

Aus der Klinik für Anästhesiologie
der Universität zu Lübeck
Direktor: Prof. Dr. med. Schmucker

**Simulierte Notfallversorgung von Opfern chemischer,
biologischer oder radionuklearer Substanzen unter
Atemschutzbedingungen**

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Universität zu Lübeck
- Aus der Medizinischen Fakultät -

Vorgelegt von Lena Weidelt
aus Regensburg

Lübeck 2009

1. Berichterstatter:

PD Dr. med. Jan Schumacher

2. Berichterstatter:

PD Dr. med. Dr. h. c. (BSMU) Peter Sterk

Tag der mündlichen Prüfung:

29.06.2009

zum Druck genehmigt. Lübeck, den

29.06.2009

gez. Prof. Dr. med. Werner Solbach

- Dekan der Medizinischen Fakultät -

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis.....	5
1. Einleitung.....	6
2. Versuchspersonen, Material und Methoden	10
2.1 Studienbedingungen und Versuchspersonen.....	10
2.2 Material.....	11
2.2.1 Material des Notfallszenarios	11
2.2.2 Material der Masken-Beutel-Beatmung	17
2.3 Methoden.....	19
2.3.1 Methodik des Notfallszenarios.....	19
2.3.2 Methodik der Masken-Beutel-Beatmung	25
2.3.3 Statistik.....	27
3. Ergebnisse.....	28
3.1 Versuchspersonen.....	28
3.2 Ergebnisse des Notfallszenarios	29
3.2.1 Dauer der einzelnen Arbeitsschritte.....	29
3.2.2 Ergebnisse des Fragebogens zu den Trageeigenschaften	32
3.3 Ergebnisse der Masken-Beutel-Beatmung	34
4. Diskussion	35
4.1 Methodendiskussion.....	35
4.1.1 Versuchspersonen.....	35
4.1.2 Diskussion der Methodik des Notfallszenarios	36
4.1.3 Diskussion der Methodik zur Masken-Beutel-Beatmung	38

4.2	Diskussion der Studienergebnisse	40
4.2.1	Hintergrund der Studie	40
4.2.2	Weitere Anwendungen des Atemschutzes bei Rettungseinsätzen...	40
4.2.3	Geschichtliche Entwicklung des Atemschutzes und des Einsatzes von CBRN-Substanzen als Kampfstoff.....	41
4.2.4	Allgemeine Richtlinien bei CBRN-Schadensereignissen	43
4.2.5	Bedeutung der Studie.....	43
4.3	Limitationen der Studie.....	46
5.	Zusammenfassung	47
6.	Literaturverzeichnis	49
7.	Danksagung	55
8.	Lebenslauf.....	56
9.	Publikationsverzeichnis	57

Abkürzungsverzeichnis

APR	air-purifying-respirator
CBRN	chemisch biologisch radionuklear
LDV	Leyland-DAF ambulance vehicle
PAPR	powered air-purifying-respirator

1. Einleitung

Während der Notfallversorgung von Opfern chemischer, biologischer oder radionuklearer (CBRN) Substanzen ist das medizinische Personal selbst nach Ablauf des Schadensereignisses durch Intoxikation oder Infektion gefährdet. Hierin besteht ein wesentlicher Unterschied zur Akutversorgung von traumatisierten Patienten. Es bedarf daher einer umfassenden Schutzausrüstung für das eingesetzte medizinische Personal.

Auslöser für CBRN-Schadensereignisse können industrielle Unfälle, natürliche Epidemien sowie kriminelle, terroristische und kriegsrische Aktivitäten sein.

So kam es beispielsweise 1995 in Tokio infolge der vorsätzlichen Freisetzung des Nervengases Sarin durch die Aum-Sekte in U-Bahnwaggons während der Versorgung und des Transports der Opfer zur Intoxikation des Rettungspersonals (1). Zehn Menschen kamen durch diesen Anschlag ums Leben und über 5000 wurden verletzt (2). Ein Jahr zuvor hatte die Aum-Sekte in Matsumoto einen Sarin-Anschlag verübt, bei dem 600 Menschen vergiftet wurden, 58 Menschen ins Krankenhaus kamen und sieben Menschen starben (3). Die Untersuchung der beteiligten Ärzte nach ihrem Einsatz und der Behandlung der Opfer wies mit Sarin in Verbindung stehende Beschwerden bei 13 von 15 Ärzten auf (4).

Nicht nur bei terroristischen Anschlägen sondern auch bei natürlichen Pandemien haben sich Ärzte, Pfleger und Rettungspersonal durch Patienten kontaminiert und infiziert: Während der SARS- (Schweres Akutes Respiratorisches Syndrom) Epidemie 2003, deren Zentrum Toronto war, wurden insgesamt 267 SARS-Patienten stationär aufgenommen. Die Hälfte dieser Patienten war medizinisches Personal, drei davon Anästhesisten und ein Intensivmediziner. Diese Ärzte infizierten sich bei der endotrachealen Intubation von SARS-Patienten, welche unter globaler respiratorischer Insuffizienz litten (5, 6).

Auf Grund dieser Erfahrungen wurden weltweit die Katastrophenschutzpläne sowie die medizinischen Versorgungspläne für Opfer von CBRN-Substanzen überarbeitet. Bis dahin galt der Einsatzgrundsatz „Dekontamination vor Reanimation“. Doch insbesondere die Erkenntnisse aus Tokio lassen vermuten, dass viele Vergiftete

überlebt hätten, wenn sie unmittelbar vor Ort im Rahmen von Lebensrettenden Sofortmaßnahmen behandelt worden wären. Es hat sich seitdem ein Strategiewechsel hin zu einer Strategie der „Reanimation vor Dekontamination“ vollzogen. Empfohlen wird eine schnelle, effektive Akutversorgung am Ort des Schadens bei größtmöglichem Schutz des medizinischen Personals (7-9).

Abhängig von den chemischen bzw. biologischen Eigenschaften des Gefahrstoffes oder Erregers bestehen prinzipiell zwei Komponenten des Individualschutzes, die gemeinsam oder einzeln zur Anwendung kommen können: Atemschutz- und Hautschutzmaßnahmen. Da die meisten CBRN-Substanzen über das Respirationssystem aufgenommen werden (10), ist der Atemschutz das vordringliche Ziel.

Bei den Atemschutzsystemen unterscheidet man „umluftunabhängige“ von „umluftabhängigen“ Atemschutzsystemen. Befindet sich der Anwender in einer sauerstoffarmen Atmosphäre, wie beispielsweise als Taucher unter Wasser, muss die benötigte Atemluft kontinuierlich über einen Druckluftschlauch von der Oberfläche (Helmtaucher) oder über einen vom Taucher getragenen Druckluftzylinder (Pressluftatmer) zugeführt werden. Diese isolierenden Geräte sind zwar umluftunabhängig, aber schwer und technisch aufwändig zu betreiben.

Ist hingegen in der umgebenden Atmosphäre ausreichend Sauerstoff vorhanden, der Schadstoff und die Schadstoffkonzentration bekannt und filtrierbar, kann ein leichtes, filtrierendes und somit umluftabhängiges Atemschutzsystem verwandt werden (11). Die Filter eines solchen Systems werden über ein Drehgewinde an einer Gesichtsmaske angebracht und entfernen Gase, Aerosole und Dämpfe aus der Umgebungsluft. Es stehen verschiedene Filter zur Verfügung, die sich in ihrem Einsatzspektrum unterscheiden. Allen Filtern gemein ist die Eigenschaft, dass sie Gase und Dämpfe aus der Umgebungsluft durch Anlagerung an Sorptionsmittel (imprägnierte Aktivkohle) und Partikel/Aerosole durch einen Mikroglasfaser-Filter entfernen (10).

Die umluftabhängigen, filtrierenden Atemschutzsysteme (air-purifying-respirator, APR) sind klein, leicht und einfach einzusetzen. Leider erhöht der Atemwiderstand des Filters die Atemarbeit und kann so die Einsatzleistung beeinträchtigen. Auf Grund dieses Nachteils wurden gebläseunterstützte Atemschutzsysteme (powered

air-purifying respirator, PAPR) entwickelt, welche die Atemarbeit des Trägers signifikant reduzieren. Dieses System besteht aus drei Teilen:

1. Der Atemanschluss – zur Verwendung kommt eine Atemschutzmaske mit Rundgewindeanschluss.
2. Der Atemschlauch – ein 1,5 Meter langer Faltenschlauch von 4 cm Innendurchmesser.
3. Die Gebläseeinheit mit Akku und Filtereinsätzen, welche am Gürtel getragen wird.

Bei diesem System wird die Luft aus der Umgebung angesaugt, gefiltert und durch den Atemschlauch in die Gesichtsmaske geblasen. Der Anwender eines solchen gebläseunterstützten Atemschutzsystems trägt also nicht nur eine Atemschutzmaske, welche er normalerweise direkt mit dem Filter kombinieren würde, sondern zusätzlich eine Gebläse-Filter-Einheit am Gürtel. Somit ist dieses System schwerer und möglicherweise unhandlicher, was einen Einfluss auf die Bewegungsfreiheit des Trägers haben könnte.

In toxischer Umgebungsatmosphäre ergibt sich noch ein weiteres zu beachtendes Problem: Während der manuellen Beatmung eines Patienten mittels Beatmungsbeutel wird die Umgebungsluft in den selbstexpandierenden Beutel gesaugt und wiederum bei Kompression des Beutels dem Patienten zugeführt. Um eine dauerhafte Intoxikation bei der künstlichen Beatmung zu vermeiden, wurde ein filtrierender, manueller CBRN-Beatmungsbeutel entwickelt. Dieser Beatmungsbeutel wird an dieselben Atemfilter angeschlossen, welche auch bei konventionellen, filtrierenden Atemschutzsystemen Verwendung finden. Der Atemfilter verzögert die Selbstexpansion des Beutels während der Expiration des Patienten und bedarf somit vor einer Einsatzempfehlung der Evaluation.

Im Dezember 2006 hat das britische Gesundheitsministerium veranlasst, dass medizinische Rettungskräfte und Klinikpersonal der Aufnahmestationen mit persönlicher Atemschutzausrüstung ausgestattet werden, um den rettungsmedizinischen Strategiewechsel „Reanimation vor Dekontamination“ zu ermöglichen (12). Ziel war es, ein CBRN-Opfer schnellstmöglich notfallmedizinisch versorgen zu können und gleichzeitig die Eigengefährdung des medizinischen Personals zu minimieren.

1. Einleitung

Der notfallmedizinische Strategiewechsel konfrontiert ziviles medizinisches Personal mit einer Materie, die bisher nur Wehrmedizinern oder Katastrophenschutzpersonal vertraut war. Diese aktuellen Entwicklungen der präklinischen Notfallmedizin, wie sie derzeit in England zu beobachten sind, veranlassten uns, den spezifischen Einfluss von modernen filtrierenden Atem- und Beatmungsgeräten auf das simulierte präklinische Notfallmanagement eines CBRN-Patienten zu untersuchen.

Die Studie wurde in Kooperation mit dem Londoner Rettungsdienst und dem *Guy's and St Thomas'* Krankenhaus-Verbund in London durchgeführt.

Die vorliegende Untersuchung sollte folgende Fragen beantworten:

- Gibt es einen zeitlichen und operationellen Unterschied zwischen gebläseunterstützten- und konventionellen Filter-Atemschutzsystemen bei der simulierten Notfallversorgung?
- Unterscheidet sich eine filtrierende Masken-Beutel-Beatmung von einer konventionellen hinsichtlich ihrer Effektivität bezogen auf Beatmungsparameter?

2. Versuchspersonen, Material und Methoden

2.1 Studienbedingungen und Versuchspersonen

Die vorliegende Studie wurde nach Information der Ethikkommission (*Research Ethics Committee reference: 06/10; 26. April 2006* und *Research Ethics Committee reference: 07/13; 26. März 2007*) und Genehmigung durch das *Research and Development Department* des *Guy's St Thomas' NHS Foundation Trust* (*R&D number: RJ1 06/0304; 4. Dezember 2006*) in London durchgeführt. Zusätzlich erfolgte die Anmeldung und Genehmigung bei dem *Research and Development Department* des *London Ambulance NHS Trust* (*Project number: LAS/EXT/2006/03; 15. Mai 2006*).

Es nahmen insgesamt 14 Freiwillige an der Studie teil. Bei den Teilnehmern handelt es sich um sogenannte *Paramedics*, ausgebildet an der *University of Hertfordshire*, UK. Die ausgewählte Gruppe der Versuchspersonen bestand aus neun Männern und fünf Frauen. Der Altersdurchschnitt lag bei $25,5 \pm 7,5$ Jahren (arithmetisches Mittel $\pm$ Standardabweichung).

Einschlusskriterien waren eine Mindestberufserfahrung als *Paramedic* von 2,5 Jahren.

Als Ausschlusskriterien wurden Asthma bronchiale, Klaustrophobie sowie eine höhergradige Fehlsichtigkeit festgelegt.

Das Asthma bronchiale ist hinsichtlich der möglichen Atemanstrengung bei einem solchen Szenario ein Ausschlusskriterium, stellt jedoch keine ausdrückliche Kontraindikation zum Tragen einer Atemschutzmaske dar (11).

Die Fehlsichtigkeit ist kein Ausschlusskriterium zum Arbeiten mit Sicht- und Atemschutz, bedingt jedoch das Tragen einer individuell angepassten Maskenbrille.

Menschen, die an einer Klaustrophobie leiden, haben möglicherweise Schwierigkeiten beim Tragen einer das Gesichtsfeld einengenden Atemschutzmaske (11).

2.2 Material

2.2.1 Material des Notfallszenarios

2.2.1.1 Filtrierendes Atemschutzsystem (APR)

Der beim konventionellen APR-System verwendete Atemfilter hat die Kennung A2B2E2K2-P3 (CF32, Scott Health & Safety, Skelmersdale, UK). Er ist nach Europäischer Norm (EN) 141, der Norm für Atemschutzgeräte-, Gas- und Kombinationsfilter klassifiziert, wiegt 370 g und bietet Schutz gegen organische Gase und Dämpfe, die einen Siedepunkt von mehr als 65°C besitzen, anorganische Gase und Dämpfe, wie z. B. Chlor, Schwefelwasserstoff, Blausäure, aber nicht gegen Kohlenmonoxid. Des Weiteren besteht ein Schutz gegen chemische Kampfstoffe vom Organosphosphat-Typ. Außerdem beinhaltet er einen Partikelfilter mit hoher Abscheideleistung (13) (Abb. 1).



Abb.1: Filtrierendes Atemschutzsystem (APR): CF32-Filter, Scott Health & Safety, Skelmersdale, UK, im Aufschnitt und in Kombination mit einer Atemschutzmaske

2.2.1.2 Gebläseunterstütztes Atemschutzsystem (PAPR)

Das neuartige PAPR-System (Proflow 2SC®, Scott Health & Safety, Skelmersdale, UK) ist eine Kombination aus Gebläse, welches Außenluft ansaugt, und einer Filtereinheit, über die die Luft in das Maskeninnere geblasen wird. Die Filtereinheit besteht aus zwei oben beschriebenen CF32-Filtern. Die Kombination aus den beiden Filtern und dem Gebläse ist über einen Schlauch mit der Atemschutzmaske verbunden. Sie wiegt insgesamt 2140 g und wird mittels Gürtel auf dem Rücken getragen. Die Stromversorgung ist über einen Akku sichergestellt. Er befindet sich neben den beiden Filtern und hat eine Laufzeit von 7 bis 15 Stunden (Abb.2).



Abb. 2: Gebläseunterstütztes Atemschutzsystem (PAPR) Proflow 2SC®, Scott Health & Safety, Skelmersdale, UK und CF32-Filter, Scott Health & Safety, Skelmersdale, UK

2.2.1.3 Atemschutzmaske

Als Atemschutzmaske wurde bei beiden Atemschutzsystemen eine Vollgesichtsmaske (Promask 40®, Scott Health & Safety, Skelmersdale, UK) verwendet. Sie dient dem Schutz gegen CBRN-Substanzen, Tränengas sowie Industrienoxen und entspricht sowohl den amerikanischen Normen des *National Institute for Occupational Safety and Health* als auch den europäischen Richtlinien und Normen des Deutschen Instituts für Normung, die in der Norm DIN EN 136 Klasse 3 niedergeschrieben sind. Die Maske bietet die Möglichkeit, einen Atemfilter oder das gebläseunterstützte Atemschutzsystem anzuschließen (Abb.3).



Abb. 3: Vollgesichtsmaske, Promask 40®, Scott Health & Safety, Skelmersdale, UK

2.2.1.4 Schutzanzug und Schutzhandschuhe

Während des Szenarios wurde von den Teilnehmern ein semipermeabler CBRN-Schutzanzug (Saratoga® BMI-Suit, Bluecher, Erkrath, Deutschland) getragen. Außerdem benutzten alle Beteiligten CBRN-Schutzhandschuhe, bestehend aus Butylkautschuk (0,35 mm, Bluecher, Erkrath, Deutschland). Die Schutzhandschuhe sind nach DIN 374 Teil 1 gefertigt (13).

2.2.1.5 Patientensimulator

Für das Szenario wurde das Mannequin „SimMan® (Laerdal Medical Ltd, Orpington, UK) verwendet. Seine umfangreichen Funktionen sind in Tab. 1 auszugsweise erläutert:

Tab. 1: Simulationsmöglichkeiten des Patientensimulators

Atemwegsmanagement	- Beutel-Masken-Beatmung* - Oro- und nasopharyngeale Einbringung von verschiedenen Atemwegshilfen*, wie z. B.: - Kombituben - Larynxmasken - Endotracheale Intubation* - Retrograde Intubation - Fiberoptische Intubation - Nadel-Koniotomie - Chirurgische Koniotomie - Fiberoptische Bronchoskopie - Spontane Atemtätigkeit mit variabler Respirationsrate - Zungenödem, pharyngeale Obstruktion und Laryngospasmus, verminderte zervikale Bewegungsfreiheit - Verminderte Lungenresistance - Pneumothoraxdekompression an 3 Stellen und Anlage einer Thoraxdrainage - Magendekompression
HerzKreislauf und i.v.-Medikamentenapplikation	- i. v.-Zugangstraining am Arm mit erneuerbarer Haut und erneuerbaren Venen* - Möglichkeiten für subkutane und intramuskuläre Injektion

Pulse	- A. carotis*, A. femoralis, A. brachialis, A. radialis, A. dorsalis pedis und A. tibialis posterior - Puls- oder kompressionssynchronisierte EKG-Antwort* - Pulsstärke korreliert mit dem Blutdruck und der Lokalisation des getasteten Pulses
kardiale Funktionen	- Große EKG-Rhythmen-Datenbank* - Druckartefakte im EKG während der kardiopulmonalen Reanimation - Defibrillation und kardiales Monitoring* - Externe Schrittmacheranlage mit variabler Frequenzmodulation
kardiopulmonale Reanimation	- Überprüfung von Vitalparametern* - Beatmung* - Thoraxkompression* - EKG und Herzfrequenz können angezeigt werden.*
Blutdruck	- Automatisch, auskultatorisch und palpabel* - Synchronisierter Puls auskultatorisch und palpabel - Leicht variierbarer systolischer und diastolischer Blutdruck
Genitale zur Anlage eines Katheters	- Weibliches und männliches Genital können für eine Katheterisierung angesetzt werden.

Tab. 1: Simulationsmöglichkeiten des „SimMan“® (Laerdal Medical Ltd, Orpington, UK). Die von uns genutzten Anwendungen sind mit * markiert (14).

2.2.1.6 Rettungswagen

Zur Simulation eines beengten Operationsfeldes wurde die Studie in einem Rettungswagen (Leyland-DAF ambulance vehicle, LDV) durchgeführt. Dies ist das Standard-Rettungsfahrzeug in England, in der Ausstattung und seinen Ausmaßen etwa vergleichbar mit einem deutschen Rettungs-Transport-Wagen. Durch die Wahl dieses Durchführungsortes ergab sich ein sehr begrenzter Raum zur Ausführung des vorgegebenen Szenarios (Abb. 4).



Abb. 4: Aufbau der Studie

2.2.2 Material der Masken-Beutel-Beatmung

2.2.2.1 „Bench-Modell“

Zur Messung des Ventilationsminutenvolumens bei Masken-Beutel-Beatmung wurde ein „Bench-Modell“ entwickelt. Hierfür wurde ein Mannequin „Laerdal Airway Management Trainer®“ verwendet. In der von Jordan et al. (15) veröffentlichten Studie zeigte sich, dass dieses Mannequin anderen insbesondere bei der Nachstellung der Maskenbeatmung überlegen ist.

Zur Quantifizierung der Masken-Beutel-Beatmung wurde eigens für diese Untersuchung das folgende Verfahren entwickelt:

Die künstlichen Lungen des Mannequins wurden entfernt und die distale Trachea mit Hilfe eines Endotrachealtubus (ID 8.5 mm) retrograd intubiert. Das Ende des Tubus wurde in der mittleren Trachea platziert und der Cuff geblockt. Der sich distal des Tubus befindende Konnektor (AD 15 mm) wurde mittels Winkelstück an den Expirationsschenkel eines Volumeters (Volumeter 3000®, Dräger, Deutschland) angeschlossen.

Mit dem im Volumeter integrierten Uhrwerk konnte der Zeitraum von einer Minute genau bestimmt werden. So war es mit Hilfe dieses Aufbaus möglich, das Ventilationsminutenvolumen zu messen, welches die Trachea während der Masken-Beutel-Beatmung erreichte.(Abb.5).

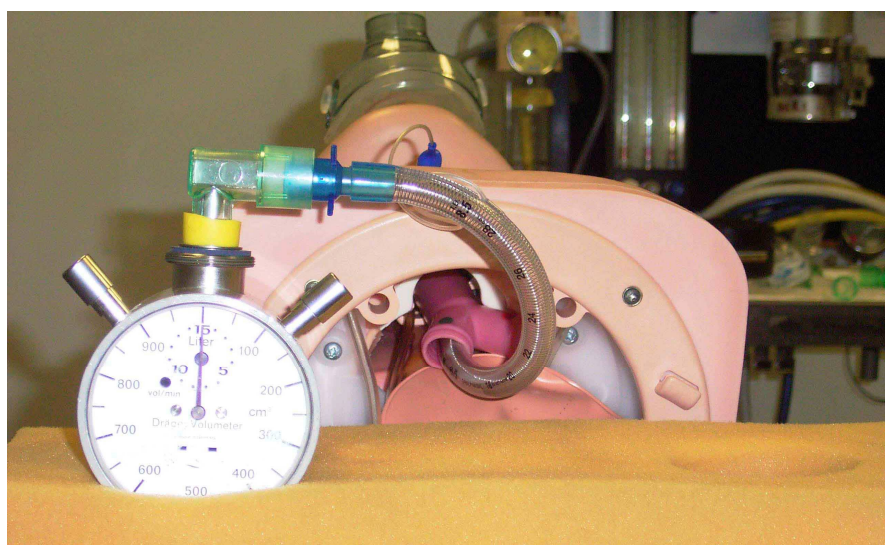


Abb. 5: Das „Bench-Modell“: Laerdal Airway Management Trainer® verbunden mit einem Dräger Volumeter 3000®, Dräger, Lübeck, Deutschland

2.2.2.2 Beatmungsbeutel, Beatmungsmaske, Atemschutzsystem und Schutzhandschuhe

Neben dem oben beschriebenen „Bench-Modell“ kam es zur Anwendung einer einfachen Beatmungsmaske mit Beatmungsbeutel „AMBU Mark III resuscitator™“ (Ambu A/S, Dänemark). An den Beatmungsbeutel wurde ein CBRN-Atemfilter (A2B2E2K1-P3D, Dräger Safety, Deutschland) angeschlossen. Weiterhin wurden das oben beschriebene PAPR-Atemschutzsystem sowie CBRN-Schutzhandschuhe verwendet.

2.3 Methoden

2.3.1 Notfallszenario

Mit diesem Studienteil wollten wir folgende Parameter untersuchen: Zum Einen ging es darum, die mögliche zeitliche Verzögerung der Versorgung von Patienten im Fall eines CBRN-Schadensereignisses durch das Tragen von Atemschutz und Schutzkleidung durch Messung der benötigten Zeit zu überprüfen. Zum Anderen wollten wir subjektive Aspekte hinsichtlich der Atemschutzanwendung mit Hilfe eines Fragebogens zu analysieren.

2.3.1.1 Ablauf der Studie

Der Patientensimulator befand sich auf der Trage des LDV. Als weitere Ausstattung standen Atropin- und Adrenalin-Übungsapplikatoren, endotracheale Tuben verschiedener Größe, Laryngoskop mit verschiedenen Spateln und Spitzen sowie Material zum Legen eines intravenösen Zugangs zur Verfügung.

Außerdem befand sich ein halbautomatischer Defibrillator (Heartstart FR2®, Laerdal Medical Ltd, Orpington, UK) auf dem Wagen. Der Defibrillator wurde zum Ableiten eines EKGs genutzt.

Die simulierte Reanimation wurde nach den im *European Resuscitation Council* beschriebenen aktuellen Advanced-Life-Support-Richtlinien durchgeführt (16). Ein Übungsteam bestand aus zwei *Paramedics*, im weiteren Verlauf mit *Paramedic 1* und *Paramedic 2* bezeichnet. Nach Anlegen der Schutzausrüstung bestehend aus Schutzmaske mit APR-System oder mit PAPR-System sowie dem Schutzanzug und Schutzhandschuhen begannen *Paramedic 1* und *Paramedic 2* das Szenario mit der Überprüfung des Bewusstseins und der Vitalfunktionen des Mannequins (Abb. 6).

Nachdem bei diesem die Nichtansprechbarkeit und Apnoe durch *Paramedic 1* festgestellt worden waren, begann *Paramedic 2* mit der Masken-Beutel-Beatmung mittels konventionellem Beatmungsbeutel. Es folgte das Anlegen der EKG-Elektroden. Auf dem Bildschirm des Defibrillators zeigte sich eine Asystolie. Während

2. Versuchspersonen, Material und Methoden

Paramedic 1 weiterhin den Patientensimulator beatmete und die endotracheale Intubation vorbereitete, führte *Paramedic 2* die Herz-Druck-Massage durch (Abb. 7).

Nach erfolgreicher Intubation und Anschluss des Beatmungsgerätes (MicroVENT®, BNOS Meditech, Halstead, UK, Abb. 8), wechselten *Paramedic 1* und *Paramedic 2* die Positionen: *Paramedic 1* legte den intravenösen Zugang (Abb. 9) und applizierte die Medikamente Atropin und Adrenalin (Abb. 10).

Tab. 2 gibt eine Übersicht über die einzelnen Arbeitsschritte des Notfallszenarios:

Tab. 2: Arbeitsschritte

	<i>Paramedic 1</i>	<i>Paramedic 2</i>
Arbeitsschritt 1 (Abb. 6)	Prüfung des Bewusstseins und der Vitalfunktionen	Anlegen des EKGs
Arbeitsschritt 2 (Abb. 7)	Atemwegsmanagement Einbringen des Guedeltubus Masken-Beutel-Beatmung	Herz-Druck-Massage
Arbeitsschritt 3 (Abb. 8)	Endotracheale Intubation Anschluss des Beatmungsgerätes	Herz-Druck-Massage
Arbeitsschritt 4 (Abb. 9)	Legen des i. v. -Zugangs	Herz-Druck-Massage
Arbeitsschritt 5 (Abb. 10)	Gabe der Medikamente	Herz-Druck-Massage

Tab. 2: Übersicht über die einzelnen Arbeitsschritte des Notfallszenarios



Abb. 6: Überprüfung des Bewusstseins und der Vitalfunktionen (Arbeitsschritt 1)



Abb. 7: Beginn der Masken-Beutel-Beatmung und Herzdruckmassage (Arbeitsschritt 2)



Abb. 8: Endotracheale Intubation (Arbeitsschritt 3)



Abb. 9: Legen der intravenösen Kanüle (Arbeitsschritt 4)



Abb. 10: Applikation der Medikamente (Arbeitsschritt 5)

2.3.1.2 Fragebogen zu den Trageeigenschaften

Nach Abschluss der Durchgänge füllten die Versuchspersonen den folgenden Fragebogen unabhängig voneinander aus (Abb. 11):



Ease of breathing			Ease of breathing	
Ease of communication			Ease of communication	
Wearer comfort			Wearer comfort	

Please indicate, using the scale below, the applicable number for each scenario of the study according to application / garment worn, etc.

[0 1 2 3 4 5]

worst

best

Abb. 11: Fragebogen zu Leichtigkeit zu atmen, Tragekomfort und Kommunikationsmöglichkeit

Auf der Skala von 0 bis 5 war 0 das negativste Ergebnis und 5 das positivste Ergebnis.

2.3.1.3 Studiendesign des Notfallszenarios

Insgesamt wurde das Szenario dreimal von den 14 Versuchspersonen durchlaufen. Es gab einen Kontrolldurchlauf ohne Atemschutz aber mit Schutzanzug, einen Durchlauf mit konventionellem Filter-Atemschutz (APR), sowie einen Durchlauf mit gebläseunterstütztem Atemschutz (PAPR). Um eventuelle Reihenfolge- und Wiederholungseffekte zu neutralisieren, wurde ein randomisiertes Crossover-Design angewendet. Das bedeutet, dass die Reihenfolge von Kontrolldurchgang bzw. Durchführung des Szenarios mit APR-System und PAPR-System sowie die Reihenfolge *Paramedic 1* und *Paramedic 2* variiert wurde.

2.3.1.4 Studiendokumentation des Notfallszenarios

Neben dem oben beschriebenen Fragebogen wurde das Notfallszenario mit Hilfe von zwei fest installierten Digitalvideokameras mit Superweitwinkelobjektiven dokumentiert. Die Videokameras waren im Inneren des Ambulanzwagens montiert, so dass die komplette Durchführung des Szenarios aus immer der gleichen Perspektive dokumentiert werden konnte.

Im Nachhinein konnte an Hand der Videodokumentation die Dauer der Arbeitsschritte in den verschiedenen Durchläufen genau bestimmt und dokumentiert werden. Vier Zeitabschnitte wurden dabei einzeln gemessen:

1. Masken-Beutel-Beatmung und Monitoring (Arbeitsschritt 1 und 2)
2. Endotracheale Intubation (Arbeitsschritt 3)
3. Legen eines i. v.-Zugangs (Arbeitsschritt 4)
4. Medikamentenapplikation (Arbeitsschritt 5)

2.3.2 Masken-Beutel-Beatmung

Es ging bei diesem Teil der Studie darum herauszufinden, ob der CBRN-Atemfilter-Besatz des Beatmungsbeutels Einfluss auf die Effektivität der Masken-Beutel-Beatmung hat. Hierzu wurde das maximal erreichbare Ventilationsminutenvolumen bestimmt.

2.3.2.1 Ablauf der Masken-Beutel-Beatmung

Die Teilnehmer führten eine Masken-Beutel-Beatmung über eine Minute an dem für diese Studie modifizierten Laerdal Airway Management Trainer® durch. Dabei sollten die Teilnehmer einen Durchlauf ohne und einen Durchlauf mit einem auf den Beatmungsbeutel aufgesetzten Filter durchführen (Abb. 12). Um das maximal erreichbare Ventilationsminutenvolumen zu messen, sollten die Versuchspersonen das Mannequin mit so viel Luftvolumen wie möglich beatmen und dabei nicht auf die physiologischen 10-12 Beatmungshübe pro Minute achten.



Abb. 12: *Paramedic* bei der Durchführung der Masken-Beutel-Beatmung mit dem CBRN-Beatmungsbeutel, mit und ohne aufgesetztem Filter

2.3.2.2 Studiendesign der Masken-Beutel-Beatmung

Die 14 Teilnehmer führten diesen Studienteil jeweils einmal mit und einmal ohne Schutzausrüstung und mit Beatmungsbeutel mit Filterbesatz durch. Zur Neutralisation der eventuellen Reihenfolge- und Wiederholungseffekte, wurde die Reihenfolge der Durchführung der Durchläufe randomisiert, indem die Versuchspersonen versiegelte Umschläge mit den gegebenen Reihenfolgen zogen.

2.3.2.3 Studiendokumentation der Masken-Beutel-Beatmung

Der Zeitraum von einer Minute wurde mit Hilfe des Uhrwerks des Volumeters gemessen. Nach Beendigung des Durchlaufs wurde das erreichte Ventilationsminutenvolumen in einer Tabelle dokumentiert.

2.3.3 Statistik

Zur Überprüfung der Normalverteilung der Testergebnisse aller drei Durchläufe (Kontrolle, APR, PAPR) des Notfallszenarios wurde der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest ausgewählt.

Um die Dauer der einzelnen Arbeitsschritte in den verschiedenen Durchläufen vergleichen zu können, wurde eine univariate Varianzanalyse durchgeführt.

Das erforderliche Signifikanzniveau wurde vor Beginn der Studie auf 5%, entsprechend einem p-Wert $< 0,05$ festgelegt.

Zum Vergleich der Antworten auf den Fragebogen zum Szenario sowie zur Auswertung der Durchgänge der Masken-Beutel-Beatmung wurde der t-Test für gepaarte Stichproben angewendet. Auch bei diesem Test wurde das Signifikanzniveau auf 5% festgelegt.

Die Berechnung der „Effektstärke“ – gelegentlich auch als „Effektgröße“ bezeichnet – dient in unserer Studie dazu, eine mögliche längere Dauer der Behandlung durch das Tragen der Schutzkleidung zu zeigen. Sie wurde gemäß Hartmann et al. (17) ermittelt und wird in methodischen Richtlinien empfohlen (18). Als ein traditionelles Maß der Erziehungs- und Sozialwissenschaften wird die Effektstärke verwendet, um den Effekt bestimmter Eingriffe bezüglich einer Vergleichsgröße zu quantifizieren. Ihr Wertebereich umfasst die Werte zwischen 0 bis 1, wobei Werte zwischen 0 bis 0,5 als schwacher Effekt gelten, Werte von 0,5 bis 0,8 als moderater Effekt und Werte zwischen 0,8 bis 1 als starker Effekt zu werten sind.

Alle statistischen Berechnungen erfolgten mittels SPSS® (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS Software Products, Chicago, USA). Zur Anfertigung der Diagramme wurde Sigmaplot® (Jandel GmbH, Erkrath, Deutschland) und Microsoft Excel® (Microsoft Inc., USA) verwendet.

3. Ergebnisse

3.1 Versuchspersonen

Alle 14 Teilnehmer haben die Szenarien erfolgreich und ohne Unterbrechung durchgeführt.

Während des Ablaufs der Szenarien kam es bei keiner der Versuchspersonen zu Übelkeit, Angst oder Atemproblemen durch das Tragen der Schutzausrüstung.

Auch die Durchläufe der Masken-Beutel-Beatmung wurden von allen Versuchspersonen ohne Unterbrechung und Zwischenfälle durchgeführt.

3.2 Ergebnisse des Notfallszenarios

3.2.1 Dauer der einzelnen Arbeitsschritte

Das gesamte Szenario dauerte bei der Kontrollgruppe durchschnittlich vier Minuten und 5 Sekunden. Mit Nutzung des konventionellen Filter-Atemschutzsystems (APR) dauerte der Durchlauf des Notfallszenarios nur wenige Sekunden länger. Die Nutzung des gebläseunterstützten Atemschutzsystems (PAPR) kostete mit durchschnittlich 4 Minuten und 10 Sekunden die meiste Zeit.

Das schnellste Team benötigte ohne Atemschutz 217 Sekunden und das langsamste 280 Sekunden, bei der Nutzung des APR-Atemsystems hatte das schnellste Team das Szenario nach 220 Sekunden durchlaufen und das langsamste nach 283 Sekunden, mit dem PAPR-System war der Unterschied zwischen schnellstem und langsamstem Team zwischen 228 bis 270 Sekunden am geringsten.

Die nachfolgende Tab. 3 sowie die Abb. 13 zeigen die unterschiedliche Dauer der verschiedenen Arbeitsschritte im Einzelnen.

Tab. 3: Dauer der einzelnen Arbeitsschritte

	Kontrolle (s ± SD)	APR (s ± SD)	PAPR (s ± SD)
Masken-Beutel- Beatmung und Monitoring	74 ± 7	73 ± 8	75 ± 5
Endotracheale Intubation	69 ± 4	69 ± 7	71 ± 6
i. v. -Zugang	58 ± 6	60 ± 6	60 ± 9
Medikamenten- applikation	44 ± 8	45 ± 6	44 ± 7
Gesamt	245 ± 19	247 ± 17	250 ± 12

Tab. 3: Darstellung des arithmetischen Mittels der Einzeldauer der verschiedenen Arbeitsschritte in Sekunden (s) ± Standardabweichung (SD)

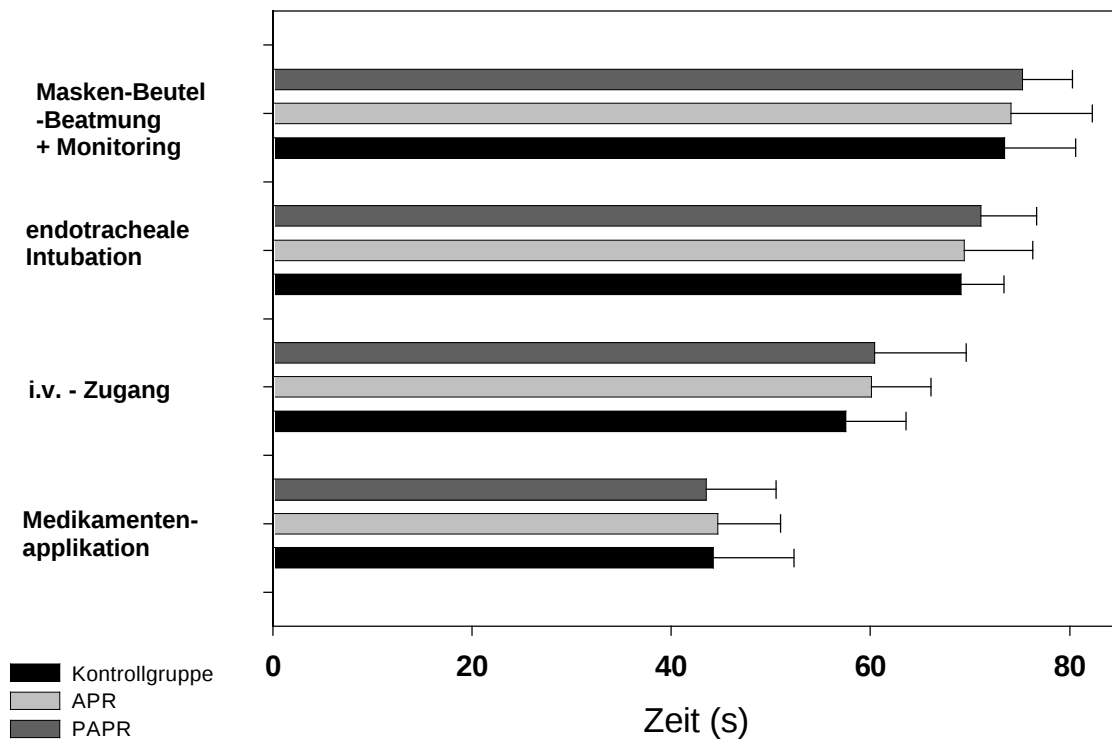


Abb. 13: Darstellung der benötigten Zeit für die verschiedenen Arbeitsschritte in der Kontrollgruppe vs. Maske mit APR-System bzw. PAPR-System

Die dargestellten Ergebnisse zeigen keine unterschiedliche Dauer der einzelnen Arbeitsschritte, beim Tragen des APR-Systems, des PAPR-Systems bzw. ohne Atemschutz. Arbeitsschritt 1 und 2, das Prüfen der Vitalparameter und die Masken-Beutel-Beatmung dauerten am längsten mit im Durchschnitt 73-75 Sekunden. Der sich daran anschließende 3. Arbeitsschritt, die endotracheale Intubation, bei der kein Team einen Fehlversuch hatte, dauerte mit durchschnittlich 69-71 Sekunden am zweitlängsten.

Im vierten Arbeitsschritt wechselte *Paramedic 1* die Position vom Kopf des Patienten hin zum Arm zur Anlage eines i.v.-Zugangs. Diese Maßnahme dauerte mit durchschnittlich 58-60 Sekunden nicht ganz so lang wie die vorhergehenden Arbeitsschritte. Am wenigsten Zeit benötigten die Teams schließlich für den 5. und letzten Arbeitsschritt, die Medikamentenapplikation. Sie dauerte im Durchschnitt 44-45 Sekunden.

3. Ergebnisse

Die Kalkulation der Effektstärke nach Hartmann (17) ist in Abb. 14 wiedergegeben. Daraus ersichtlich ist ein schwacher Effekt hinsichtlich der benötigten Dauer in der PAPR-Gruppe für die Maßnahmen Masken-Beutel-Beatmung und endotracheale Intubation.

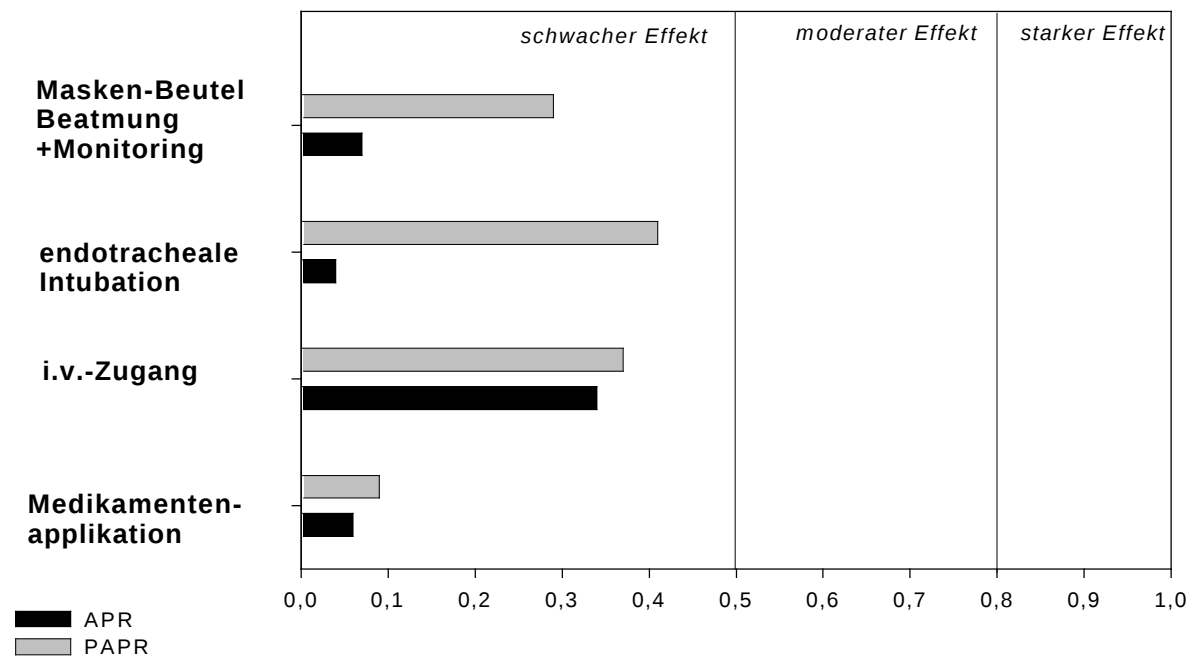


Abb. 14: Darstellung der Effektstärke nach Hartmann

3.2.1.1 Zusammenfassung der Ergebnisse zur Dauer der Arbeitsschritte

Es zeigt sich, dass das Tragen der Atemschutzmaske mit PAPR-System nur einen schwachen Effekt auf die Verzögerung der Masken-Beutel-Beatmung und die endotracheale Intubation zu haben scheint.

3.2.2 Ergebnisse des Fragebogens zu den Trageeigenschaften

3.2.2.1 Tragekomfort

Im Mittel wurde der Tragekomfort für das Tragen der Maske mit APR-System mit $2,3 \pm 1,2$, beim Tragen der Maske mit PAPR-System mit $2,8 \pm 0,9$ angegeben. Der t-Test liefert einen p-Wert $> 0,05$. Somit unterscheiden sich die Systeme hinsichtlich ihres Tragekomforts nicht signifikant (Tab. 4).

3.2.2.2 Kommunikationsmöglichkeit

Auf die Frage nach der Möglichkeit zu kommunizieren, wurde im Durchschnitt beim APR-System ein Wert von $3,1 \pm 0,9$ und beim PAPR-System ein Wert von $3,2 \pm 0,8$ angegeben. Die Kommunikationsmöglichkeit bei der Nutzung der beiden verschiedenen Systeme wurde nicht signifikant unterschiedlich von den Versuchspersonen erlebt (Tab. 4).

3.2.2.3 Leichtigkeit zu atmen

Der dritte Aspekt, nach dem gefragt wurde, war die Leichtigkeit zu atmen. Diese wurde beim APR-System mit durchschnittlich $1,6 \pm 0,5$ und beim PAPR-System mit $4,2 \pm 0,7$ angegeben.

Bei der Überprüfung der Leichtigkeit zu atmen wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden verschiedenen Atemschutzsystemen wahrgenommen. Im t-Test zeigt sich dies an einem p-Wert von $< 0,05$. Beim Anwenden des APR-Systems fiel es den Versuchspersonen demnach signifikant schwerer zu atmen, als beim Tragen des PAPR-Systems (Tab. 4).

Tab. 4: Ergebnisse des Fragebogens zu den Trageeigenschaften

	APR	PAPR	p-Wert
Tragekomfort	2,3±1,2	2,8±0,9	Nicht signifikant
Kommunikationsmöglichkeit	3,1±0,9	3,2±0,8	Nicht signifikant
Leichtigkeit zu atmen	1,6±0,5	4,2±0,7	< 0,05

Tab. 4: Darstellung der Antworten des Fragebogens zu den Trageeigenschaften

3.2.2.4 Zusammenfassung der Ergebnisse des Fragebogens zu den Trageeigenschaften

Die Versuchspersonen haben die Kommunikationsmöglichkeit mit beiden Systemen als befriedigend beurteilt. Der Tragekomfort wurde von den Versuchspersonen sowohl beim APR-System als auch beim PAPR-System als ausreichend empfunden. Die Leichtigkeit zu atmen wurde beim PAPR-System gut bewertet, beim APR-System hingegen als schlecht.

3.3 Ergebnisse der Masken-Beutel-Beatmung

Die ermittelten maximalen Ventilationsvolumina zeigen, dass die Ergebnisse deutlich unterschiedlich ausfallen, wenn es zur Anwendung eines an den Beatmungsbeutel angeschlossenen Atemfilters im Vergleich zum Arbeiten ohne Filter kommt. Im Vergleich wurde mit Atemfilter ein mittleres maximales Volumen von $6,2 \pm 2,0$ L/min erreicht, während ohne Filter ein mittleres maximales Volumen von $9,5 \pm 2,7$ L/min erreicht werden konnte (Tab. 5). Dies entspricht einer Reduktion des maximal erreichbaren Minutenvolumens um 23% und zeigt bei einem p-Wert von $< 0,05$ ein signifikantes Absinken des maximal erreichbaren Ventilationsminutenvolumens.

Das erzielte maximale Ventilationsminutenvolumen lag im Durchlauf ohne Atemfilter zwischen 4,9 und 15 L/min, mit Atemfilter zwischen 1,4 L/min und 9,8 L/min.

Dabei wurde mit Atemfilter von 4 Versuchspersonen ein Wert von 5 L/min unterschritten, während dieser Wert beim Durchlauf ohne Atemfilter nur von einer Versuchsperson unterschritten wurde.

Tab. 5: Ventilationsminutenvolumina

Maximales Ventilationsminutenvolumen ohne Atemfilter	Maximales Ventilationsminutenvolumen mit Atemfilter	p-Wert
9,5 ± 2,7 L/min	6,0 ± 2,0 L/min	< 0,05

Tab. 5: Darstellung (arithmetisches Mittel ± Standardabweichung) des durchschnittlich maximal erreichten Ventilationsminutenvolumens

4. Diskussion

4.1 Methodendiskussion

4.1.1 Versuchspersonen

In England wird, wie in den meisten westlichen Industrienationen, die präklinische Notfallversorgung durch sogenannte *Paramedics* durchgeführt. Diese Berufsgruppe ist vergleichbar mit den deutschen Rettungsassistenten. Die Einsatzstrategie der *Paramedic*-gestützten Rettungssysteme beschränkt sich auf den schnellen Transport eines Verletzten/Erkrankten in das nächstgelegene Krankenhaus.

Die Kenntnisse und Fertigkeiten der *Paramedics* fokussieren sich in erster Linie auf die Algorithmen der erweiterten Maßnahmen der kardiopulmonalen Reanimation – die eingesetzten Kräfte sind somit ausgebildet in Herzdruckmassage, Masken-Beutel-Beatmung, endotrachealer Intubation und Defibrillation. Durch die strenge Einbindung an Richtlinien und Algorithmen erfolgt die Akutversorgung von traumatisierten oder akut erkrankten Patienten immer in einem militärisch anmutenden „Drill“, der eine hohe rettungsmedizinische Standardisierung ermöglicht. In England dauert die Ausbildung zum *Paramedic* drei Jahre. Sie umfasst ein Jahr theoretisches Studium der Notfall-Basisversorgung von Patienten an einer Universität sowie zwei Jahre praktische Ausbildung auf einem Rettungswagen, im OP und auf der Intensivstation, mit theoretischen Abschnitten wiederum an der Universität (19).

Daraus ergibt sich, dass die ausgewählte Stichprobe hinsichtlich ihres Ausbildungsstandes sehr homogen ist. Alle Versuchspersonen standen zum Zeitpunkt der Untersuchung am Ende ihrer beruflichen Ausbildung und konnten somit auf eine Ausbildungserfahrung von etwa zweieinhalb Jahren zurückblicken.

Um eine gute und suffiziente Betreuung potentieller CBRN-Opfer zu erreichen, ist es wichtig, einen umfassenden Schutz der medizinischen Helfer sicherzustellen. Sowohl durch die Umgebungsatmosphäre, in der sich die Verletzten befinden, als auch durch die Kleidung der Betroffenen kann es zu einer sekundären Kontamination der Helfer kommen. Im Gegensatz zur Situation in Deutschland sind zum jetzigen Zeitpunkt in England bereits in verschiedenen städtischen Ballungszentren spezielle *Paramedic*-

Einheiten für den Einsatz unter CBRN-Bedingungen geschult und ausgerüstet. Die Teilnehmer unserer Untersuchung hatten bislang keine Ausbildungserfahrungen im Bereich Atemschutz. Trotzdem kam es während der Studie bei keiner der Versuchspersonen zu Übelkeit, Angst oder Atemproblemen auf Grund des Tragens der Schutzausrüstung. Alle Teilnehmer haben die Szenarien erfolgreich und ohne Unterbrechung durchgeführt.

4.1.2 Diskussion der Methodik des Notfallszenarios

4.1.2.1 Dauer der einzelnen Arbeitsschritte

Der Ablauf des Szenarios wurde vor Beginn der Studie definiert. Auf Grund der Videodokumentation, die durch die im Rettungswagen montierten Kameras gewährleistet war, ließen sich nach Abschluss der Studie die für die einzelnen Arbeitsabschnitte benötigten Zeiten exakt bestimmen und vergleichen.

4.1.2.2 Atemschutzsysteme und Atemschutzmaske

Atemschutzmasken werden für industrielle, gewerbehygienische und feuerwehrtechnische Zwecke sowie für den militärischen Gasschutz hergestellt. Ihre Entwicklung und ihre industrielle Massenfertigung wurden insbesondere durch die chemische Kriegsführung im ersten Weltkrieg initiiert (20).

Die Verwendung einer Atemschutzmaske mit Atemfilter führt beim Träger zu einer Reihe von Veränderungen der Atemphysiologie. Der Inspirationswiderstand steigt durch den Filter und das Totraumvolumen der Maske kann durch partielle Rückatmung die Kohlendioxidelimination aus der Atemluft erschweren. Beides kann zur Erhöhung der Atemarbeit und zur frühzeitigen Erschöpfung des Trägers führen. Gebläseunterstützte Atemschutzsysteme sollen helfen, diese Probleme zu minimieren.

Neben der Beeinträchtigung der sprachlichen Kommunikation durch Abdeckung von Mund und Nase kann es durch das Tragen einer Vollgesichtsmaske zur Einschränkung des Gesichtsfeldes kommen. Die in dieser Studie verwendete

Panoramamaske Promask 40®, hat im Vergleich zu anderen Atemschutzmasken den Vorteil, dass sie ein großes Sichtfeld besitzt und eine eingebaute Sprechmembrane aufweist.

Während der vergleichenden Testung der beiden Atemschutzsysteme kam ein CBRN-Atemfilter zur Anwendung. Dieses System aus Gesichtsmaske und Atemfilter wurde in Hinblick auf die benötigte Zeit, die Leichtigkeit zu atmen, die Kommunikation und den Tragekomfort im Vergleich zu einer Kombination aus Maske und Gebläsesystem getestet. Es wurden diese Parameter ausgewählt, da sie für die Praktikabilität der unterschiedlichen Atemschutzsysteme ausschlaggebend zu sein scheinen (21).

4.1.2.3 Patientensimulator

Ein Patientensimulator wird immer dann eingesetzt, wenn eine zu erlernende wichtige medizinische Fertigkeit in der Routine zu selten vorkommt, um sie systematisch und erfolgreich trainieren zu können. Die Schulung von klinischen Tätigkeiten und manuellen Fertigkeiten hat durch die Einführung von interaktiven Patientensimulatoren in den letzten Jahren eine deutliche Qualitätsverbesserung erhalten.

Patientensimulatoren dienen nicht nur zur medizinischen Ausbildung, sondern werden auch zur Untersuchung von manuellen Fertigkeiten eingesetzt – es lassen sich somit die vielschichtigen psychomotorischen Fertigkeiten während der Aufgabenbewältigung standardisiert vergleichen.

Die Ausbildung und Untersuchung von Behandlungsalgorithmen bei CBRN-intoxikierten Patienten gehört heute nach Berkenstadt und Subbarao zu den etablierten Trainings- und Testmethoden (22-24).

4.1.2.4 Ablauf des Notfallszenarios

Da es bei nahezu allen lebensbedrohlichen CBRN-Intoxikationen zum respiratorischen Versagen kommen kann, ist die Durchführung einer kardiopulmonalen Reanimation nach den aktuellen Richtlinien des *European Resuscitation Council* indiziert. Der zu durchlaufende Reanimationsalgorithmus war den *Paramedics* ausreichend vertraut.

4.1.2.5 Fragebogen zu den Trageeigenschaften

Bei den durch den Fragebogen ermittelten subjektiven Eindrücken der Versuchspersonen zum Tragekomfort, zur Kommunikationsmöglichkeit und zur Leichtigkeit zu atmen, handelt es sich um Gesichtspunkte, die hinsichtlich der Compliance der Träger eines Atemschutzgerätes wichtig sind (11).

Weitere Fragen in diesem Zusammenhang betreffen beispielsweise eine mögliche Sichtverschlechterung sowie die Ermüdung durch das Tragen eines Atem- und Sichtschutzes während eines Noteinsatzes (21).

Der Einfluss des Tragens verschiedener Vollgesichtsmasken während eines Noteinsatzes ist in einer Vorgängerstudie bereits untersucht worden. Nach Schumacher et al. (25) hat die von uns verwendete Panoramamaske, die visuelle Orientierung betreffend, gegenüber einer bi-okulären Maske signifikante Vorteile.

4.1.3 Diskussion der Methodik zur Masken-Beutel-Beatmung

Patienten, welche eine Störung der äußeren Atmung erleiden, sind durch Hyperkapnie und Hypoxie unmittelbar vital bedroht. Die künstliche Beatmung mittels tragbarer, manueller Masken-Beutel-Beatmungssysteme stellt in diesen Notfällen die Sofortmaßnahme der Wahl dar (9, 26). Die suffiziente und effektive Maskenbeatmung eines Patienten erfordert vom Anwender komplexe psychomotorische Fertigkeiten: Eine Hand des Anwenders öffnet durch den Esmarchgriff und die Reklination des Kopfes den oberen Luftweg und sichert gleichzeitig durch den sogenannten „C-Griff“ einen dichten Sitz der Gesichtsmaske. Die andere Hand des Anwenders hält den Beatmungsbeutel und komprimiert ihn in

angemessener Frequenz. Während dieses Vorgangs schaut und hört der Anwender kontinuierlich auf die äußeren Zeichen des suffizienten Gasaustausches und korrigiert bzw. optimiert Maskensitz, Kiefer- und Kopfposition des Patienten. Üblicherweise wird im Anschluss an die erfolgreiche Maskenbeatmung die Trachea des Patienten intubiert, um die Lunge vor Regurgitation/Aspiration von Mageninhalt zu schützen. Im weiteren Verlauf wird mit Hilfe des Beatmungsbeutels die Ventilation weitergeführt, oder ein portables automatisches Beatmungsgerät kommt zum Einsatz. Die applizierten Beatmungsvolumina lassen sich bei intubierter Trachea leicht messen, hingegen stellt die Masken-Beutel-Beatmung ein messtechnisches Problem dar: Allen Beatmungsbeuteln fehlt ein konnektierbarer Expirationsschenkel an den ein Flowmessgerät anzuschließen wäre. Die Platzierung des Flowmessgerätes im gemeinsamen In- und Expirationskanal vermag die Volumina im sogenannten Pendelstrom nicht korrekt zu vermessen.

So entschlossen wir uns, für diese Studie ein mechanisches Flowmeter nach dem Turbinenprinzip auf trachealer Ebene einzusetzen und nur den Inspirationstrom zuzulassen. Durch diesen speziell für unsere Fragestellung entwickelten Messaufbau war es möglich, den applizierten Nettogasstrom zu messen und zu vergleichen. Somit konnten wir untersuchen, ob ein CBRN-Atemfilter Auswirkungen auf das maximal erreichbare Ventilationsminutenvolumen einer Masken-Beutel-Beatmung hat.

4.2 Diskussion der Studienergebnisse

4.2.1 Hintergrund der Studie

Nach den Terroranschlägen im September 2001 in den USA sowie den Anschlägen im März 2004 in Madrid und im Juli 2005 in London ist die Besorgnis in Europa vor weiteren Anschlägen und insbesondere vor einer vorsätzlichen Freisetzung von CBRN-Substanzen deutlich gestiegen.

Im Zuge dessen beschlossen der Europäische Rat und die Europäische Kommission, die Bemühungen um mehr Sicherheit zu verstärken. Es wurde ein Programm zur Prävention und Begrenzung der Folgen chemischer, biologischer, radiologischer oder nuklearer terroristischer Bedrohungen aufgestellt (27).

Die Behandlung von Verletzten im Fall eines CBRN-Schadensereignisses hat sich auch in Großbritannien zu einer neuen Herausforderung für das öffentliche Gesundheitswesen entwickelt. Nach entsprechenden Vorbereitungen durch das britische Gesundheitsministerium wurden erstmals 2006 in London, sogenannte *Hazardous Area Response Teams* aufgestellt, welche innerhalb einer CBRN-Schadenszone die medizinische Notfallversorgung übernehmen (12). Hierbei war die Grundvoraussetzung, dass das involvierte medizinische Personal ausreichenden Schutz vor primärer und sekundärer Kontamination mit Gefahrstoffen zur Verfügung gestellt bekommt. Der Umgang mit Schutzausrüstung sollte dabei dem medizinischen Personal vertraut sein, um qualitativ gute Arbeit leisten zu können (28, 29). In Folge dieser aktuellen Entwicklungen sollte herausgefunden werden, welchen Einfluss verschiedene Atemschutzsysteme auf die medizinische Notfallversorgung haben.

4.2.2 Weitere Anwendungen des Atemschutzes bei Rettungseinsätzen

Atemschutzmaßnahmen können bei Bränden, Industrieunfällen oder Naturkatastrophen erforderlich werden. Beispielsweise können bei Verbrennen von bestimmten Materialien, insbesondere Kunststoffen, die Atemwege der Opfer und des Hilfspersonals in Mitleidenschaft gezogen werden. Dies zeigen auch die

Nachuntersuchungen der Feuerwehrleute und Helfer, die an der Bergung und den Aufräumarbeiten nach dem Einsturz des World Trade Centers am 11. September 2001 in New York beteiligt waren. Dabei kam es zu einem großen Aufkommen von Feinstaub und Giftstoffen aus den Trümmern der Gebäude. Ein großer Teil der Arbeiter trug keinen oder nur selten einen suffizienten Atemschutz. Im darauffolgenden Jahr wurde im Vergleich zu den Vorjahren ein signifikantes Absinken des forcierten expiratorischen Volumens in der 1. Sekunde gemessen (30, 31). Die Nachuntersuchungen unterstreichen die Notwendigkeit, Atemschutzgeräte und deren Nutzung zu verbessern und das exponierte Hilfspersonal einer intensiven Akut- und Langzeitbeobachtung zu unterziehen (31).

4.2.3 Geschichtliche Entwicklung des Atemschutzes und des Einsatzes von CBRN-Substanzen als Kampfstoff

Bereits Anfang des letzten Jahrhunderts begann die Firma Dräger mit der Entwicklung von Atemschutzgeräten. Vorhergehende Entwicklungen von Atemschutzgeräten durch andere Firmen waren auf Grund ihrer nur kurzen Anwendungsdauer kaum einsetzbar. Die Geräte fanden in erster Linie Anwendung bei der Grubenwehr im Bergbau. Mit der Möglichkeit, Sauerstoff weit über 100 bar zu komprimieren und der Entwicklung kleiner Druckgasbehälter konnten längere Anwendungsdauern erreicht werden.

Während die ersten Atemschutzgeräte in ihrem Aufbau recht einfach waren, kam es in den Folgejahren zur Entwicklung komplexerer Systeme. So gab es mit dem „Modell 1921“ einen integrierten Sichtschutz und Schutzhelm sowie eine Lungenkraft-Dosierung, um die mit dem Unterdruck während der Inspiration einhergehende Leckage und damit die verkürzte Anwendbarkeit zu beheben. Es folgten Geräte, die sowohl die Dosierung des Sauerstoffs über Lungenkraft als auch kontinuierlichem Sauerstoffstrom sowie Überschusslüftung bei überfülltem Beatmungsbeutel ermöglichten.

Bei der weiteren Entwicklung von Atemschutzgeräten stand insbesondere die Gewichtsreduktion bei steigenden Anwendungszeiten im Vordergrund (32).

Im Ersten Weltkrieg war es erstmalig zur Anwendung chemischer Kampfstoffe, insbesondere durch die Verwendung von Chlor und Phosgen (33, 34) gekommen. Die Entwicklung von Organophosphat-Kampfstoffen wie Tabun, Sarin und Soman fand durch die Deutschen während des 2. Weltkrieges statt (26), wenngleich die entwickelten Substanzen in diesem nicht zur Anwendung kamen (33).

Bis in die 80er Jahre des vergangenen Jahrhunderts wurden CBRN-Substanzen entwickelt, um sie in erster Linie als Kampfstoffe gegen technisch unterlegene und ungeschützte Truppen oder gegen die Zivilbevölkerung einsetzen zu können. Seit den 90er Jahren wuchs die Bedrohung hinsichtlich möglicher terroristischer Anschläge mit Giftstoffen, wie beispielsweise 2001 in den USA die mit dem Milzbranderreger *Bacillus anthracis* verseuchten Briefe (35) oder die Sarinanschläge in Japan. Es ist zu befürchten, dass sie auch zukünftig einen potentiellen Stellenwert bei terroristischen Anschlägen haben werden (34).

Viele der als Waffen verwendeten Agenzien sind sehr günstig zu produzieren und können in unterschiedlicher Weise angewendet werden (8). Wie das Organophosphat Sarin, welches möglicherweise im Iran-Irak-Krieg in den 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts sowie gesichert in Japan 1994/95 bei Giftgasanschlägen als Kampfstoff eingesetzt worden ist (36).

Nervengase dieser Art können über die Atemwege, aber auch über Haut- und Augenkontakt aufgenommen werden und rufen in niedrigen Konzentrationen beim Intoxikierten unter anderem Miosis und verschwommene Sicht, Rhinorrhoe, Hyperventilation und Cephalgien hervor, in höheren Dosierungen Krampfanfälle und Atemlähmung (26, 33).

Eine weitere Verteilungsmöglichkeit eines Giftstoffes zeigen uns die mit *Bacillus anthracis* verseuchten Briefe. Eine Übertragung über Vektoren wie beispielsweise verseuchte Tiere oder verseuchtes Trinkwasser wäre ebenfalls denkbar (8).

Auf Grund dieser Gegebenheiten ist die Aufmerksamkeit auf die Anwendungsmöglichkeiten der CBRN-Substanzen sowie die notwendigen Schutzmaßnahmen in den vergangenen 15 Jahren deutlich gestiegen (11, 30, 31, 37).

4.2.4 Allgemeine Richtlinien bei CBRN-Schadensereignissen

Bei einem CBRN-Schadensereignis wird die betroffene Region in drei verschiedene Zonen eingeteilt. Der Ort der Freisetzung des Schadstoffes wird als „heiße Zone“, die Zone, in der die Verletzten gesammelt und dekontaminiert werden, wird als „warme Zone“ klassifiziert. Alles außerhalb dieser beiden Bereiche wird als „kalte Zone“ beschrieben. Bei einem CBRN-Schadensereignis werden die Betroffenen, sofern sie sich nicht selbst aus der „heißen Zone“ evakuieren können, durch Feuerwehr oder Rettungsdienst an einer windabgewandten Stelle gesammelt und unverzüglich dekontaminiert. Durch diese Maßnahmen wird der Bereich zum geringen Teil kontaminiert und wird so zu einer „warmen Zone“. In beiden Bereichen muss das Rettungspersonal, eine persönliche Schutzausrüstung tragen. Dazu gehören Atem- und Sichtschutz sowie ein Schutzanzug (38). Um möglichst hohe Überlebenschancen für die sich in der heißen Zone befindlichen Opfer zu erzielen, muss mit der Therapie bereits vor Ort begonnen werden (39).

Beim geringsten Verdacht, dass es sich um einen bioterroristischen Anschlag handelt, müssen Spezialisten eingeschaltet werden (40), da die Ermittlung des giftigen Agens für die weitere Behandlung der Opfer sowie für den Umgang mit diesem essentiell ist. Diese kann erschwert werden, wenn absichtlich unterschiedliche Kampfstoffe gleichzeitig eingesetzt werden, was eine deutliche Erhöhung der Mortalität zur Konsequenz hat (8).

In der prähospitalen Versorgung steht die Sicherung der Vitalfunktionen im Vordergrund. Hierfür ist es unter Umständen wichtig, bereits mit dem entsprechenden Antidot bei chemischen Giftstoffen bzw. durch eine Impfung oder entsprechende Antibiotika bei Biowaffen die Wirkung des Agens aufzuheben (8, 38).

4.2.5 Bedeutung der Studie

4.2.5.1 Bedeutung des Studienteils zum Notfallszenario

Dies ist die erste Studie, die den Einsatz von gebläseunterstütztem Atemschutz während eines simulierten CBRN-Notfallszenarios untersucht. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass gebläseunterstützter Atemschutz den Komfort des Trägers signifikant verbessert und die Mobilität während der Reanimation nicht behindert. Es

ist wichtig zu beachten, dass es sich bei dem durchgeführten Szenario nur um einen begrenzten Zeitrahmen handelt. Bei einem Realeinsatz, welcher sich über einen längeren Zeitraum hinziehen würde, könnte es möglicherweise zu Ermüdungserscheinungen des Rettungspersonals kommen. In diesem Fall könnte der Vorteil der Atemerleichterung des gebläseunterstützten Systems gegenüber dem konventionellen Atemschutzsystem sich noch stärker zeigen.

In vorangegangenen Studien wurden bereits unterschiedliche Resultate bezüglich der Zeitverzögerung durch Atemschutz und Schutzkleidung erzielt. So konnten Udayasiri et al. (28) durch das Tragen von Schutzkleidung dieser Kategorie objektiv keine Zeitverzögerung feststellen. Subjektiv wiesen jedoch die Versuchspersonen in verschiedenen Teilbereichen des durchgeführten Szenarios, wie dem Pulsetasten oder dem Legen eines intravenösen Zugangs, auf Schwierigkeiten hin. In einer anderen Studie (41) zeigten sich Unterschiede bezüglich grob- oder feinmotorischer Tätigkeiten beim Tragen von Schutzanzügen. Grobmotorische Tätigkeiten ließen sich mit der Schutzkleidung gut bewerkstelligen, während die feinmotorischen Tätigkeiten, wie die intravenöse Verabreichung von Medikamenten zu Schwierigkeiten führte. Eine weitere Studie (42) kommt zu dem Schluss, dass es bei erfahrenem medizinischem Personal nicht zu signifikanten Beeinträchtigungen durch gut sitzende Schutzkleidung beim Ausführen lebensrettender Tätigkeiten kommt.

Während wir mit unserer Studie zeigen konnten, dass sich durch das Tragen von Schutzausrüstung keine zeitliche Verzögerung ergibt, haben Flaishon et al. (43) in ihrer Studie eine Zeitverzögerung durch das Tragen von Schutzausrüstung beobachtet. In ihrer Studie wurde der Einfluss antichemischer Schutzkleidung auf die Dauer der endotrachealen Intubation eines realen chirurgischen Patienten mit dem Tragen von OP-Kleidung bei gleicher Tätigkeit verglichen.

Die Ergebnisse des Fragebogens zeigen, dass das Tragen einer Atemschutzmaske mit dem einen oder anderen Atemschutzsystem für die ausgewählte Stichprobe bei einem der drei erfragten Parameter eine Auswirkung hat.

Als unterschiedlich wird die Leichtigkeit zu atmen angesehen, wobei das Atmen mit dem PAPR-System signifikant leichter fällt als mit dem konventionellen APR-System.

Damit zeigt sich der zu erwartende Effekt des Gebläses. Der Atemwiderstand wird dadurch erniedrigt und somit das Atmen unter Atemschutzbedingungen erleichtert. Der Tragekomfort und die Möglichkeit der Kommunikation sind subjektiv bei beiden Filtersystemen gleich.

Bei der Auswahl des richtigen Atemschutzes sollten diese subjektiven Eindrücke gegenüber Fakten wie suffizientem Schutz und der benötigten Zeit eine adäquate Rolle spielen, da die Compliance der Anwender steigt, wenn der Tragekomfort hoch ist (11).

4.2.5.2 Bedeutung des Studienteils zur Masken-Beutel-Beatmung

Im Fall einer Intoxikation mit CBRN-Substanzen kann es notwendig sein, die Opfer mit unkontaminierter Luft mittels Masken-Beutel-Systems in der kontaminierten Zone zu beatmen, bevor die Patienten in Krankenhäusern weiter versorgt werden können (9, 26, 44).

Die Masken-Beutel-Beatmung zeigt, dass die Verwendung eines CBRN-Atemfilters das maximale Ventilationsminutenvolumen signifikant reduziert. Dies ist ein wichtiger Hinweis, der bei der Durchführung einer Notfallversorgung in toxischen Umgebungsatmosphäre zu beachten ist. Die Ergebnisse bieten zusätzlich Anlass, Rettungspersonal hinsichtlich dieser Tätigkeit speziell zu trainieren.

4.3 Limitationen der Studie

Die dargestellte Untersuchung unterliegt einigen Limitationen. Alle Teilnehmer führten die Arbeitsschritte der Reanimation und der filtrierenden Masken-Beutelbeatmung in gewohnter Routine durch, kein Teilnehmer musste befürchten, dass er sich selbst vergiftet oder infiziert. Somit war die Stressbelastung für die Versuchspersonen sicherlich geringer als bei einem realen Notfallrettungseinsatz von Opfern eines CBRN-Schadensereignisses. Diese Problematik lässt sich in zivilen Studien zum Thema aus ethischen Gründen nur schwer lösen. In England sind seit 1989 Humanexperimente unter CBRN-Bedingungen untersagt.

Eine weitere Limitation besteht in der Anzahl der Verletzten in unserem Szenario. Bei einem Massenanfall von Verletzten wird die Stressbelastung der medizinischen Einsatzkräfte signifikant ansteigen und so möglicherweise zu einer Verlangsamung der Reanimations- und Beatmungsmaßnahmen sowie zu Ermüdungserscheinungen führen.

5. Zusammenfassung

Zielsetzung: Die Notfallversorgung von Opfern chemischer, biologischer oder radionuklearer Substanzen birgt die Gefahr einer sekundären Kontamination des medizinischen Personals und erfordert einen adäquaten Atemschutz. Das Ziel dieser Studie war es, den Einfluss von zwei verschiedenen Atemschutzsystemen sowie den Einfluss einer filtrierenden Masken-Beutel-Beatmung während der simulierten Reanimation zu evaluieren.

Material und Methoden: Die Studie wurde in England in Kooperation mit dem Londoner Rettungsdienst und dem *Guy's and St Thomas'* Krankenhaus Verbund durchgeführt. Vierzehn *Paramedics* durchliefen das Szenario an einem Patientensimulator in randomisierter Reihenfolge. Die Analyse zum zeitlichen Ablauf einzelner Arbeitsschritte erfolgte mittels Videodokumentation. Subjektive Parameter der Versuchspersonen wurden mit Hilfe eines Fragebogens ermittelt. Zur Messung des maximal erreichbaren Ventilationsminutenvolumens bei Masken-Beutel-Beatmung in toxischer Umgebungsatmosphäre wurde ein speziell für diese Studie entwickeltes „Bench-Modell“ eingesetzt.

Ergebnisse: Die einzelnen Arbeitsschritte des Notfallszenarios zeigten keine zeitlichen Unterschiede zwischen Kontrolldurchlauf, konventionellem Atemschutz- und gebläseunterstütztem Atemschutzsystem. Beim Kontrolldurchlauf wurde eine durchschnittliche Gesamtzeit von 245 Sekunden für das Szenario gemessen. Unter Verwendung des konventionellen Filter-Atemschutzes dauerte die Durchführung des Szenarios im Mittel mit 248 Sekunden etwas länger. Mit dem gebläseunterstützten Atemschutzsystem benötigten die Versuchspersonen mit durchschnittlich 250 Sekunden am längsten. Das Atmen wurde mit dem gebläseunterstützten Atemschutzsystem als deutlich leichter empfunden als mit dem konventionellen Filter-Atemschutz. Die Evaluation der Masken-Beutel-Beatmung in simulierter toxischer Umgebungsatmosphäre zeigte eine signifikante Reduktion der maximal erreichbaren Ventilationsminutenvolumina bei Verwendung des Atemfilters.

Schlussfolgerung: Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass in dem von uns verwandten Szenario die zeitliche Dauer der einzelnen Schritte der Notfallversorgung unbeeinflusst von der Wahl des Atemschutzsystems ist, der gebläseunterstützte Atemschutz jedoch die Leichtigkeit zu atmen signifikant erhöht. Außerdem konnten

wir darstellen, dass die vorgestellte filtrierende Masken-Beutel-Beatmung bei Einsatz eines Atemfilters signifikant niedrigere Ventilationsminutenvolumina erzeugt.

6. Literaturverzeichnis

1. **Okumura T, Takasu N, Ishimatsu S, Miyanoki S, Mitsuhashi A, Kumada K, Tanaka K, Hinohara S:** Report on 640 victims of the Tokyo subway sarin attack. *Ann Emerg Med* 28: 129-135; 1996
2. **Nozaki H, Aikawa N:** Sarin poisoning in Tokyo subway. *Lancet* 345: 980; 1995
3. **Morita H, Yanagisawa N, Nakajima T, Shimizu M, Hirabayashi H, Okudera H, Nohara M, Midorikawa Y, Mimura S:** Sarin poisoning in Matsumoto, Japan. *Lancet* 346: 290-293; 1995
4. **Nozaki H, Hori S, Shinozawa Y, Fujishima S, Takuma K, Sagoh M, Kimura H, Ohki T, Suzuki M, Aikawa N:** Secondary exposure of medical staff to sarin vapor in the emergency room. *Intensive Care Med* 21: 1032-1035; 1995
5. **Kamming D, Gardam M, Chung F:** Anaesthesia and SARS. *Br J Anaesth* 90: 715-718; 2003
6. **Peng PW, Wong DT, Bevan D, Gardam M:** Infection control and anesthesia: lessons learned from the Toronto SARS outbreak. *Can J Anaesth* 50: 989-997; 2003
7. **Kirk MA, Deaton ML:** Bringing order out of chaos: effective strategies for medical response to mass chemical exposure. *Emerg Med Clin North Am* 25: 527-548; 2007
8. **Gosden C, Gardener D:** Weapons of mass destruction—threats and responses. *BMJ* 331: 397-400; 2005
9. **Baker DJ:** Civilian exposure to toxic agents: emergency medical response. *Prehosp Disaster Med* 19: 174-178; 2004

10. **Wetherell A, Mathers G:** Respiratory Protection. In: Marrs TC, Maynard RL, Sidell FR: Chemical Warfare Agents - Toxicology and Treatment, 2. Aufl., 157-173, Chichester, John Wiley and Sons Ltd.; 2007
11. **Martyny J, Glazer CS, Newman LS:** Respiratory Protection. N Engl J Med 347: 824-830; 2002
12. **Department of Health:**

<http://nds.coi.gov.uk/environment/fullDetail.asp?ReleaseID=269575&NewsAreaID=2&NavigatedFromDepartment=True>. GNN press release, ref 144795P; 2007 (letzter Zugriff: 15. Januar 2009)
13. **Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe:**
http://www.bmi.bund.de/Internet/Content/Common/Anlagen/Broschueren/2007/Persoenliche__ABC__Schutzausruestung. Persönliche ABC-Schutzausrüstung des Bundes. (letzter Zugriff: 15. Januar 2009)
14. **Laerdal:** advanced simulation in emergencies,
<http://www.laerdal.com/binaries/AGXWROFD.pdf>; 2006 (letzter Zugriff: 15. Januar 2009)
15. **Jordan GM, Silsby J, Bayley G, Cook TM, Difficult Airway Society:** Evaluation of four manikins as simulators for teaching airway management procedures specified in the Difficult Airway Society guidelines, and other advanced airway skills. Anaesthesia 67: 708-712; 2007
16. **Nolan JP, Deakin CD, Soar J, Böttiger BW, Smith G:** European Resuscitation Council guidelines for Resuscitation 2005. Section 4. Adult advanced life support. Resuscitation 67: 39-86; 2005
17. **Hartmann A, Herzog T, Drinkmann A:** Psychotherapy of Bulimia Nervosa: What is effective? A meta-analysis. J Psychosom Res 36: 159-167; 1992

18. **Altman DG, Schulz KF, Moher D, Egger M, Davidoff F, Elbourne D, Gotzsche PC, Lang T:** The revised CONSORT statement for reporting randomised trials: explanation and elaboration. *Ann Intern Med* 134: 663-694; 2001

19. **University of Hertfordshire:**
http://www.herts.ac.uk/courses/Paramedic-Science_structure.cfm (letzter Zugriff: 15. Januar 2009)

20. **Martinez D:** Der individuelle und kollektive Gasschutz. In: Martinez D: *Der Gaskrieg 1914/1918*, 1. Aufl., 92-98, Bonn, Bernhard und Graefe;1996

21. **Salazar MK, Connon C, Takaro TK, Beaudet N, Barnhart S:** An evaluation of factors affecting hazardous waste workers' use of respiratory protective equipment. *AIHAJ* 62: 236-245; 2001

22. **Berkenstadt H, Ziv A, Barsuk D, Levine I, Cohen A, Vardi A:** The Use of Advanced Simulation in the Training of Anesthesiologists to Treat Chemical Warfare Casualties. *Anesth Analg* 96: 1739-1742; 2003

23. **Berkenstadt H, Erez D, Munz Y, Simon D, Ziv A:** Training and assessment of trauma management: the role of simulation-based medical education. *Anesthesiol Clin* 25: 65-74; 2007

24. **Subbarao I, Bond WF, Johnson C, Hsu EB, Wasser TE:** Using innovative simulation modalities for civilian-based, chemical, biological, radiological, nuclear, and explosive training in the acute management of terrorist victims: A pilot study. *Prehosp Disaster Med* 21: 272-275; 2006

25. **Schumacher J, Runte J, Brinker A, Prior K, Heringlake M, Eichler W:** Respiratory protection during high-fidelity simulated resuscitation of casualties contaminated with chemical warfare agents. *Anaesthesia* 63: 593-598; 2008

26. **Ben Abraham R, Rudick V, Weinbroum AA:** Practical Guidelines for Acute Care of Victims of Bioterrorism: Conventional Injuries and Concomitant Nerve Agent Intoxication. *Anesthesiology* 97: 989-1004; 2002

27. **Europäische Kommission:**
http://ue.eu.int/ueDocs/cms_Data/docs/pressData/de/misc/74055.pdf. Der Rat und die Kommission nehmen ein gemeinsames Programm zur Prävention und Begrenzung der Folgen chemischer, biologischer, radiologischer oder nuklearer terroristischer Bedrohungen an; 2002 (letzter Zugriff: 15. Januar 2009)

28. **Udayasiri R, Knott J, McD Taylor D, Papson J, Leow F, Hassan FA:** Emergency department staff can effectively resuscitate in level C personal protective equipment. *Emerg Med Australas* 19: 113-121; 2007

29. **Reilly MJ, Markenson D, DiMaggio C:** Comfort level of emergency medical service providers in responding to weapons of mass destruction events: impact of training and equipment. *Prehosp Disaster Med* 22: 297-303; 2007

30. **Banauch GI, Hall C, Weiden M, Cohen HW, Aldrich TK, Christodoulou V, Arcentales N, Kelly KJ, Prezant DJ:** Pulmonary function after exposure to the World Trade Center collapse in the New York City Fire Department. *Am J Respir Crit Care Med* 174: 312-319; 2006

31. **Feldman DM, Baron SL, Bernard BP, Lushniak BD, Banauch G, Arcentales N, Kelly KJ, Prezant DJ:** Symptoms, respirator use, and pulmonary function changes among New York City firefighters responding to the World Trade Center disaster. *Chest* 125: 1256-1264; 2004

32. **Pasternack A:** Die Evolution der Dräger Kreislaufgeräte. *Langer Atem für lange Einsätze, 100 Jahre Kreislaufgeräte der Dräger Safety, Sonderheft:* 4-15; 2004

33. **Baker DJ:** Chemical and biological warfare agents: The role of the anesthesiologist. In: Miller RA: Anesthesia, 6. Aufl., 2497-2526, New York, Churchill Livingstone; 2004
34. **Szinicz L:** History of chemical and biological warfare agents. Toxicology 214: 167-181; 2005
35. **Borio L, Frank D, Mani V, Chiriboga C, Pollanen M, Ripple M, Ali S, DiAngelo C, Lee J, Arden J, Titus J, Fowler D, O'Toole T, Masur H, Bartlett J, Inglesby T:** Death due to bioterrorism-related inhalational anthrax: report of 2 patients. J Am Med Assoc 286: 2554-2559; 2001
36. **Department of Health and Human services. Center for disease control and prevention:** <http://www.bt.cdc.gov/agent/sarin/german/pdf/facts.pdf>; 2003 (letzter Zugriff 15. Januar 2009)
37. **White SM:** Chemical and biological weapons. Implications for anaesthesia and intensive care. Br J Anaesth 89: 306-324; 2002
38. **Kenar L, Karayilanoglu T:** Prehospital management and medical intervention after a chemical attack. Emerg Med J 21: 84-88; 2004
39. **Byers M, Russell M, Lockey DJ:** Clinical care in the "Hot Zone". Emerg Med J 25: 108-112; 2008
40. **Sardesai AM, Brown NM, Menon DK:** Deliberate release of biological agents. Anaesthesia 57: 1067-1082; 2002
41. **MacDonald RD, LeBlanc V, McArthur B, Dubrowski A:** Performance of resuscitation skills by paramedic personnel in chemical protective suits. Prehosp Emerg Care 10: 254-259; 2006

- 42. **Coates MJ, Jundi AS, James MR:** Chemical protective clothing; a study into the ability of staff to perform lifesaving procedure. *J Accid Emerg Med* 17: 115-118; 2000

- 43. **Flaishon R, Sotman A, Ben-Abraham R, Rudick V, Varssano D, Weinbroum AA:** Antichemical Protective Gear Prolongs Time to Successful Airway Management. *Anesthesiology* 100: 260-266; 2004

- 44. **Clarke SF, Chilcott RP, Wilson JC, Kamanyire R, Baker DJ, Hallett A:** Decontamination of multiple casualties who are chemically contaminated: a challenge for acute hospitals. *Prehosp Disaster Med* 23: 175-181; 2008

7. Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Schmucker, Direktor der Klinik für Anästhesie für die Zustimmung zur Durchführung der Promotion bedanken.

Besonderer Dank gilt Herrn PD Dr. Schumacher für die Überlassung des Themas und die freundliche, geduldige und sehr gute Betreuung und Unterstützung.

Mein Dank geht an Herrn Prof. Dr. Klotz, Klinik für Anästhesiologie für die freundliche Beratung im Vorfeld.

Vielen Dank gilt Herrn Gray, Paramedic, London Ambulance Service NHS Trust, UK, für die Unterstützung und die Mitorganisation der Studie.

Herzlichen Dank an die 14 Teilnehmer der Studie, ohne deren Einsatz die Studie nicht möglich gewesen wäre.

Außerdem möchte ich Herrn Steve Waspe, CBRN-Koordinator des Londoner Ambulance Service für die Anregungen zu unserer Studie danken.

Bei den Firmen, Bluecher und Scott Tyco Healthcare möchte ich mich für die Bereitstellung von Materialien bedanken. Insbesondere geht mein Dank an Herrn Noel Mitchel, Firma Bluecher für die Überlassung von BMI-Schutzanzügen und CBRN-Schutzhandschuhen und an Herrn Justin Harper, Firma Scott Tyco Healthcare, für die Bereitstellung von Atemschutzausrüstung. Herrn Stephan Denker, Firma Dräger Safety, danke ich für die Bereitstellung der Atemfilter, welche wir im „Bench Modell“ verwandt haben.

Herrn Prof. Dr. Hüppe, Klinik für Anästhesiologie der Universität zu Lübeck, möchte ich für die statistische Beratung dieser Arbeit danken.

Meiner Familie und Hannes danke ich für ihre liebevolle und ausdauernde Unterstützung.

8. Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	<u>Lena</u> Hildegard Alexandra Weidelt
Geburtsdatum	09.01.1983
Geburtsort	Regensburg
Familienstand	ledig
Adresse	Morkerkestraße 13b, 23564 Lübeck

Schulbildung

1989 – 1999	Besuch der Freien Waldorfschule Göttingen
1999 – 2002	Besuch des Theodor-Heuss-Gymnasiums Göttingen, Abschluss: Abitur

Hochschulausbildung

Herbst 2002	Beginn des Medizinstudiums an der Universität zu Lübeck
Herbst 2004	Ärztliche Vorprüfung (Physikum)
2005 – 2006	Auslandssemester als Erasmusstipendiatin an der Universidad de Barcelona in Barcelona
2007 – 2008	Praktisches Jahr 1. Tertial: Innere Medizin, Schön Kliniken Neustadt 2. Tertial: Pädiatrie, Sana Klinik Eutin 3. Tertial: Chirurgie, Schön Kliniken Neustadt
Herbst 2008	2. Staatsexamen und Erhalt der Approbation

Promotion 2007-2009	„Simulierte Notfallversorgung von Opfern chemischer, biologischer oder radionuklearer Substanzen unter Atemschutzbedingungen“ (praktischer Teil).
--------------------------------	---

9. Publikationsverzeichnis

Originalarbeiten, peer reviewed

- Schumacher J, Gray SA, Weidelt L, Brinker A, Prior K, Stratling MWM. Comparison of powered and conventional air-purifying respirators during simulated resuscitation of CBRN victims. *Emergency Medical Journal*, 2009 (im Druck)
- Schumacher J, Weidelt L, Gray SA, Brinker A. Evaluation of bag valve mask ventilation by paramedics in simulated CBRN environments. *Prehospital and Disaster Medicine*, 2009 (im Druck)

Publizierte Kurzfassungen

- Schumacher J, Brinker A, Weidelt L, Gray SA, Stratling MWM. Comparison of powered and conventional airpurifying respirators during resuscitation of CBRN victims. *Eur J Anaesthesiol* 2008; 25, Supplement 44: 189.
- Brinker A, Stratling MWM, Gray SA, Weidelt L, Schumacher J. Bag valve mask ventilation in simulated CBRN environments. *Eur J Anaesthesiol* 2008; 25, Supplement 44: 190.

Internationale Präsentationen

- Schumacher J, Brinker A, Weidelt L, Gray SA, Stratling MWM. Comparison of powered and conventional air-purifying respirators during resuscitation of CBRN victims. *European Society of Anaesthesiology Conference*, Kopenhagen, Dänemark, 02-06.06.2008
- Brinker A, Stratling MWM, Gray SA, Weidelt L, Schumacher J. Bag valve mask ventilation in simulated CBRN environments. *European Society of Anaesthesiology Conference*, Kopenhagen, Dänemark, 02-06.06.2008