB, Davis PG, Morley CJ. Reducing lung injury during neonatal resuscitation of preterm infants. *J Pediatr.* 2008;153:741-5.
4. Kattwinkel J, Perlman JM, Aziz K, *et al.* Part 15: neonatal resuscitation: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation.* 2010;122:S909-19.
5. Perlman JM, Wyllie J, Kattwinkel J, *et al.* Part 11: neonatal resuscitation: 2010 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations. *Circulation.* 2010;122:S516-38.
6. Richmond S, Wyllie J. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 7. Resuscitation of babies at birth. *Resuscitation.* 2010;81:1389-99.
7. O'Donnell CPF, Davis PG, Morley CJ. Positive pressure ventilation at neonatal resuscitation: review of equipment and international survey of practice. *Acta Paediatr.* 2004;93:583-8.
8. O'Donnell C, Davis P, Morley C. Neonatal resuscitation: review of ventilation equipment and survey of practice in Australia and New Zealand. *J Paediatr Child Health.* 2004;40:208-12.
9. Birenbaum HJ, Dentry A, Cirelli J, *et al.* Reduction in the incidence of chronic lung disease in very low birth weight infants: results of a quality improvement process in a tertiary level neonatal intensive care unit. *Pediatrics.* 2009;123:44-50.

10. Bassani MA, Mezzacappa Filho F, Coppo MRC, Marba STM. Peak pressure and tidal volume are affected by how the neonatal self-inflating bag is handled. *Jornal de pediatria*. 2009;85:217-22.
11. McHale S, Thomas M, Hayden E, Bergin K, McCallion N, Molloy EJ. Variation in inspiratory time and tidal volume with T-piece neonatal resuscitator: association with operator experience and distraction. *Resuscitation*. 2008;79:230-3.
12. Oddie S, Wyllie J, Scally A. Use of self-inflating bags for neonatal resuscitation. *Resuscitation*. 2005;67:109-12.
13. Bennett S, Finer NN, Rich W, Vaucher Y. A comparison of three neonatal resuscitation devices. *Resuscitation*. 2005;67:113-8.
14. Hussey S, Ryan C, Murphy B. Comparison of three manual ventilation devices using an intubated mannequin. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2004;89:F490-3.
15. Finer N, Rich W, Craft A, Henderson C. Comparison of methods of bag and mask ventilation for neonatal resuscitation. *Resuscitation*. 2001;49:299-305.
16. Dreyfuss D, Saumon G. Ventilator-induced lung injury: lessons from experimental studies. *Am J Respir Crit Care Med*. 1998;157:294-323.
17. Molloy EJ. Possible sequelae of sustained lung inflation in resuscitation of preterm infants. *Pediatrics*. 2007;120:1221-2.
18. Hillman NH, Moss TJM, Kallapur SG, *et al*. Brief, large tidal volume ventilation initiates lung injury and a systemic response in fetal sheep. *Am J Respir Crit Care Med*. 2007;176:575-81.
19. Ambalavanan N, Carlo WA. Ventilatory strategies in the prevention and management of bronchopulmonary dysplasia. *Semin Perinatol*. 2006;30:192-9.

20. Dreyfuss D, Soler P, Basset G, Saumon G. High inflation pressure pulmonary edema. Respective effects of high airway pressure, high tidal volume, and positive end-expiratory pressure. *Am Rev Respir Dis.* 1988;137:1159-64.
21. Rimensberger P, Pache J, McKerlie C, Frndova H, Cox P. Lung recruitment and lung volume maintenance: a strategy for improving oxygenation and preventing lung injury during both conventional mechanical ventilation and high-frequency oscillation. *Intensive Care Med.* 2000;26:745-55.
22. Argiras EP, Blakeley CR, Dunnill MS, Otremski S, Sykes MK. High PEEP decreases hyaline membrane formation in surfactant deficient lungs. *British journal of anaesthesia.* 1987;59:1278-85.
23. Donn SM, Sinha SK. Minimising ventilator induced lung injury in preterm infants. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2006;91:F226-30.
24. Ramanathan R, Sardesai S. Lung protective ventilatory strategies in very low birth weight infants. *Journal of perinatology : official journal of the California Perinatal Association.* 2008;28 Suppl 1:S41-6.
25. van Kaam AH, Rimensberger PC. Lung-protective ventilation strategies in neonatology: what do we know--what do we need to know? *Crit Care Med.* 2007;35:925-31.
26. Brochard L, Roudot-Thoraval F, Roupie E, et al. Tidal volume reduction for prevention of ventilator-induced lung injury in acute respiratory distress syndrome. The Multicenter Trial Group on Tidal Volume reduction in ARDS. *Am J Respir Crit Care Med.* 1998;158:1831-8.
27. O'Donnell C, Davis P, Morley C. Resuscitation of premature infants: what are we doing wrong and can we do better? *Biol Neonate.* 2003;84:76-82.
28. Milner A. The importance of ventilation to effective resuscitation in the term and preterm infant. *Seminars in neonatology : SN.* 2001;6:219-24.

29. Bjorklund L, Ingimarsson J, Curstedt T, *et al.* Manual ventilation with a few large breaths at birth compromises the therapeutic effect of subsequent surfactant replacement in immature lambs. *Pediatr Res.* 1997;42:348-55.
30. Maritz G, Probyn M, De Matteo R, Snibson K, Harding R. Lung parenchyma at maturity is influenced by postnatal growth but not by moderate preterm birth in sheep. *Neonatology.* 2008;93:28-35.
31. Ingimarsson J, Björklund LJ, Curstedt T, Larsson A, Robertson B, Werner O. A lung recruitment maneuver immediately before rescue surfactant therapy does not affect the lung mechanical response in immature lambs with respiratory distress syndrome. *Acta anaesthesiologica Scandinavica.* 2003;47:968-72.
32. Naik AS, Kallapur SG, Bachurski CJ, *et al.* Effects of ventilation with different positive end-expiratory pressures on cytokine expression in the preterm lamb lung. *Am J Respir Crit Care Med.* 2001;164:494-8.
33. Polglase GR, Hillman NH, Ball MK, *et al.* Lung and systemic inflammation in preterm lambs on continuous positive airway pressure or conventional ventilation. *Pediatr Res.* 2009;65:67-71.
34. Resende JG, Zaconeta CAM, Ferreira ACP, *et al.* Evaluation of peak inspiratory pressure, tidal volume and respiratory rate during ventilation of premature lambs using a self-inflating bag. *Jornal de pediatria.* 2006;82:279-83.
35. Resende JG, Menezes CG, Paula AMC, *et al.* Evaluation of peak inspiratory pressure and respiratory rate during ventilation of an infant lung model with a self-inflating bag. *Jornal de pediatria.* 2006;82:359-64.
36. O'Donnell C, Davis P, Lau R, Dargaville P, Doyle L, Morley C. Neonatal resuscitation 2: an evaluation of manual ventilation devices and face masks. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2005;90:F392-6.
37. Hawkes CP, Oni OA, Dempsey EM, Ryan CA. Potential hazard of the Neopuff T-piece resuscitator in the absence of flow limitation. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2009;94:F461-3.

38. Leone TA, Rich W, Finer NN. A survey of delivery room resuscitation practices in the United States. *Pediatrics*. 2006;117:e164-75.
39. Roehr CC, Grobe S, Rudiger M, *et al.* Delivery Room Management of Very Low Birth Weight Infants in Germany, Austria and Switzerland - A Comparison of Protocols. *Eur J Med Res*. 2010;15:493-503.
40. Egbert LD, Bisno D. The educated hand of the anesthesiologist. A study of professional skill. *Anesth Analg*. 1967;46:195-200.
41. Spears RS, Yeh A, Fisher DM, Zwass MS. The "educated hand". Can anesthesiologists assess changes in neonatal pulmonary compliance manually? *Anesthesiology*. 1991;75:693-6.
42. Schmölzer G, Kamlin O, Dawson J, Davis P, Morley C. Respiratory monitoring of neonatal resuscitation. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2010;95:F295-303.
43. O'Donnell C, Davis P, Lau R, Dargaville P, Doyle L, Morley C. Neonatal resuscitation 3: manometer use in a model of face mask ventilation. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2005;90:F397-400.
44. Wood FE, Morley CJ, Dawson JA, Davis PG. A respiratory function monitor improves mask ventilation. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2008;93:F380-1.
45. Amato MB, Barbas CS, Medeiros DM, *et al.* Beneficial effects of the "open lung approach" with low distending pressures in acute respiratory distress syndrome. A prospective randomized study on mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med*. 1995;152:1835-46.
46. Dimitriou G, Greenough A, Laubscher B. Appropriate positive end expiratory pressure level in surfactant-treated preterm infants. *Eur J Pediatr*. 1999;158:888-91.
47. Dinger J, Töpfer A, Schaller P, Schwarze R. Effect of positive end expiratory pressure on functional residual capacity and compliance in surfactant-treated preterm infants. *Journal of perinatal medicine*. 2001;29:137-43.

48. O'Donnell C, Davis P, Morley C. Positive end-expiratory pressure for resuscitation of newborn infants at birth. *Cochrane database of systematic reviews*. 2004:CD004341.
49. Morley CJ, Dawson JA, Stewart MJ, Hussain F, Davis PG. The effect of a PEEP valve on a Laerdal neonatal self-inflating resuscitation bag. *J Paediatr Child Health*. 2010;46:51-6.
50. Vento M, Cheung P, Aguar M. The First Golden Minutes of the Extremely-Low-Gestational-Age Neonate: A Gentle Approach. *Neonatology*. 2008;95:286-98.
51. Jobe AH, Hillman N, Polglase G, Kramer BW, Kallapur S, Pillow J. Injury and inflammation from resuscitation of the preterm infant. *Neonatology*. 2008;94:190-6.
52. Kattwinkel J, Stewart C, Walsh B, Gurka M, Paget-Brown A. Responding to compliance changes in a lung model during manual ventilation: perhaps volume, rather than pressure, should be displayed. *Pediatrics*. 2009;123:e465-70.
53. Wood F, Morley C, Dawson J, *et al*. Improved techniques reduce face mask leak during simulated neonatal resuscitation: Study 2. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2008;93:F230-4.
54. Wood F, Morley C, Dawson J, *et al*. Assessing the effectiveness of two neonatal face masks during simulated resuscitation: Study 1. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2008;93:F235-7.
55. De Paoli AG, Davis PG, Faber B, Morley CJ. Devices and pressure sources for administration of nasal continuous positive airway pressure (NCPAP) in preterm neonates. *Cochrane database of systematic reviews*. 2008:CD002977.
56. Morley CJ, Lau R, De Paoli A, Davis PG. Nasal continuous positive airway pressure: does bubbling improve gas exchange? *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2005;90:F343-4.
57. Kattwinkel J, Perlman JM, Aziz K, *et al*. Neonatal resuscitation: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Pediatrics*. 2010;126:e1400-13.

## 1.6 Abkürzungsverzeichnis

CPAP	kontinuierlich positiver Atemwegsdruck (engl. Continuous Positive Airway Pressure)
IQR	Interquartilsabstand (engl. Inter-Quartile Range)
PIP	Inspiratorischer Spitzendruck (engl. Peak Inspiratory Pressure)
PEEP	Positiver Endausatemdruck (engl. Positive End Expiratory Pressure)
IPPV	Intermittierende Positivdruckbeatmung (engl. Intermittent Positive Pressure Ventilation)
SD	Standardabweichung (engl. Standard Deviation)
SIB	selbstentfaltender Beatmungsbeutel (engl. Self-inflating bag)
T <sub>i</sub>	Inspirationszeit (engl. Inspiratory Time)
T-Stück System	= T-Stück-Beatmungssystem
CV	Variationskoeffizient (engl. Coefficient of Variation)
VILI	beatmungsinduzierte Lungenschädigung (engl. Ventilator Induced Lung Injury)
VLBW	Geburtsgewicht < 1500g (engl. Very Low Birth Weight)
V <sub>T</sub>	Atemzugvolumen (engl. Tidal volume)



Der Promovent hatte folgenden Anteil an den vorgelegten Publikationen:

### **Publikation 1**

Roehr CC\*, Kelm M\*, Fischer HS, Bühner C, Schmalisch G, Proquitté, H.

\*equally contributing authors (mit entsprechender Kennzeichnung im Artikel)

Manual ventilation devices in neonatal resuscitation: Tidal volume and positive pressure-provision

Resuscitation 2010; 81(2):202-205

IF=2,91

Der Doktorand war während der Planung des Studiendesigns und der Untersuchungsbedingungen (prospektive randomisierte Einzeluntersuchung der Systeme mit allen Teilnehmern) maßgeblich einbezogen. Er entwickelte das Messszenario, war mitverantwortlich für die Rekrutierung der Teilnehmer (n=120), die Durchführung der Versuchsreihen sowie der Datenerhebung. Der Doktorand wertete die Studie nach Beratung mit PD Dr. rer. nat. G. Schmalisch selbständig statistisch aus. Er war an der Manuskripterstellung und dem Begutachtungsverfahren bis zur Veröffentlichung maßgeblich beteiligt.

Diese Arbeit wurde laut Thomson Reuters ISI Web of Knowledge<sup>SM</sup> (Stand: 1.7.2011) in 2 Artikeln zitiert.

### **Publikation 2**

Roehr CC\*, Kelm M\*, Proquitté H, Schmalisch G.

\*equally contributing authors (mit entsprechender Kennzeichnung im Artikel)

Equipment and operator training denote manual ventilation performance in neonatal resuscitation.

Am J Perinatol 2010; 27(9):753-758

IF=1,13

Der Doktorand erhob die Daten der untersuchten Anwender selbständig (n=84) und entwickelte die Elemente des Fragebogens maßgeblich mit. Er entwickelte eine Methode, die Fertigkeiten bei Teilnehmern von Neugeborenenreanimationstrainings hierarchisch abzubilden (Fertigkeitsstufen). Die Messungen wurden durch den Doktoranden selbständig durchgeführt. Der Doktorand wertete die Studie nach Beratung mit PD Dr. rer. Nat. G. Schmalisch selbständig statistisch aus. Er war an der Manuskripterstellung und dem Begutachtungsverfahren bis zur Veröffentlichung maßgeblich beteiligt.

**Publikation 3**

Kelm M, Proquitté H, Roehr CC.

Reliability of two common PEEP-generating devices used in neonatal resuscitation

Klin Padiatr 2009; 221(7):415-418

IF= 1,86

Der Doktorand war verantwortlich für Planung und Durchführung des Experimentes. Er entwickelte das Messszenario, führte die Versuchsreihen selbständig durch und wertete die Studie nach Beratung mit PD Dr. G. Schmalisch selbständig statistisch aus. Er verfasste das Manuskript und war am Begutachtungsverfahren bis zur Veröffentlichung maßgeblich beteiligt. Der Doktorand erstellte neben den Ergebnisgrafiken die Illustration zum Versuchsaufbau.

Diese Arbeit wurde laut Thomson Reuters ISI Web of Knowledge<sup>SM</sup> (Stand: 1.7.2011) in 5 Artikeln zitiert.

---

Marcus Kelm

Promovent

---

Prof. Dr. med. Roland Wauer

Betreuer des Promotionsvorhabens

Roehr CC\*, Kelm M\*, Fischer HS, Bühler C, Schmalisch G, Proquitté, H. Manual ventilation devices in neonatal resuscitation: Tidal volume and positive pressure-provision Resuscitation 2010; 81(2):202-205

\*equally contributing authors (mit entsprechender Kennzeichnung im Artikel)

Roehr CC\*, Kelm M\*, Proquitté H, Schmalisch G. Equipment and operator training denote manual ventilation performance in neonatal resuscitation. *Am J Perinatol* 2010; 27(9):753-758

\*equally contributing authors (mit entsprechender Kennzeichnung im Artikel)

Kelm M, Proquitté H, Schmalisch G, Roehr CC. Reliability of two common PEEP-generating devices used in neonatal resuscitation. *Klin Padiatr* 2009; 221(7):415-418

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

### Originalarbeiten

- **Kelm M**, Dold SK, Hartung J, Schmalisch G, Roehr CC. Use of a respiratory function monitor for training manual ventilation of neonates (zur Publikation eingereicht).
- Roehr CC\*, **Kelm M\***, Fischer HS, Bühner C, Schmalisch G, Proquitté, H. Manual ventilation devices in neonatal resuscitation: Tidal volume and positive pressure-provision Resuscitation 2010; 81(2):202-205.
- Roehr CC\*, **Kelm M\***, Proquitté H, Schmalisch G. Equipment and operator training denote manual ventilation performance in neonatal resuscitation. Am J Perinatol 2010; 27(9):753-758.
- **Kelm M**, Proquitté H, Roehr CC. Reliability of two common PEEP-generating devices used in neonatal resuscitation Klin Padiatr 2009; 221(7):415-418.

\* **equally contributing authors** (mit entsprechender Kennzeichnung im Artikel)

### Publizierte Abstracts und Poster

- **Kelm M**, Donat T, Proquitté H, Schmalisch G, Röhr CC. Nebenwirkungen mono- und binasaler CPAP- Systeme bei VLBW-Neugeborenen und deren Veränderungen im vergangenen Jahrzehnt. (Poster 141) 37. Jahrestagung der Gesellschaft für Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin (GNPI) Mannheim, 05/2011
- Hartung J, **Kelm M**, Fischer H, Schmalisch G, Röhr CC. Einfluss von Maskenlecks auf die applizierten Beatmungsdrücke und -volumina während der simulierten Neugeborenenreanimation. 37. Jahrestagung der Gesellschaft für Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin (GNPI) Mannheim, 05/2011
- Hartung J, **Kelm M**, Fischer H, Schmalisch G, Röhr CC. Wie zuverlässig sind unsere PEEP-Ventile nach wiederholter hygienischer Aufarbeitung? 37. Jahrestagung der Gesellschaft für Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin (GNPI) Mannheim, 05/2011
- **Kelm M**, Hartung J, Schmalisch G, Proquitté H, Roehr CC. Integrated manometers in 3 manual ventilation devices used in neonatal resuscitation. European Respiratory Journal 2010; 328s:Abstr1926
- **Kelm M**, Hartung J, Schmalisch G, Proquitté H, Roehr CC. Vergleich dreier Handbeatmungsgeräte mit Manometer bezüglich deren Druckapplikation in der simulierten Erstversorgung von Frühgeborenen. Klin Padiatr 2010; 222:18.
- **Kelm M**, Proquitté H, Schmalisch G, Röhr CC. Wie zuverlässig können Handbeatmungsgeräte in der Erstversorgung Druck- und Volumengrenzen einhalten? Z Geburtshilfe Neonatol 2009; 213.

- Röhr CC, Kluthe C, **Kelm M**, Schmalisch G, Hammer H, Proquitté H. Untersuchung zu Ausstattung und Vorgehen bei der Erstversorgung von Very Low Birth Weight Infants (VLBW) im deutschsprachigen Raum. (Abstract und Poster) Z Geburtshilfe Neonatol 2009; 213.
- Roehr CC, **Kelm M**, Schmalisch G, Wauer R, Proquitté H. Reliability of PEEP in neonatal resuscitation - Comparison of two common ventilation devices. (Poster) Recent Advances in Neonatal Medicine, Würzburg, 10/2008
- Roehr CC, **Kelm M**, Schmalisch G, Wauer R, Proquitté H. Einfluss anwenderspezifischer Fertigkeiten und Schulung auf die Applikation von Beatmungsdruck in der Erstversorgung Frühgeborener. (Abstract und Poster) Z Geburtshilfe Neonatol 2008; 212 (suppl 1).
- **Kelm M**, Proquitté H, Schmalisch G, Wauer R, Roehr CC. Wie zuverlässig können Handbeatmungsgeräte in der Erstversorgung PEEP garantieren? Pädiatrie hautnah, 2008; Suppl 1:16.
- **Kelm M**, Roehr CC, Schmalisch G, Wauer R. Schulung und praktisches Training am künstlichen Lungenmodell des Neugeborenen beeinflusst die Höhe des applizierten inspiratorischen Spitzendrucks und des Tidalvolumens, Z Geburtshilfe Neonatol, 2007; 211: S1-S106, 15.
- Roehr CC, **Kelm M**, Ruediger M, Wauer R, Proquitté H. Einfluss des Beatmungssystems auf den Beatmungsspitzenruck und das Tidalvolumen in der Erstversorgung von unreifen Neugeborenen im Kreißsaal, Z Geburtshilfe Neonatol 2005; 209 S2.

#### Präsentationen (national und international)

- **Kelm M**. Erstversorgung im Kreißsaal (geladener Vortrag i.R. des Symposiums: Versorgung und Notfälle der „kleinen Erwachsenen“) 13. Hauptstadtkongress für Anästhesiologie und Intensivtherapie (HAI) im Internationalen Congress Centrum ICC Berlin, 09/2011
- **Kelm M**. Nicht-invasive Atemunterstützung: Bedeutung von Beatmungsdruck und -Volumen in der Erstversorgung von VLBWs. (Vortrag i. R. des Workshops: Die ersten "goldenen Stunden": Lungenprotektives Management von extrem Frühgeborenen ab Kreißsaal in Theorie und Praxis) 37. Jahrestagung der Gesellschaft für Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin (GNPI) Mannheim, 05/2011
- **Kelm M**, Hartung J, Schmalisch G, Proquitté H, Roehr CC. Integrated manometers in 3 manual ventilation devices used in neonatal resuscitation. (Vortrag) Jahreskongress der European Respiratory Society (ERS) in Barcelona. 09/2010.

- **Kelm M**, Hartung J, Schmalisch G, Proquitté H, Roehr CC. Vergleich dreier Handbeatmungsgeräte mit Manometer bezüglich deren Druckapplikation in der simulierten Erstversorgung von Frühgeborenen. (Freier Vortrag 31) 36. Jahrestagung der Gesellschaft für Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin (GNPI) Saarbrücken, 06/2010.
- **Kelm M**, Proquitté H, Schmalisch G, Röhr CC. Wie zuverlässig können Handbeatmungsgeräte in der Erstversorgung Druck- und Volumengrenzen einhalten? (Freier Vortrag N 02.05) 35. Jahrestagung der Gesellschaft für Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin (GNPI), Berlin, 05/2009.
- **Kelm M**. A case of Steven-Johnson Syndrome - Vesicobullous Disorders in Children. (Vortrag) University Department of Paediatrics, Oxford University, 06/2008.
- **Kelm M**, Proquitté H, Schmalisch G, Wauer R, Roehr CC. Wie zuverlässig können Handbeatmungsgeräte in der Erstversorgung PEEP garantieren? (Freier Vortrag 21) 57. Jahrestagung der Norddeutschen Gesellschaft für Kinder- und Jugendmedizin (NDGKJ), Greifswald, 05/2008.
- **Kelm M**, Roehr CC, Schmalisch G, Wauer R. Schulung und praktisches Training am künstlichen Lungenmodell des Neugeborenen beeinflusst die Höhe des applizierten inspiratorischen Spitzendruckes und des Tidalvolumens. (Freier Vortrag 230) 33. Jahrestagung der Gesellschaft für Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin (GNPI), Hamburg, 06/2007.

Ich, Marcus Kelm, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Manuelle Beatmung bei der Reanimation und Kreisaalerstversorgung Neugeborener; Untersuchungen zu geräte- und anwenderspezifischen Einflussgrößen am neonatalen Lungenmodell“ selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.

---

Datum

---

Unterschrift

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei den Menschen bedanken, die mich bei diesem Dissertationsprojekt unterstützt haben.

Bei Professor Dr. Roland Wauer bedanke ich mich für die vielen guten Impulse, seine hervorragende fachliche Beratung sowie die freundliche und kompetente Unterstützung. Meinem Betreuer vor Ort und Mentor Dr. Charles Christoph Röhr danke ich für die inspirierende Kombination aus guten Diskussionen mit der Freiheit zum selbständigen Arbeiten sowie zahlreichen Herausforderungen. Durch ihn konnte ich eine experimentelle Forschung kennenlernen, die durch die Fragen des klinischen Alltages beflügelt wird und patientennahe Anwendbarkeit findet. Herrn Professor Dr. Christoph Bühner und Herrn Professor Dr. Felix Berger danke ich sehr für die Möglichkeit, in ihren Abteilungen die Ausbildung zum Kinderarzt zu beginnen und dabei mein Interesse für die neonatologische Intensivmedizin und die Kinderkardiologie klinisch und wissenschaftlich weiter ausbauen zu können. In diesem Zusammenhang danke ich auch herzlich Herrn Dr. Hannes Hammer, meinem klinischen Lehrer. Herrn PD Dr. Gerd Schmalisch danke ich für seine intensive und gewissenhafte Betreuung und seine vielen lehrreichen Vorschläge und Korrekturen bei der statistischen Auswertung und den Publikationen. Ich danke Herrn Dr. Hans Proquitté für seine kreative Förderung von Ideen und seine freundliche Hilfestellung bei Fragen. Silke Wilitzki möchte ich sehr für die moralische Unterstützung danken, diese war immer sehr kostbar.

Ich danke auch meinen Kollegen für ihr gutes klinisches Coaching während meiner ersten Berufsjahre: PD Dr. Florian Guthmann, Dr. Malte Cremer, Dr. Anke Wendt, Dr. Annette Münch, Dr. Hendrik Fischer, Dr. David Szekesty, Dr. Sebastian Hartenstein, Dr. Christoph Kluthe und dem restlichen Team der Neo. Michael Fuchs und Philipp Koch danke ich für die freundliche Durchsicht des Dokuments und ihre hilfreichen Anmerkungen.

Besonders danken möchte ich meiner Freundin Antje Lindner für ihre Geduld und liebevolle Unterstützung; Diese Arbeit widme ich unserer Tochter Elena.

Meinen Freunden danke ich für die aufmunternde Ablenkung, die oft wichtig war um neue und frische Sichtweisen finden zu können. Herzlicher Dank gilt auch meinen Eltern, und meiner Familie, die mich immer sehr unterstützten und mir das Medizinstudium ermöglichten.