

Der Einsatz des AutoPulse®-Systems zur mechanischen Reanimation –

Eine prospektive Beobachtungsstudie im Rettungsdienst der Stadt Bonn

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Hohen Medizinischen Fakultät  
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität  
Bonn

Stefan Herbert Benedikt Münster

aus Mainz

2011

Angefertigt mit Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Priv.-Doz. Dr. med. G. Baumgarten
2. Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. R. Meyer

Tag der Mündlichen Prüfung: 13.10.2011

Aus der Klinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin der Universitätsklinik  
Bonn

Direktor: Prof. Dr. med. A. Hoeft

## 1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis .....	3
2	Abkürzungsverzeichnis .....	5
3	Einleitung .....	6
3.1	Epidemiologie und Ätiologie des plötzlichen Herztodes .....	6
3.2	Geschichte der kardiopulmonalen Reanimation .....	9
3.3	Der CPR-Algorithmus des European Resuscitation Council .....	11
3.3.1	Der <i>basic life support</i> (BLS) .....	11
3.3.2	Der <i>adult advanced life support</i> (ALS) .....	14
3.4	Mechanische Reanimationshilfen .....	17
3.5	Das AutoPulse®-System .....	18
3.6	Fragestellung .....	20
4	Material und Methoden .....	21
4.1	Rettungsdienst der Stadt Bonn .....	21
4.2	Verwendete medizinische Geräte .....	21
4.3	CPR-Teams für das Simulationstraining .....	22
4.4	Patienten .....	23
4.5	Der neue CPR-Algorithmus und Studienablauf .....	24
4.5.1	Planung der Studie .....	24
4.5.2	Besonderheiten der AutoPulse®-Reanimation .....	26
4.5.3	Funktionen der einzelnen CPR-Helfer im ALS .....	28
4.6	Evaluation des neuen Algorithmus im Simulationstraining .....	32
4.7	Der neue Algorithmus im Feldversuch .....	36
4.8	Statistik .....	37
5	Ergebnisse .....	38

5.1	Der AutoPulse®-Algorithmus.....	38
5.2	Simulationstraining und Videoanalyse.....	42
5.2.1	Start der Herzdruckmassage nach Kontrolle der Vitalparameter .....	42
5.2.2	Rückmeldung an die Rettungsleitstelle.....	43
5.2.3	Aufschneiden der Oberkörperbekleidung .....	44
5.2.4	Anlage des AutoPulse®-Systems am Patienten .....	45
5.2.5	<i>hands-off-ratio</i> von manueller und AutoPulse®-CPR .....	46
5.3	Ergebnisse des Feldversuchs.....	47
5.3.1	Gruppenverteilung und demographische Daten .....	47
5.3.2	Anlage des AutoPulse®-Systems unter realen Einsatzbedingungen.....	48
5.3.3	Eintreffen des ersten Teams bis zur ersten automatischen Kompression.....	49
5.3.4	Eintreffen des Notarztes bis zur ersten automatischen Kompression .....	50
5.3.5	<i>hands-off-ratio</i> von manueller und automatischer Kompression .....	51
5.3.6	Das 24 Stunden Überleben .....	52
6	Diskussion.....	54
7	Zusammenfassung .....	67
8	Anhang.....	69
9	Literaturverzeichnis.....	76
10	Danksagung.....	88
11	Lebenslauf .....	90

## 2 Abkürzungsverzeichnis

Abb	Abbildung
ACD-CPR	aktive Kompressions-Dekompressions-CPR
AHA	American Heart Association
ALS	adult advanced life support
AP	AutoPulse®
BLS	basic life support
BMI	Body Mass Index
CPR	kardiopulmonale Reanimation
DGAI	Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin
DIN	Deutsches Institut für Normung
DIVI	Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin
EKG	Elektrokardiogramm
EN	Europäische Norm
ERC	European Resuscitation Council
HDM	Herzdruckmassage
Hg	Hydragyrum (Quecksilber)
ILCOR	International Liaison Committee of Resuscitation
LUCAS®	Lund university cardiac arrest system
ml	Milliliter
mm	Millimeter
NEF	Notarzteinsatzfahrzeug
PEA	pulslose elektrische Aktivität
RTW	Rettungstransportwagen
vs.	versus

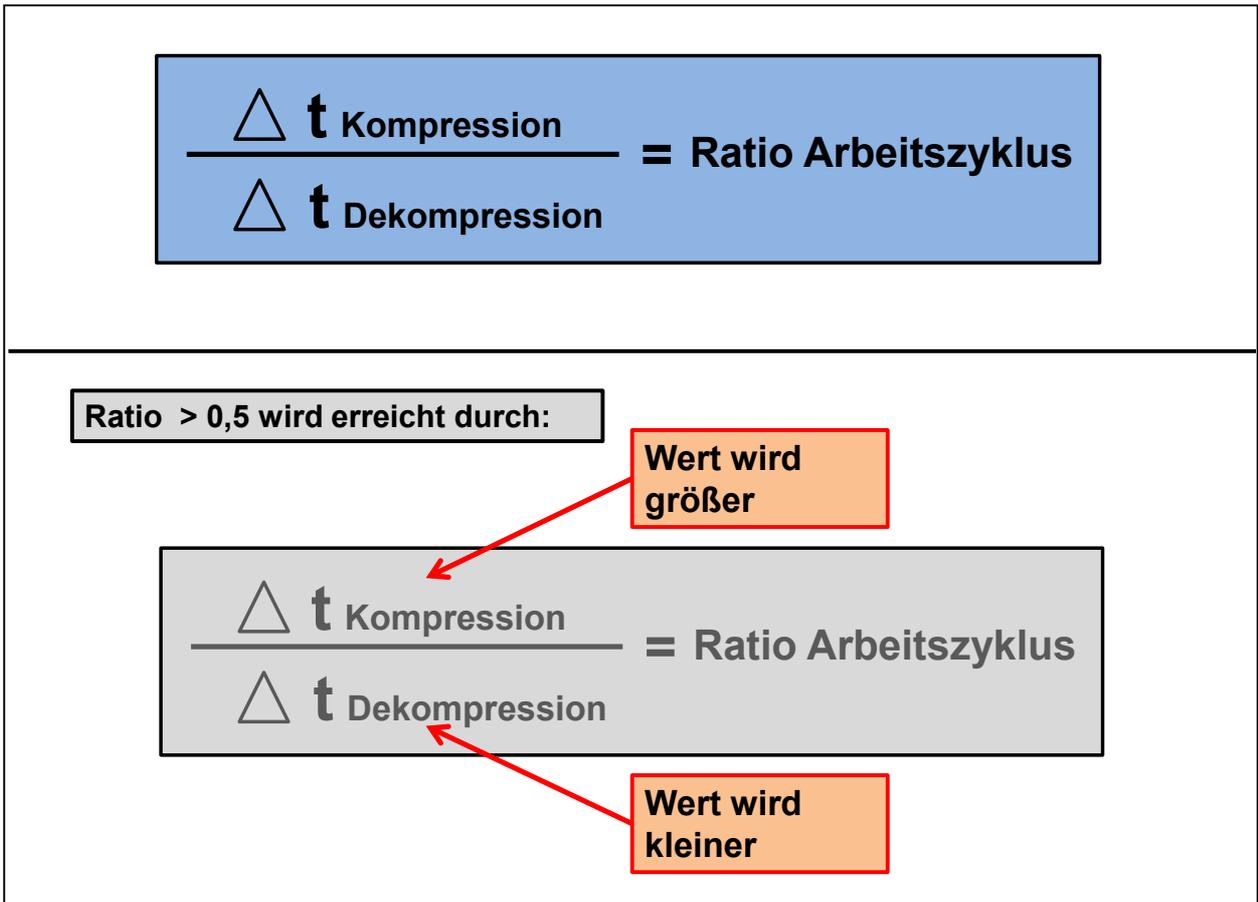
### **3 Einleitung**

#### **3.1 Epidemiologie und Ätiologie des plötzlichen Herztodes**

In Europa erleiden pro Jahr ca. 700.000 Menschen einen plötzlichen Herztod mit konsekutivem Herz-Kreislauf-Stillstand (Sans et al., 1997). Daten aus einer schottischen Studie an über 20.000 Patienten belegen, dass in mehr als 80 % der Fälle eine kardiale Erkrankung Ursache des Herz-Kreislauf-Stillstands war (Pell et al., 2003). Die koronare Herzkrankheit nimmt hier eine vorrangige Position ein: Allein 60 % dieser Patienten versterben durch einen plötzlichen Herztod (Zheng et al., 2001). Zum Zeitpunkt der ersten Elektrokardiogramm(EKG)-Analyse imponiert bei mehr als 40 % der Patienten ein Kammerflimmern als initialer Rhythmus (Cobb et al., 2002; Rea et al., 2004; Vaillancourt und Stiell, 2004; Waalewijn et al., 1998). Es wird postuliert, dass sogar weit mehr Patienten im Augenblick des Kollaps ein Kammerflimmern aufweisen, jedoch ist dieses bereits zum Zeitpunkt der ersten EKG-Analyse in eine Asystolie konvertiert (Waalewijn et al., 2002). Charakteristika des Kammerflimmerns sind chaotische, schnelle Depolarisation und Repolarisation, die eine geordnete Kammerkontraktion des Myokards und somit einen effektiven Blutauswurf in den Kreislauf unmöglich werden lassen (Page und Meerabeau, 2000). Die erfolgreiche Wiederbelebung dieser Patienten ist von einer Vielzahl an Faktoren abhängig, unter anderem von einer frühzeitigen kardiopulmonalen Reanimation (CPR) (Larsen et al., 1993). Entscheidend ist vor allem der sofortige Beginn der Herzdruckmassage zum Beispiel durch Laienhelfer sowie die frühzeitige elektrische Defibrillation. Sie ist definiert als ein elektrischer Stromfluss von ausreichender Größe, der über das Myokard gelenkt wird, um eine kritische Muskelmasse zu depolarisieren (Deakin und Nolan, 2005). Die frühe Defibrillation dient der Wiederherstellung einer koordinierten elektrischen Aktivität und konsekutiv einer geordneten Herzkammerkontraktion mit Blutauswurf in den Kreislauf. Der Zeitpunkt dieser elektrischen Therapie ist entscheidend für die Überlebensrate: so sinkt der Anteil der Patienten, die lebend aus dem Krankenhaus entlassen werden können, mit der Dauer des fortbestehenden Kammerflimmerns (Larsen et al., 1993; Valenzuela et al., 1997). In jeder abgelaufenen Minute, die auf das Kollapsereignis folgt und in der keine Basisreanimationsmaßnahmen durchgeführt werden, steigt die Mortalität um ca. 10 %

an (Waalewijn et al., 2001). Andererseits konnten bei Defibrillation innerhalb von drei Minuten nach dem Kollapsereignis Krankenhausentlassungsraten von bis zu 75 % erreicht werden (Valenzuela et al., 2000). Daher wird in den aktuellen Richtlinien von Oktober 2010 wie auch in den vorhergehenden der Fokus unter anderem auf eine frühzeitige Defibrillation gelegt, um bei reanimierten Patienten die Todeswahrscheinlichkeit zu verringern.

Eine weitere wesentliche Komponente dieser frühen Basisreanimationsmaßnahmen ist das Herstellen eines Minimalkreislaufs mittels Herzdruckmassage. Die manuelle Kompression des Thorax führt über eine Erhöhung des intrathorakalen Drucks sowie über eine direkte Kompression des Herzens zu einem Blutfluß. Im Idealfall können dabei systolische Spitzendrücke von 60-80 mmHg erreicht werden, allerdings sind die diastolischen Drücke gering und auch der arterielle Mitteldruck in der *Arteria carotis communis* erreicht selten 40 mmHg (Paradis et al., 1989). Bestenfalls können bei leitliniengerecht durchgeführter manueller Herzdruckmassage 30 % des normalen koronaren und zerebralen Blutflusses erreicht werden (Delguercio et al., 1965). Trotzdem hat die Herzdruckmassage in den letzten Jahren an Bedeutung zugenommen. Neuere Untersuchungen zeigen, dass verschiedene Faktoren wie die Kompressionstiefe des Thorax, die Rate der Kompressionen und Dekompressionen und der sogenannte Arbeitszyklus (Verhältnis Kompressionsdauer zu Dekompressionsdauer) die Effektivität der Thoraxkompressionen beeinflussen können (Koster et al., 2010). Während der manuellen Herzdruckmassage ist der koronare Blutfluß vom Arbeitszyklus abhängig: Eine Ratio von mehr als 50 % reduziert den koronaren Blutfluß erheblich (s. Abbildung 1). Außerdem spielt die vollständige Dekompression des Thorax am Ende einer jeden Kompressionsphase eine entscheidende Rolle für die koronare Perfusion (Wolfe et al., 1988). Die alleinige Steigerung der Kompressionsfrequenz verbessert die Ratio des Arbeitszyklus nicht. Sie erlaubt nur eine Aussage über die Geschwindigkeit mit der komprimiert wird, aber nicht wie hoch die absolute Anzahl der Kompressionen pro Minute ist. Hierfür müssen die Unterbrechungszeiten der Herzdruckmassage subtrahiert werden. Wik et al. konnten in einer Studie zeigen, dass die Kompressionsraten des CPR-Teams zwar bei 100-120 pro Minute, die absolute Kompressionsanzahl allerdings durchschnittlich nur bei 64 pro Minute lagen.



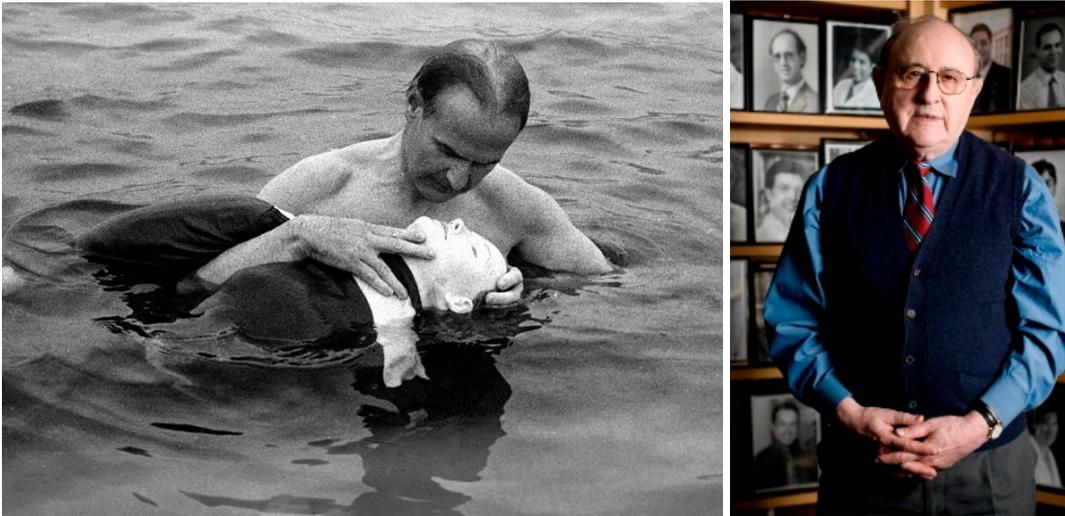
**Abb. 1: Oben: Formel „Ratio Arbeitszyklus“. Unten: Die Ratio von > 0,5 wird entweder durch eine Zunahme der Kompressionsdauer pro Thoraxkompression im Zähler erreicht oder durch Abnahme der Dekompressionsphase pro Thoraxkompression im Nenner. Beide Möglichkeiten resultieren in einer großen Ratio, welche ab einen Wert von größer als 0,5 mit einer schlechten koronaren Perfusion einhergeht.**

Verantwortlich hierfür waren zahlreiche Unterbrechungen für anderweitige Maßnahmen wie etwa die Beatmung, die venöse Punktion oder die Rhythmusanalyse (Wik et al., 2005). Doch gerade diese Unterbrechungen führen zu einem erheblichen Abfall des koronaren Perfusionsdrucks und es sind nun wieder einige Thoraxkompressionen nötig, um das ursprüngliche Niveau des koronaren Blutflusses zu erreichen (Kern et al., 1998).

Daher empfehlen die aktuellen Leitlinien des European Resuscitation Council (ERC) eine Frequenz von 100-120 Kompressionen pro Minute und einen entsprechenden Algorithmus, der möglichst wenige Unterbrechungen der Herzdruckmassage vorsieht (Deakin et al., 2010a; Koster et al., 2010b).

### **3.2 Geschichte der kardiopulmonalen Reanimation**

Seit vielen Jahrhunderten existieren bereits Bemühungen, leblose Personen durch die Anwendung verschiedener Techniken wie eine künstliche Beatmung oder eine Herzdruckmassage wiederzubeleben. Archäologische Funde weisen daraufhin, dass möglicherweise schon vor etwa 5000 Jahren die Ägypter eine Form der künstlichen Beatmung im Rahmen von spirituellen Wiederbelebungsritualen während des Mumifizierungsprozesses eines Pharaos durchführten (Ocklitz, 1996). In der Neuzeit wurde 1667 durch die Londoner Royal Society die erste Beatmung am eröffneten Thorax eines Hundes demonstriert. Im Jahr 1744 konnte der Chirurg Tossach erstmals an einem Bergmann erfolgreich eine Mund-zu-Mund-Beatmung durchführen. Im 19. Jahrhundert wurden weitere Ansätze zur Beatmung und zur Herzdruckmassage entwickelt. Anfang der sechziger Jahre des letzten Jahrhunderts vereinte Peter Safar mehrere Publikationen über die Mund-zu-Mund-Beatmung und die externe Herzdruckmassage durch Thoraxkompressionen zu den in Abwandlung bis heute geltenden Reanimationsmaßnahmen (Safar et al., 1961). Während einer Reise nach Norwegen lernte Safar den Spielzeugfabrikanten Asmund Laerdal kennen, mit dem er das erste Puppen-Phantom, die sogenannte „Resusci-Anne“ (Abbildung 2), entwickelte. Diese war die Grundlage für das Training von Laien in Basisreanimationsmaßnahmen. Parallel dazu entwickelte der amerikanische Kardiologe Bernard Lown (Abbildung 3) die elektrische Defibrillation mittels Gleichstrom zur Therapie des Kammerflimmerns (Lown et al., 1962).



**Abb. 2: Asmund Laerdal mit *Resusci Anne* (Bildquelle: Laerdal Medical) Abb. 3: Bernhard Lown, Erfinder der Defibrillation mittels Gleichstrom (Bildquelle: Homepage von Bernhard Lown, MD)**

Mitte der achtziger Jahre gründete sich der European Resuscitation Council mit dem Ziel, in Europa einheitliche Reanimationsstandards in allen Bereichen (Laien, Kliniken, Rettungsdienste) zu schaffen. Ähnliche Bemühungen wurden in den Vereinigten Staaten von Amerika durch die American Heart Association (AHA) sowie durch nationale Arbeitskreise in einigen skandinavischen Ländern verfolgt. Anfang der neunziger Jahre wurde teils aus diesen Organisationen, aber auch aus Vereinigungen anderer Kontinente heraus das International Liaison Committee of Resuscitation (ILCOR) gegründet. Alle Organisationen verfolgen das Ziel, die Reanimationsforschung zu fördern und relevante Forschungsergebnisse in Form von Behandlungsrichtlinien zusammenzufassen und zu publizieren.

### 3.3 Der CPR-Algorithmus des European Resuscitation Council

Grundsätzlich sind die Richtlinien der ERC in verschiedene Kapitel gegliedert, die jeweils unterschiedliche Algorithmen thematisieren. Im Folgenden sollen die sogenannten Basismaßnahmen für Erwachsene, der *adult basic life support* (BLS) sowie die erweiterten Maßnahmen für Erwachsene, der *adult advanced life support* (ALS) vorgestellt werden.

#### 3.3.1 Der *basic life support* (BLS)

Der BLS ist definiert als die Sicherung der Atemwege sowie eine Unterstützung der Atmung und des Kreislaufs ohne den Gebrauch von weiterer medizinischer Ausrüstung (Cummins et al., 1991a). Dieser Algorithmus wurde vor allem für die Laienreanimation entwickelt. Darüber hinaus ist er die Grundlage und der Ausgangspunkt jeder Wiederbelebung und es wird auch von professionellen Helfern stets in dieser Konfiguration begonnen. Im Jahr 1991 wurde das Konzept der Überlebenskette, der *chain of survival*, erstmalig vorgestellt, in dem die lebenswichtigen Schritte für eine erfolgreiche Reanimation zusammengefasst sind (Cummins et al., 1991b). Diese umfassen das schnelle Absetzen des Notrufs, den sofortigen Beginn von Basisreanimationsmaßnahmen durch Umstehende, die frühzeitige Defibrillation und das frühe Einsetzen von erweiterten Maßnahmen sowie eine entsprechende intensivmedizinische Versorgung nach erfolgreicher Reanimation.

Da in den meisten europäischen Städten das Zeitintervall zwischen Absetzen des Notrufs und Eintreffen des Rettungsmittels 8 Minuten und länger ist, hängt das Überleben des Betroffenen entscheidend von frühzeitigen Basismaßnahmen umstehender Personen ab (van Alem et al., 2003b). Insbesondere Patienten mit plötzlichem Herztod profitieren von einer sofortigen CPR (Holmberg et al., 2000). Einerseits wird durch die Herzdruckmassage ein geringer aber kritischer Blutfluß vor allem zu den beiden Organsystemen Herz und Gehirn aufrecht erhalten, zum anderen

steigt die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Defibrillation, wenn zuvor eine Sequenz BLS durchgeführt wurde (Swor et al., 1995).

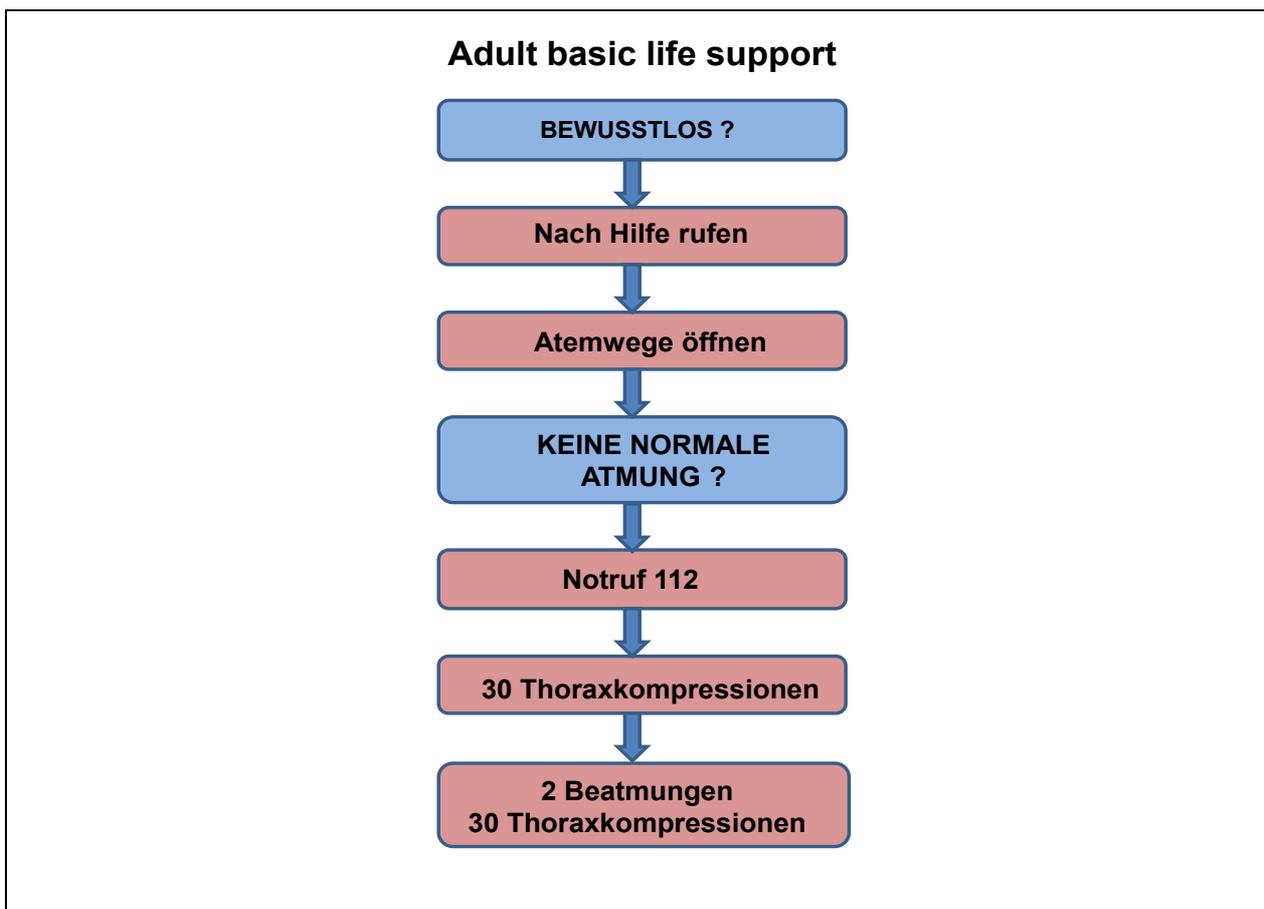
Im Rahmen des BLS-Algorithmus werden zunächst das Bewußtsein durch laute Ansprache und taktile Reize geprüft. Anschließend erfolgt die Sicherung der Atemwege durch Reklination des Kopfes und Anheben des Kinns. Nun muss der Helfende entscheiden, ob ein Atemstillstand oder eine nicht normale Atmung in Sinne einer Schnappatmung vorliegt. Danach soll der Notruf abgesetzt werden und sofort mit der Herzdruckmassage und der Beatmung begonnen werden, wobei initial mit 30 Thoraxkompressionen begonnen wird und anschließend 2 Beatmungen folgen (Koster et al., 2010).

Das Erkennen eines Herz-Kreislauf-Stillstands durch Laien ist in den letzten Jahren weiter vereinfacht worden. Das ursprünglich im Algorithmus vorhandene Tasten des *Arteria carotis communis* Pulses wurde verlassen, nachdem Studien zeigen konnten, dass Laien in der kurzen Zeit nicht in der Lage sind, selbst an jungen Gesunden und wachen Probanden adäquat einen Puls zu tasten (Bahr et al., 1997). Aber auch die Diagnostik der Atmung (adäquat oder inadäquat) an bewusstlosen Personen ist selbst durch medizinischen Fachpersonal nicht sicher (Perkins et al., 2005; Ruppert et al., 1999). Beispielsweise wird die Schnappatmung noch als suffiziente Atmung missinterpretiert, so dass dann häufig Reanimationsmaßnahmen fälschlicherweise unterlassen werden. Die Schnappatmung ist bei 40% der Patienten mit plötzlichem Herztod die assoziierte Atmungsform (Clark et al., 1992). Daher fordern auch die im Oktober 2010 neu veröffentlichten ERC- Richtlinien, dass Laien explizit darauf geschult werden auch bei Schnappatmung mit CPR-Maßnahmen zu beginnen.

Weitere Beweggründe, die Laienhelfer von aktiven CPR-Maßnahmen abhalten, sind Ängste vor Infektionen im Rahmen der Mund-zu-Mund-Beatmung (Ornato et al., 1990). Allerdings ist in den ersten Minuten nach einem nicht-asphyktischen Herz-Kreislauf-Stillstand der Sauerstoff-Gehalt im Blut weiterhin hoch, so dass die myokardiale und die zerebrale Sauerstoffaufnahme mehr durch die schlechte Auswurfleistung des Herzens limitiert wird als durch Hypoxämie aufgrund einer fehlenden Ventilation. Daher ist die Herzdruckmassage in den ersten Minuten essentieller als die Beatmung (Kern et al., 2002). Aus diesem Grund wird im Algorithmus auch zunächst mit der

Thoraxkompression begonnen. Ist eine Mund-zu-Mund-Beatmung nicht möglich, so kann in den ersten Minuten nach dem Kollaps auch eine kontinuierliche Herzdruckmassage als ausreichend angesehen werden, da das Überleben von Patienten bei diesem Vorgehen signifikant besser ist als ohne durchgeführte CPR (Becker et al., 1997).

Das Verhältnis zwischen der Anzahl der Thoraxkompressionen und den Beatmungen wurde in den letzten zehn Jahren grundlegend verändert. In Tiermodellen konnte eine Verbesserung des Überlebens bei einer Kompressions-Ventilations-Ratio von zunächst 15:2 gezeigt werden (Dorph et al., 2004). Andere Daten zeigen anhand eines mathematischen Modells, dass der beste Kompromiss zwischen einem akzeptablen Blutfluss sowie einem ausreichenden Sauerstoffangebot über eine Ratio von 30:2 erreicht wird (Babbs und Kern, 2002; Fenici et al., 2005). Diese Erkenntnis wurde erstmals in den ERC-Richtlinien 2005 verwirklicht.



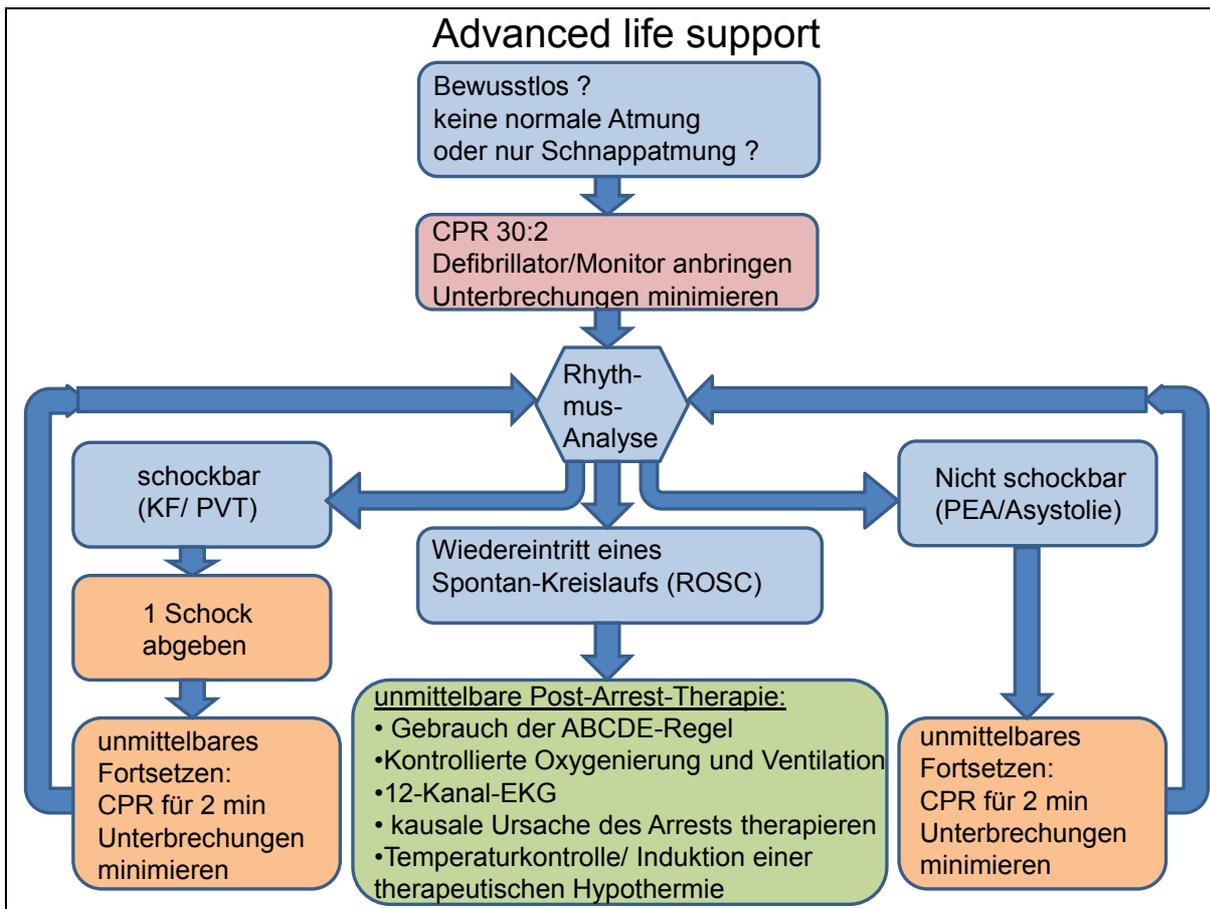
**Abb. 4: basic life support (BLS)-Algorithmus ( Handley AJ et al., 2005)**

### 3.3.2 Der *adult advanced life support* (ALS)

Dass eine möglichst geringe Unterbrechung der Herzdruckmassage sinnvoll und zielführend ist, zeigt sich auch in der Gestaltung des *adult advanced life support*-Algorithmus. Da der ERC diese Leitlinie europaweit herausgibt und es in vielen europäischen Ländern kein ärztlich basiertes Rettungssystem gibt, wird der erweiterte ALS als CPR-Algorithmus in der Klinik beschrieben. In Deutschland findet diese Leitlinie allerdings auch präklinische Anwendung, da Maßnahmen wie die Intubation, die manuelle Defibrillation oder die Applikation von antiarrhythmischen Medikamenten durch den Notarzt durchgeführt werden. Da es sich beim ALS um eine Erweiterung des BLS handelt, steht am Anfang auch das oben beschriebene Vorgehen in analoger Reihenfolge. Im Unterschied zum BLS wird die Ventilation üblicherweise mit Hilfe der Maskenbeatmung durchgeführt. Es folgen wiederum 5 Zyklen CPR mit einem Kompression-Ventilationsverhältnis von 30:2 für eine jeweilige Dauer von etwa 2 Minuten bis ein Defibrillator zur Rhythmusanalyse am Patienten angebracht wurde. Nun beginnen die eigentlichen erweiterten Maßnahmen (Deakin et al., 2010a). Wie anfangs erwähnt, sollen diejenigen Fälle detektiert werden, die einer sofortigen Elektrotherapie bedürfen. Daher erfolgt nach angebrachtem EKG eine Rhythmusanalyse. Grundsätzlich werden die Herzrhythmusstörungen, die einen plötzlichen Herztod verursachen, in zwei Gruppen eingeteilt: defibrillierbare (Kammerflimmern, pulslose ventrikuläre Tachykardie) und nicht defibrillierbare (Asystolie, pulslose elektrische Aktivität) Rhythmen.

Liegt ein potentiell defibrillierbarer Rhythmus vor, so wird einmalig ein Schock (biphasisch oder monophasisch) ausgelöst. Mittlerweile wird die CPR sogar noch während des Ladens des Defibrillators weiter ausgeführt, so dass die Unterbrechung zwischen Schockabgabe und Weiterführen der Herzdruckmassage minimal bleibt und der Defibrillationserfolg steigt (Eftestol et al., 2000). Direkt im Anschluss werden wieder fünf Zyklen CPR durchgeführt, ohne eine Pulskontrolle durchzuführen. Die Wahrscheinlichkeit, direkt nach erfolgreicher Defibrillation einen Puls zu tasten, ist sehr gering und die Zeit, die dabei aufgewendet wird, vergrößert den Myokardschaden (Rea et al., 2005; van Alem et al., 2003a). Sollte ein Rhythmus mit Blutausswurf etabliert

worden sein, so schadet diesem eine parallele Herzdruckmassage nicht (Hess und White, 2005). In der Zwischenzeit erfolgen weitere Maßnahmen wie das Legen eines peripher venösen Zugangs, die Gabe von Adrenalin und anderen Pharmaka sowie die endotracheale Intubation. Ist der Atemweg gesichert, wird die Herzdruckmassage im kontinuierlichen Modus fortgesetzt, das heißt die Herzdruckmassage muss zur Beatmung nicht mehr unterbrochen werden. Nach den fünf Zyklen CPR wird erneut der Rhythmus im EKG kontrolliert und gegebenenfalls die Defibrillation wiederholt. Nach dem dritten Schock erfolgt die Gabe des Adrenalins, das nun bis zum Wiedereintritt eines Spontan-Kreislaufs alle 3-5 Minuten appliziert werden soll. Persistiert das Kammerflimmern weiterhin, so ist vor dem vierten Schock die Gabe von Amiodaron indiziert. Im Falle eines nicht defibrillierbaren Rhythmus wird analog zum Algorithmus-Arm des defibrillierbaren Rhythmus mit dem BLS im Sinne einer CPR mit dem oben genannten Verhältnis von Thoraxkompressionen zu Beatmungen gestartet. Ist der initial beobachtete Rhythmus eine Asystolie oder eine pulslose elektrische Aktivität (PEA), so wird die CPR wie oben beschrieben fortgesetzt und Adrenalin alle 3-5 Minuten appliziert, sobald ein peripher venöser Zugang etabliert ist. Nach 2 Minuten CPR wird eine erneute Rhythmuskontrolle durchgeführt und die CPR ohne Verzögerung fortgesetzt, falls die Asystolie bzw. die PEA persistiert. Sollte der Rhythmus in ein Kammerflimmern konvertieren, so wird wieder entlang des linken Algorithmus-Arms verfahren und einmal defibrilliert.



**Abb. 5: adult advanced life support (ALS)-Algorithmus (Nolan JP et al., 2005)**

Im Rahmen der erweiterten Maßnahmen existieren zusätzliche Empfehlungen durch den ERC. So konnte gezeigt werden, dass die Erfolgsrate des präkordialen Faustschlags sehr gering ist, um einen potentiell schockbaren Rhythmus zu kardiovertieren (Pellis et al., 2009). Die Atemwege sollten frühzeitig mit Hilfe der endotrachealen Intubation gesichert werden. Während der Intubation sollten nach Möglichkeit die Thoraxkompressionen nicht unterbrochen werden. Ferner werden im Fall von Intubationsschwierigkeiten auch alternative, supraglottische Atemwegshilfen wie der Larynxtubus, die Larynxmaske, der Combitubus oder die Intubationslarynxmaske erwähnt. Ebenso wurde untersucht, ob der zentralvenöse Zugang dem peripher venösen Zugang überlegen ist. Obwohl die Zirkulationszeit geringer und die Plasmakonzentrationen bei zentralvenöser Applikation höher sind, ist die Komplikationsrate bei Anlage eines zentralen Venenkatheters höher und die benötigte

Unterbrechung der Herzdruckmassage von Nachteil für den Patienten (Emerman et al., 1988). Eine peripher venöse Anlage einer Venenverweilkanüle ist im Vergleich dazu einfacher, schneller und mit weniger Komplikationen verbunden. Allerdings sollte nach Gabe eines Medikaments mit mindestens 20 ml Volumen einer Flüssigkeit nachgespült werden und die entsprechende Extremität für 10-20 Sekunden angehoben werden. Sollte die Anlage eines peripher venösen Zugangs nicht möglich sein, so kann auch beim Erwachsenen der intraossäre Zugangsweg gewählt werden (Glaeser et al., 1993). Mittlerweile ist belegt, dass durch die Gabe von Medikamenten über den intraossären Zugang ähnlich schnelle Plasmakonzentrationen erreicht werden können wie bei einer zentralvenösen Applikation (Wenzel et al., 1999). Im Rahmen der ERC-Richtlinien 2010 wurde die endobronchiale Gabe von Adrenalin über einen Tubus ganz verlassen, da einerseits die optimale Dosis zur endobronchialen Applikation bei vielen Medikamenten gar nicht bekannt ist und andererseits unvorhersehbare Plasmakonzentrationen gemessen werden, die letztendlich gegenteilige Effekte wie Hypotension und geringeren Blutauswurf aus dem Herzen verursachen können (Efrati et al., 2003; Elizur et al., 2003; Vaknin et al., 2001). Über die Gabe von Vasopressoren oder von Antiarrhythmika ist bisher nicht bekannt, dass diese zu einer höheren Entlassungsrate aus dem Krankenhaus führen.

### **3.4 Mechanische Reanimationshilfen**

In den letzten Jahren fokussierten sich die Richtlinien der verschiedenen Fachgesellschaften mehr und mehr auf die adäquate Durchführung der Herzdruckmassage. Dabei wurde nicht nur die konventionelle manuelle Herzdruckmassage in Studien untersucht, sondern auch alternative Wege der Thoraxkompression entwickelt. Beispielsweise wird bei der aktiven Kompressions-Dekompressions (ACD)-CPR mit Hilfe einer Saugglocke, die auf dem Thorax positioniert wird, aktiv der Thorax in der Dekompressionsphase angehoben. Studien konnten zeigen, dass so ein verbesserter venöser Rückfluss und ein besserer Auswurf des Herzens erreicht werden konnte (Cohen et al., 1992; Orliaguet et al., 1995). Allerdings zeigten weitere Studien, dass es offensichtlich keinen Überlebensvorteil durch die ACD-

CPR gibt (Lafuente-Lafuente und Melero-Bascones, 2004). Ein anderes automatisches Reanimationssystem ist das *Lund University cardiac arrest system* (LUCAS®). Hierbei werden über einen gasdruckbetriebenen Stempel, der auf dem Sternum positioniert wird, einerseits Kompressionen und andererseits aktive Dekompressionen über eine Saugglocke durchgeführt. In Tiermodellen konnte eine verbesserte Hämodynamik und ein verbessertes Kurzzeit-Überleben gegenüber der konventionellen manuellen CPR gezeigt werden. Aber auch hier fehlen prospektive, randomisierte Studien am Menschen, die einen Vorteil der neuen Methoden belegen.

### 3.5 Das AutoPulse®-System

Das AutoPulse®-System (Firma ZOLL Medical, Deutschland) besteht aus einem LifeBand®, das als semizirkuläre Zuggurtung um den Thorax des entkleideten Patienten angelegt wird. Dieses Band ist mit einer flachen Einheit verbunden, die in Form eines Bretts unter den Patienten positioniert wird.



**Abb. 6: AutoPulse®-System mit LifeBand® Prinzip (Bildquelle: ZOLL Medical Deutschland) Abb. 7: Angelegtes Autopulse®-System während der Reanimation (Bildquelle: Rogue Medic)**

Innerhalb dieser Einheit ist die Batterie, der Motor sowie ein Mikroprozessor lokalisiert, der die rhythmischen Kontraktionen des Gurtes so steuert, dass gleichmäßig tiefe und rhythmische Thoraxkompressionen durchgeführt werden.

Im Tiermodell (Schwein) konnte durch das AutoPulse®-System eine verbesserte Gewebedurchblutung und ein verbessertes Überleben nach Herzstillstand nachgewiesen werden (Ikeno et al., 2006). Erste Untersuchungen am Menschen konnten einen signifikant höheren systolischen Blutdruck und eine bessere Koronarperfusion unter automatischer Herzdruckmassage zeigen (Timerman et al., 2004). Es wurden *bis dato* lediglich zwei Studien zum Vergleich zwischen konventionell-manueller Thoraxkompression und Herzdruckmassage mit dem AutoPulse®-System durchgeführt (Hallstrom et al., 2006; Ong et al., 2006). Die Ergebnisse der genannten Studien stehen zueinander im Widerspruch. So konnten Ong et al. ein besseres Überleben der AutoPulse®-Patienten nachweisen, während in der zweiten Studie von Hallstrom et al. sogar ein schlechteres Überleben in der AutoPulse®-Gruppe mit neurologischen Defiziten ermittelt wurde, weshalb diese Studie frühzeitig beendet werden musste. Allerdings wurde in einer späteren *post-hoc* Re-Analyse der Quelldaten dieser Studie entdeckt, dass durch einen Studienprotokollwechsel in einem einzigen Zentrum dieses Ergebnis verursacht wurde. In den anderen teilnehmenden Studienzentren war bis zum Abbruch der Studie eine tendenziell besseres Überleben in der AutoPulse®-Gruppe beobachtet worden (Paradis et al., 2010).

Die Qualität der durchgeführten Wiederbelebensmaßnahmen, insbesondere der Herzdruckmassage, nimmt einen hohen Stellenwert für eine erfolgreiche Reanimation ein (Ewy, 2005). Ein wesentliches Problem im Rahmen der Thoraxkompressionen stellt die rasche physische Ermüdung des jeweiligen Helfers dar. Durchschnittlich nach fünf Minuten ist ein Helfer bereits so ermüdet, dass die Herzdruckmassage ineffektiv wird (Hightower et al., 1995). In diesem Zusammenhang ist der Einsatz von automatischen Reanimationshilfen wie dem AutoPulse®-System zu sehen. Es ermöglicht kontinuierliche Thoraxkompressionen von gleicher Qualität und bietet darüber hinaus in vielen Einsatzsituationen die Möglichkeit einer Herzdruckmassage, wo aufgrund der äußeren Umstände (Transport durch ein Treppenhaus, Transport im Fahrzeug) eine manuelle

Thoraxkompression nicht mehr praktikabel ist. Die von den Reanimationsrichtlinien geforderte Kontinuität der Thoraxkompression kann so gewährleistet werden.

### 3.6 Fragestellung

Da die bisherige Datenlage zur Effektivität des AutoPulse<sup>®</sup>-Systems widersprüchlich ist, wurde im Rettungsdienst der Stadt Bonn eine prospektiv randomisierte Studie geplant, die die oben genannten Methoden (konventionell-manuell vs. AutoPulse<sup>®</sup>) miteinander vergleichen soll.

Im Rahmen einer zweijährigen Vorbereitungsphase wurde eine Pilotstudie durchgeführt, die Gegenstand dieser Arbeit ist. Obwohl das AutoPulse<sup>®</sup>-System im Bonner Rettungsdienst seit längerem im Routinegebrauch war, sollte vor allem im Hinblick auf die geplante randomisierte Studie die Anwendung dieses Rettungsmittels strukturierter und effizienter gestaltet werden. Hierfür wurden insbesondere die folgenden Fragestellungen verfolgt:

1. Wie kann das AutoPulse<sup>®</sup>-System in den CPR-Algorithmus der ERC-Leitlinien integriert werden, so dass es schnell und zeitnah einsetzbar ist?
2. Wie kann dabei eine möglichst geringe Unterbrechung der manuellen Herzdruckmassage erreicht werden?
3. Welche Aufgabenverteilung der einzelnen CPR-Helfer und welches Gerätemanagement am Patienten ist dafür sinnvoll?
4. Sind diese formulierten Ziele in der Übungssituation an der Reanimationspuppe überhaupt praktisch umsetzbar? (Videoanalyse)
5. Sind diese auch in den realen und ständig wechselnden Einsatzsituationen weiterhin praktikabel (prospektive Pilotstudie über 15 Monate im Rettungsdienst der Stadt Bonn)?
6. Wie stellt sich das Überleben in den ersten 24 Stunden nach erfolgter AutoPulse<sup>®</sup>-Reanimation dar?

## **4 Material und Methoden**

### **4.1 Rettungsdienst der Stadt Bonn**

Da der Rettungsdienst der Stadt Bonn das ausführende Organ dieser Untersuchungen war, soll im Folgenden kurz dessen Struktur erläutert werden.

Träger des öffentlichen Rettungsdienstes ist die kreisfreie Bundesstadt Bonn. Die Ausübung des Rettungsdienstes obliegt der Berufsfeuerwehr Bonn, die von den beiden Hilfsorganisationen Arbeiter-Samariter-Bund und Malteser-Hilfsdienst in der Notfallrettung unterstützt wird. Die Besetzung der Rettungswagen (RTW) erfolgt durch Feuerwehrmänner mit Rettungsassistentenausbildung sowie durch hauptamtliche Mitarbeiter der Hilfsorganisationen. Die Notarzteinsatzfahrzeuge (NEF) werden ausschließlich durch Mitarbeiter der Berufsfeuerwehr besetzt. Die Notärzte des „NEF-Nord“ sind ärztliche Mitarbeiter der Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin der Universitätsklinik Bonn. Das „NEF-Süd“ wird durch Notärzte der anästhesiologischen, chirurgischen und internistischen Abteilungen der Evangelischen Kliniken Bonn, Betriebsstätte Walkkrankenhauses in Bad Godesberg besetzt. Ferner wird werktags ein „Tages-NEF“ durch den Ärztlichen Leiter des Rettungsdienstes zusätzlich zur Spitzenabdeckung besetzt. Die insgesamt 12 Rettungswagen verteilen sich auf 4 Feuer- und Rettungswachen im Stadtgebiet Bonn. Davon sind einige Fahrzeuge nachts oder am Wochenende nicht im Einsatz. Insgesamt werden durch den städtischen Rettungsdienst jährlich ca. 26.500 Notfalleinsätze betreut. Davon sind ca. 180 Einsätze kardiopulmonale Reanimationen.

### **4.2 Verwendete medizinische Geräte**

Die Rettungswagen und Notarzteinsatzfahrzeuge werden nach DIN ausgerüstet (RTW: DIN EN 1789 Teil C, NEF: DIN 75079), so dass ein geeignetes und standardisiertes Equipment zur Verfügung steht. Neben den üblichen Verbrauchsmaterialien im Rahmen der Notfallversorgung des Patienten (venöse

Zugänge, Intubationsutensilien, Infusionslösungen, Notfallmedikamente u.a.) werden im Folgenden die besonders für die Durchführung dieser Studie wichtigen medizinischen Geräte tabellarisch aufgeführt:

<b>Gerätetyp</b>	<b>Hersteller</b>
<b>M Series<sup>®</sup>-Defibrillator mit EKG-Funktion, inkl. PCMCIA-Speicherkarte</b>	Zoll Medical Deutschland GmbH
<b>AutoPulse<sup>®</sup> Reanimationssystem</b>	Zoll Medical Deutschland GmbH
<b>RescueNet Code Review<sup>®</sup>, Software zum Auslesen der PCMCIA-Speicherkarten</b>	Zoll Medical Deutschland GmbH
<b>SPSS-Statistik-Software, Version 18.0</b>	IBM Corporation, USA
<b>Dortmunder Reanimationsprotokoll</b>	DGAI, DIVI
<b>Notarzteinsatzprotokoll</b>	DGAI, DIVI
<b>Rescusi-Anni</b>	Laerdal Medical Deutschland

**Tab. 1: Medizinische Geräte, die für die Datenerfassung der Studie eine herausragende Rolle spielen**

### **4.3 CPR-Teams für das Simulationstraining**

Die Mitarbeiter des Rettungsdienstes der Stadt Bonn sind aufgrund des Landesrettungsdienstgesetzes des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen dazu verpflichtet, jedes Kalenderjahr an einer 30-stündigen theoretischen und praktischen Fortbildung teilzunehmen. Die Berufsfeuerwehr Bonn unterrichtet ihre Mitarbeiter im eigenen Schulungszentrum. Im Rahmen dieser Veranstaltungsreihe wurden die Rettungsassistenten und Notärzte in der Anwendung des neuen CPR-Algorithmus trainiert. Nach einer theoretischen Einweisung erfolgte das praktische Training. Währenddessen wurden die einzelnen CPR-Teams mit Hilfe einer Videokamera gefilmt. Später erfolgte die Auswertung der einzelnen Szenarien im Hinblick auf Parameter, die eine Beurteilung des neuen Algorithmus hinsichtlich seiner Praktikabilität und dem Erreichen definierter Ziele ermöglichten.

#### 4.4 Patienten

Im Rahmen der internen prospektiven Qualitätskontrolle zur Vorbereitung der geplanten Studie wurden im Beobachtungszeitraum von 15 Monaten insgesamt 192 kardiopulmonale Reanimationen im Rettungsdienstbereich der Stadt Bonn erfasst. Grundsätzlich sollte zwecks Evaluierung des neuen CPR-Algorithmus, in den das neue Rettungsmittel integriert worden war, jede Wiederbelebung mit dem AutoPulse®-System im Sinne eines *on-scene*-Trainings durchgeführt werden.

Das AutoPulse®-System war im Rettungsdienst der Stadt Bonn zu diesem Zeitpunkt bereits im Routinegebrauch und wurde grundsätzlich bei jeder CPR angewendet. Das Ziel dieser Pilotstudie war es daher vielmehr, in Vorbereitung auf die geplante prospektiv randomisierte Studie die Anwendung des Systems strukturierter und effizienter zu gestalten.

Eingeschlossen wurden Einwohner der Stadt Bonn, die aufgrund eines plötzlichen Herztods kollabierten. Dabei handelte es sich um ein nicht selektiertes Patientengut. Grundsätzlich von der automatischen Reanimation ausgeschlossen waren Patienten, deren Herz-Kreislauf-Stillstand eine traumatische Ursache zugrunde lag, die jünger als 18 Jahre waren, Patienten mit bekannter oder klinisch imponierender Gravität sowie Patienten mit *Adipositas per magna* (Gewicht > 150 kg, Brustumfang > 150 cm). Auf die Definition eines *Body Mass Index* (BMI) wurde verzichtet, da in der Notfallsituation das Körpergewicht und der Brustumfang durch das CPR-Team schneller und einfacher ermittelt werden konnten. Die Gruppe der konventionell manuell reanimierten Patienten entstand durch Einsatzsituationen, in denen das neue Rettungsmittel aus technischen (Batterie leer, System noch nicht wieder einsatzbereit, Fehlfunktion) oder anderweitigen Gründen (individuelle Entscheidung des Notarztes gegen das System) nicht zur Anwendung kam.

## 4.5 Der neue CPR-Algorithmus und Studienablauf

### 4.5.1 Planung der Studie

Der neu gestaltete CPR-Algorithmus sollte vor allem zwei wesentlichen Punkten gerecht werden: einerseits den zum Zeitpunkt der Datenerhebung geltenden ERC-Richtlinien 2005, die den umgehenden Beginn einer kontinuierlichen Herzdruckmassage mit möglichst wenig Unterbrechungen fordern, andererseits einem frühzeitigen Einsatz des AutoPulse®-Systems ohne lange Unterbrechungszeiten der laufenden CPR. Im Folgenden sollen die theoretischen Überlegungen zur Entwicklung des neuen Algorithmus dargestellt werden.

Beim Rendezvous-System im Rettungsdienst (Definition s. Kapitel 4.5.3) muss davon ausgegangen werden, dass entweder der RTW oder das NEF an der Einsatzstelle ersteintreffendes Rettungsmittel ist. Daher sind zu Beginn der Reanimation in der Regel nur zwei Helfer vor Ort. Dies schränkt die durchzuführenden Maßnahmen auf ein Minimum ein, so dass wie oben beschrieben die Wiederbelebung zunächst in Form des *basic life supports* (Herzdruckmassage, Maskenbeatmung, Frühdefibrillation) gestartet wird. Eine Eskalation weiterer Maßnahmen (AutoPulse®, venöser Zugang, Intubation) erfolgt erst bei Eintreffen des zweiten Rettungsmittels an der Einsatzstelle. Im Rahmen dieses *advanced life supports* wurde nun die höchste Priorität auf den schnellen Einsatz der automatischen Reanimationshilfe gesetzt. Erst dann sollten weitere Maßnahmen wie die Sicherung der Atemwege durch die Intubation und die Anlage eines peripher venösen Zugangs zur Medikamentenapplikation erfolgen.

Da zum Einsatz des AutoPulse®-Systems ein vierköpfiges CPR-Team sinnvoll ist, wurde auf die Ausstattung der RTW mit dem neuen Rettungsmittel verzichtet. Aus diesem Grund wurden die Systeme nur auf den Notarzteinsatzfahrzeugen deponiert, da diese in jedem Falle an einer CPR teilnehmen würden. Im Rahmen des neu entwickelten und geschulten Algorithmus sollte das ersteintreffende CPR-Team des Rettungswagens bei überraschenden und nicht vorher durch die Einsatzmeldung angekündigten Vorfinden einer Reanimationssituation sofort eine telefonische Rückmeldung an die Rettungsleitstelle geben, damit das sich auf der Anfahrt befindende

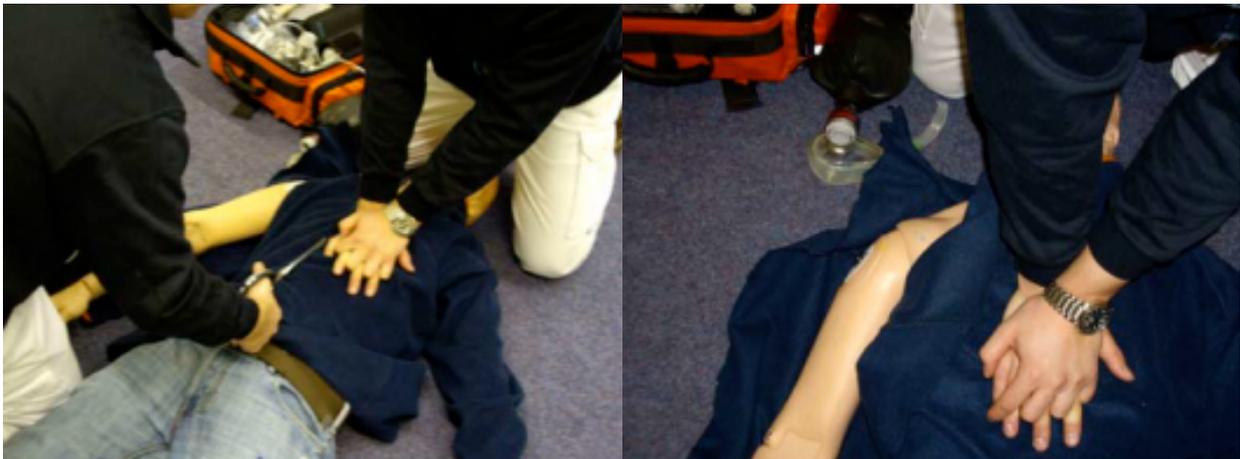
Notarzteinsatzfahrzeug das Gerät sofort mit zum Einsatzort bringen konnte. Durch diese Handlungsweise sollte sichergestellt werden, dass selbst bei unbekannter Reanimationssituation ein möglichst schneller Einsatz des AutoPulse®-System möglich war. Im Falle einer eindeutigen Einsatzmeldung sollte das NEF-Team unaufgefordert das Gerät zum Einsatzort mitbringen.

Weiterhin musste der neu entwickelte Algorithmus didaktisch so gestaltet sein, dass ein einfaches Erlernen problemlos möglich war. Daher wurden die Aufgabenbereiche der einzelnen Helfer genau definiert. Dies umfasste einerseits die durchzuführenden Maßnahmen und andererseits die Positionierung der einzelnen medizinischen Geräte im Sinne eines standardisierten Gerätemanagements (s. Kapitel 4.5.3). Für die Anlage des AutoPulse® sind entsprechende vorbereitende Schritte nötig (Entfernen der Bekleidung, Aufsetzen des Patienten etc.), die zunächst unter laufender Herzdruckmassage durchgeführt werden sollten. Diese Handlungsabläufe wurden neu entwickelt und in den Algorithmus integriert. Insbesondere für das Gewähren eines unterbrechungsfreien *basic life supports* wurden die Aufgaben so verteilt, dass ein Helfer lediglich den BLS durchzuführen hatte, während alle anderen Maßnahmen in einer festgelegten Reihenfolge vom zweiten Helfer abgearbeitet wurden.

Schließlich mussten die Modalitäten der Datensicherung für die einzelnen Reanimationen festgelegt werden. Dafür wurden zur zeitlichen Erfassung die Alarm-, Ausrücke- und Eintreffzeiten der jeweiligen Einsatzfahrzeuge mit Hilfe des Einsatzleitrechners der Feuer- und Rettungsleitstelle der Berufsfeuerwehr Bonn ermittelt. Weiterhin wurden die einzelnen medizinischen Parameter der Notarztprotokolle erfasst. Darüber hinaus erstellten die Notärzte nach einer Wiederbelebung routinemäßig ein sogenanntes „Dortmunder Reanimationsprotokoll“, das bundesweit zur einheitlichen Erfassung von Reanimationen im Rahmen CPR-Registers verwendet wird. Hieraus wurden ergänzende Informationen erfasst. Außerdem wurde die gesamte Reanimation mit Hilfe einer Speicherkarte elektronisch im Defibrillator aufgezeichnet. Jeder Notarzt überspielte nach einer CPR diese Daten elektronisch auf einen Computer im jeweiligen Standort, der eine Auswertung der Daten mit der entsprechenden Software ermöglichte.

#### 4.5.2 Besonderheiten der AutoPulse®-Reanimation

Der neu gestaltete CPR-Algorithmus berücksichtigt einige Besonderheiten der kardiopulmonalen Reanimation in Verbindung mit dem AutoPulse®-System. Aus technischen Gründen muss der Patient mit komplett entkleidetem Oberkörper auf das System gelegt werden, da sich gegebenenfalls Kleidungsstücke im Gurtantrieb verfangen könnten. Hierfür wird zunächst unter Reanimation die Oberkörperbekleidung mittig mit Hilfe einer Kleiderschere aufgeschnitten (s. Abbildung 8). Anschließend wird der gesamte rechte Ärmel einschließlich des Kragens aufgeschnitten (s. Abbildung 9). Später kann nun beim Aufsetzen des Patienten zur Anlage des Systems die Kleidung leicht über den linken Arm entfernt werden (s. Abbildung 10).



**Abb. 8: mittiges Aufschneiden der Oberkörperbekleidung durch den Seiten-Mann, während der Kopf-Mann die Herzdruckmassage durchführt. Abb. 9: Aufgeschnittener rechter Ärmel inklusive des Kragens zur späteren Entfernung der Bekleidung über den linken Arm des Patienten hinweg.**

Das neue Rettungsmittel wird von hinten unter den aufgesetzten Patienten geschoben (s. Abbildung 11). Dafür positionieren sich zwei Helfer jeweils in Höhe der Patientenschultern, ein dritter Helfer stützt von hinten den Kopf des bewusstlosen Patienten und der Notarzt schiebt das Rettungsmittel unter den Patienten. Anschließend muß die korrekte Lage des Patienten auf dem Board kontrolliert und unter Umständen korrigiert werden (s. Abbildung 12). Die richtige Position ist dann erreicht, wenn sich in

der ventralen Aufsicht auf den Patienten die Gurtauslässe des Geräts sowie der Zuggurt auf die Mitte der unteren Sternumhälfte projizieren (s. Abbildung 13). Ebenfalls ist darauf zu achten, dass der Zuggurt senkrecht entlang der lateralen Thoraxwand verläuft. Im Falle eines schrägen Gurtverlaufs ist ein Verrutschen des Gurtes möglich. Nach der primären Anlage des Systems wird das Rettungsmittel meist zu weit kaudal untergeschoben, so dass oft eine Lagekorrektur des Boards kranialwärts erforderlich ist.



**Abb. 10: Aufsetzen des Patienten zur Anlage des AutoPulse®-Systems durch Kopf- und Seitenmann, dabei Entfernen der aufgeschnittenen Oberkörperbekleidung über den linken Arm des Patienten. Abb. 11: Unterschieben des Boards unter den aufgesetzten Patienten.**



**Abb. 12: AutoPulse®-System ist zu weit nach kaudal untergeschoben. Abb. 13: Nach Lagekorrektur projizieren sich nun in der ventralen Aufsicht die Gurtauslässe in Höhe des unteren Sternumdrittels.**

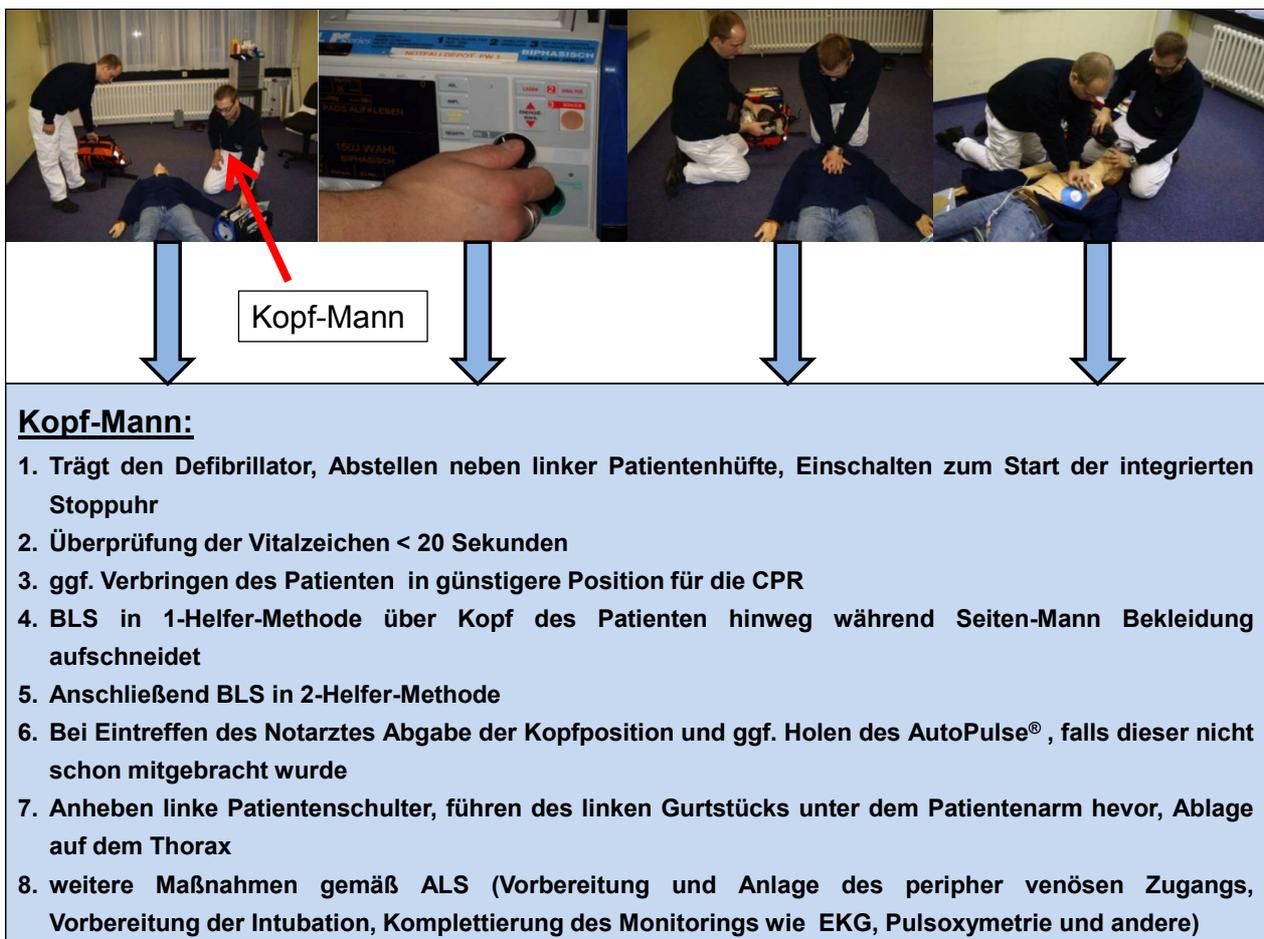
Ferner ist es notwendig, dass die Defibrillation erstens über Klebeelektroden (und nicht über Defibrillator-Paddels) erfolgt und zweitens, dass diese vor Anlage des Systems am Patienten angebracht werden. Später werden sie durch den Zuggurt verdeckt, so dass ein Zugang nur durch Unterbrechung der Herzdruckmassage und Öffnen des Zuggurts möglich wäre. Darüber hinaus werden grundsätzlich alle Defibrillationen ohne Unterbrechung der mechanischen Herzdruckmassage durchgeführt, wobei möglichst in der Kompressionsphase defibrilliert werden sollte. In dieser Phase ist weniger Luft im Thorax, so dass sich die Impedanz des Thorax verringert und so ein elektrischer Schock effektiver ist (Deakin et al., 2010b; Ewy et al., 1980). Im Rahmen des Rhythmuschecks ist meist eine kurzzeitige Unterbrechung der Herzdruckmassage nötig, um eine Beurteilung des EKGs frei von Artefakten zu ermöglichen (gleiches gilt auch für die manuelle Thoraxkompression). Diese Unterbrechung sollte jedoch möglichst kurz sein. Das AutoPulse<sup>®</sup>-System kann in zwei Modi Thoraxkompressionen durchführen: In einem kontinuierlichen und einem diskontinuierlichen Modus (30 Thoraxkompressionen, 3 Sekunden Pause zur Beatmung). Grundsätzlich sollte das Rettungsmittel nach erfolgter Intubation in den kontinuierlichen Modus geschaltet werden. Die Beatmung ist stets manuell über einen Beatmungsbeutel mit Reservoir und Sauerstoffanschluss durchzuführen, wobei der Beatmungshub möglichst in der Dekompressionsphase erfolgen sollte, sofern sich das System im kontinuierlichen Modus befindet.

#### **4.5.3 Funktionen der einzelnen CPR-Helfer im ALS**

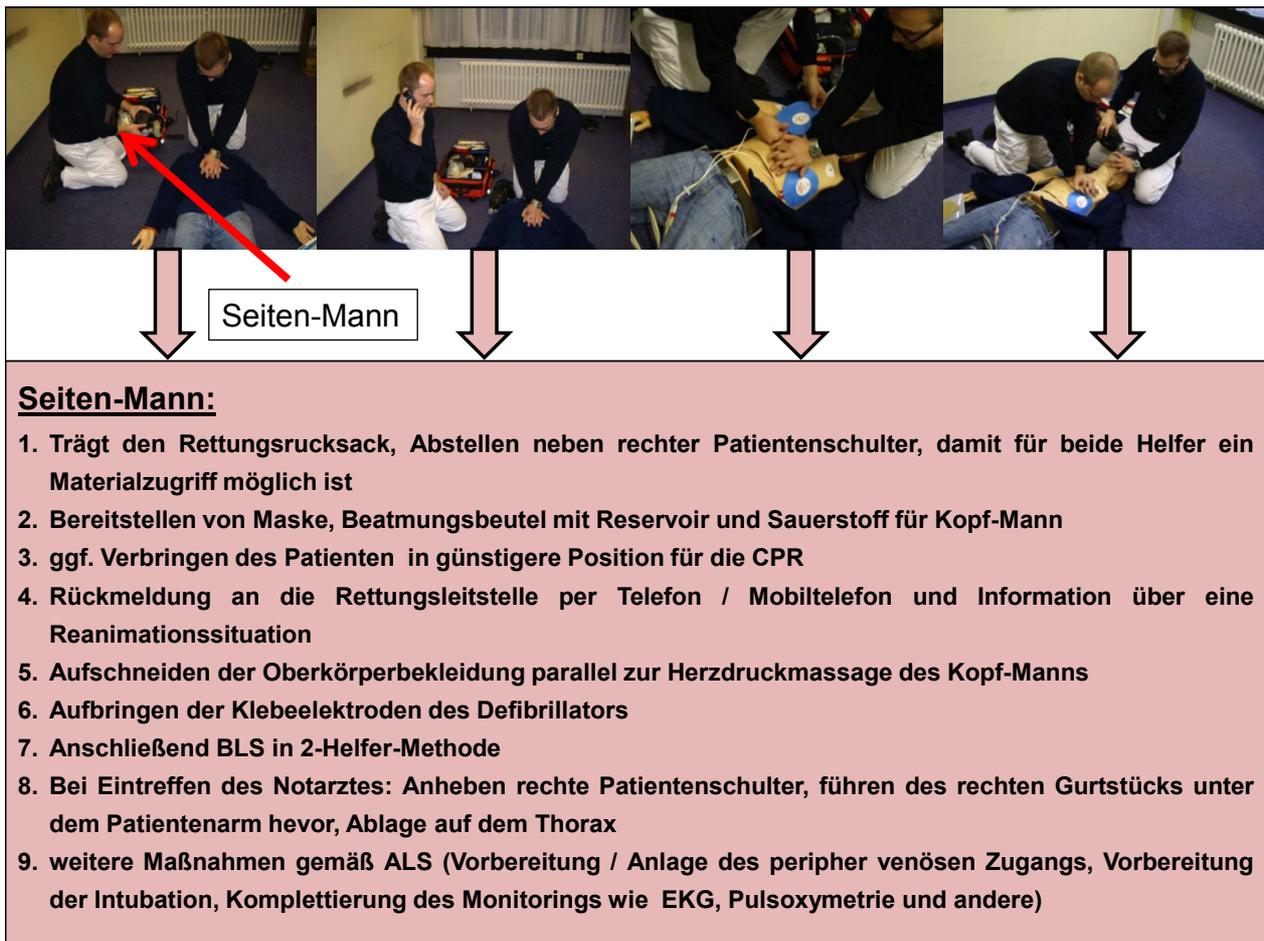
Um einen reibungslosen Ablauf der CPR zu garantieren, wurden die Mitarbeiter des Rettungsdienstes der Stadt Bonn nicht nur in den Besonderheiten der AutoPulse<sup>®</sup>-Reanimation geschult, sondern auch explizit in der Anwendung des neu gestalteten Algorithmus. In diesem Zusammenhang wurde auch ein standardisierter Handlungsablauf entwickelt, der jedem Helfer festgelegte Funktionen zuweist. Darüber hinaus wurde ein standardisiertes Gerätemanagement etabliert, das einerseits jedem CPR-Helfer die Bedienung der Geräte von seiner Position am Patienten heraus ermöglicht und andererseits eine Behinderung der Helfer durch abgestelltes Material minimiert.

Grundsätzlich besteht das CPR-Team aus den Besatzungen eines Rettungswagens (zwei Rettungsassistenten) und eines Notarzteinsetzfahrzeugs (ein Notarzt und ein Rettungsassistent), die beide im Rahmen des sogenannten Rendezvous-Systems von der Rettungsleitstelle aus zur Einsatzstelle entsandt werden. Rendezvous-System bedeutet hierbei, dass sich beide Einsatzfahrzeuge erst an der Einsatzstelle treffen. Dieses System ermöglicht es, dass ein Notarzt mehrere Rettungswagen in kurzer Zeitabfolge medizinisch betreuen kann, da er mit Hilfe seines eigenen Fahrzeugs zügig die Einsatzstellen wechseln kann, sofern im vorhergehenden Einsatz seine Anwesenheit unter medizinischen Gesichtspunkten nicht mehr nötig ist.

Im Folgenden sollen die einzelnen Abbildungen den Handlungsablauf sowie die einzelnen Funktionen der jeweiligen Helfer erläutern.

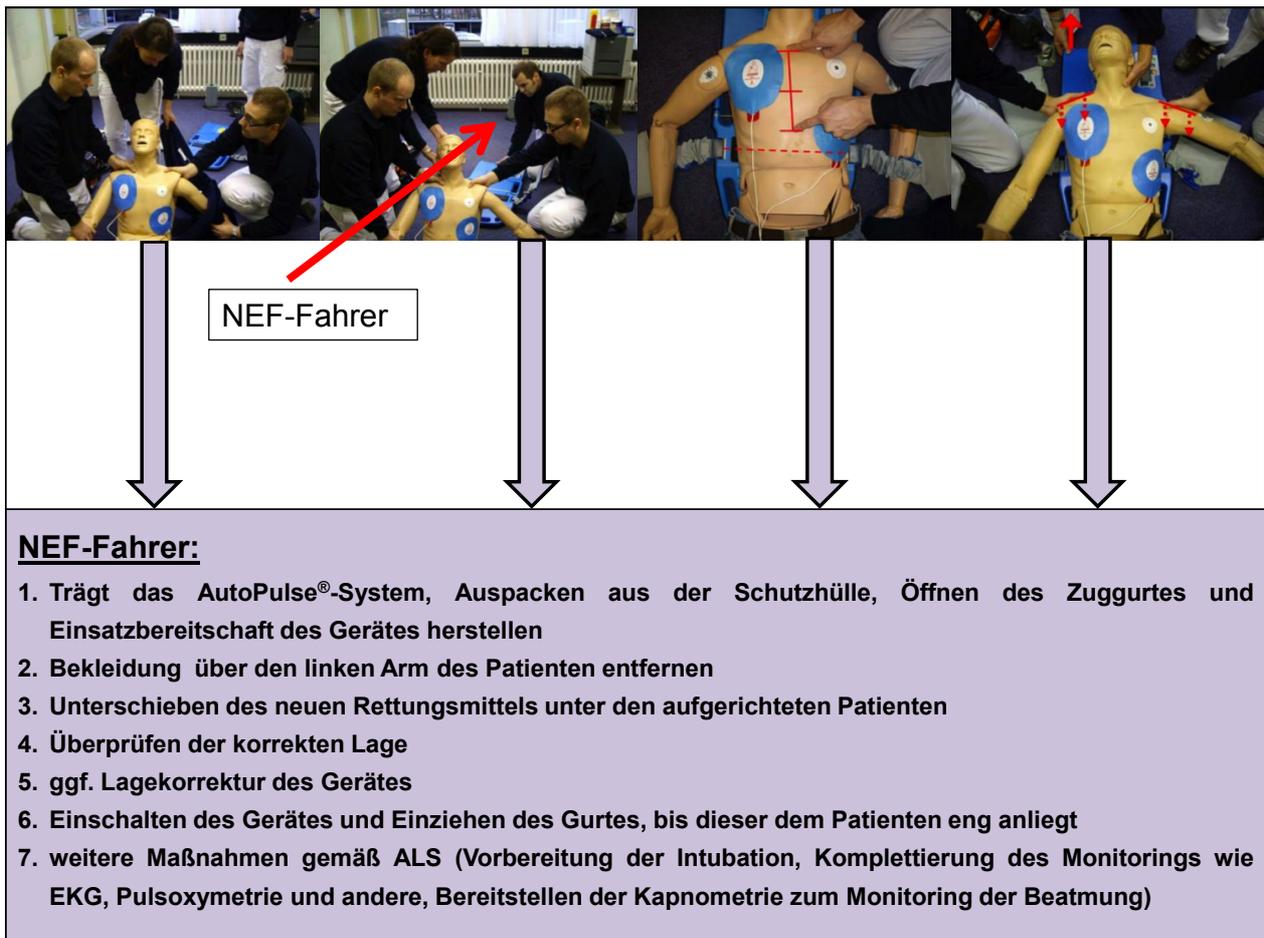


**Abb. 14: Standardisierter Prozessablauf (blauer Kasten) sowie standardisiertes Gerätemanagement des Kopf-Mannes (ein Rettungsassistent der RTW-Besatzung). Dieser Helfer wird in der Abbildung durch den roten Pfeil markiert.**



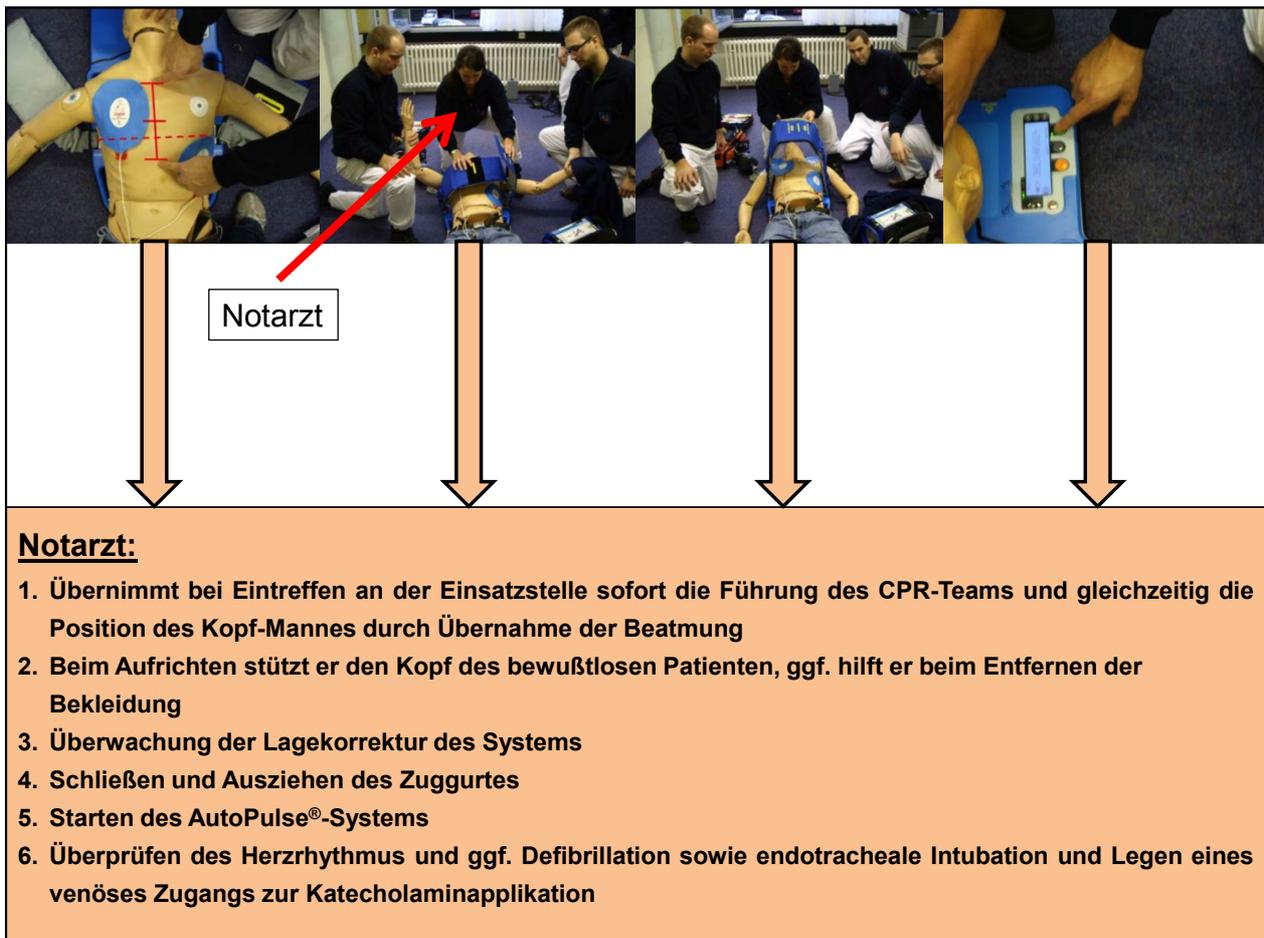
**Abb. 15:** standardisierter Prozessablauf (rosafarbener Kasten) sowie standardisiertes Gerätemanagement des Seiten-Mannes (ein Rettungsassistent der RTW-Besatzung). Dieser Helfer wird in der Abbildung durch den roten Pfeil markiert.

Da die Besatzung des RTW häufig als erstes an der Einsatzstelle eintrifft, wird von diesen beiden Helfern (Kopf-Mann und Seiten-Mann) zunächst im *basic life support* begonnen. Allerdings wird dieser entsprechend modifiziert und um die oben genannten Maßnahmen (s. Abbildungen 14 und 15) erweitert. Reanimation in 1-Helfer-Methode bedeutet, dass ein Helfer (in diesem Fall der Kopf-Mann) sowohl Beatmung als auch Herzdruckmassage alleine durchführen muss.



**Abb. 16:** Standardisierter Prozessablauf (fliegender Kasten) sowie standardisiertes Gerätemanagement des NEF-Fahrers (Rettungsassistent des NEF). Dieser Helfer wird in der Abbildung durch den roten Pfeil markiert.

Mit dem Eintreffen des NEF erweitert sich nicht nur das CPR-Team um zwei weitere Helfer, sondern es stehen nun auch mehr Materialien und Geräte zur Verfügung, die nur auf den Notarzteinsatzfahrzeugen vorgehalten werden, wie z.B. bestimmte Notfallmedikamente oder das AutoPulse®-System (s. Abbildungen 16 und 17).



**Abb. 17: standardisierter Prozessablauf (orangefarbener Kasten) sowie standardisiertes Gerätemanagement des Notarztes. Dieser Helfer wird in der Abbildung durch den roten Pfeil markiert.**

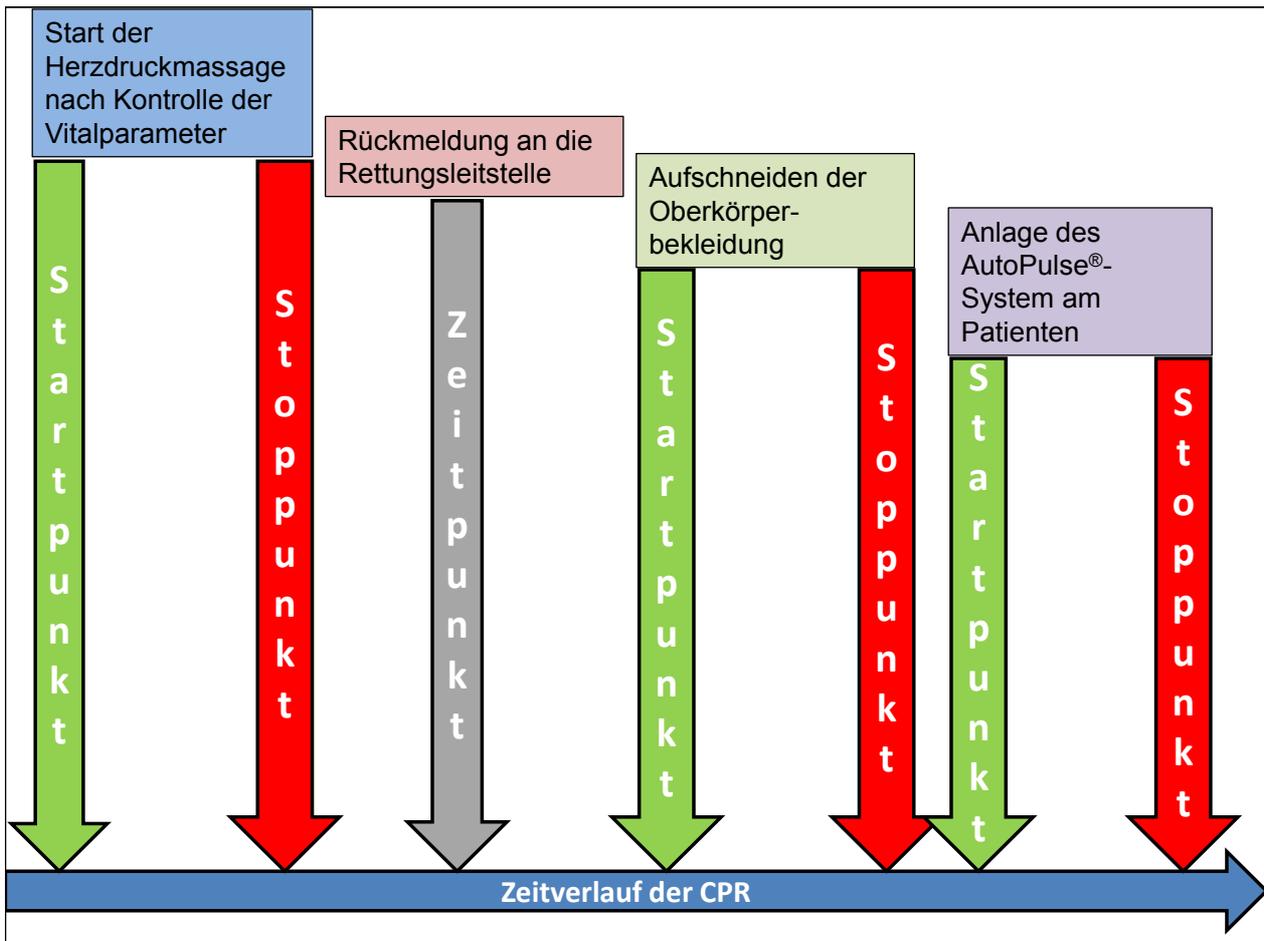
#### 4.6 Evaluation des neuen Algorithmus im Simulationstraining

Wie oben bereits erwähnt, wurden die Mitarbeiter des Rettungsdienstes der Stadt Bonn im Rahmen der jährlichen Fortbildung in der Anwendung des neuen Algorithmus unterrichtet. Anschließend musste jedes CPR-Team eine simulierte Wiederbelebung an einer Reanimationspuppe demonstrieren. Hierbei wurde insbesondere darauf geachtet, dass jedes Teammitglied die Maßnahmen entsprechend seiner Position in richtiger Reihenfolge ausübte, ob das Gerätemanagement korrekt befolgt wurde und ob die zeitlichen Vorgaben wie der schnelle Einsatz des AutoPulse®-Systems erfüllt wurden. Das Training wurde mit einer Videokamera aufgezeichnet und später analysiert.

Im Folgenden sollen die erhobenen Beobachtungsparameter anhand der untenstehenden Tabelle und Abbildung erläutert werden.

<b>Definition der verschiedenen Zeitintervalle</b>		
<b>Parameter</b>	<b>Startpunkt</b>	<b>Endpunkt</b>
<b>Start der Herzdruckmassage nach Kontrolle der Vitalparameter</b> (Vorgabe: < 20 Sekunden)	Abstellen des Defibrillators neben der linken Patientenhüfte	Erste manuelle Thoraxkompression durch den Kopf-Mann
<b>Rückmeldung an die Rettungsleitstelle</b> (Vorgabe: so früh wie möglich)	Wählen der Rufnummer auf dem Telefon / Mobiltelefon durch den Seiten-Mann	entfällt
<b>Aufschneiden der Oberkörperbekleidung</b> (Vorgabe: parallel zur HDM)	Ansetzen der Schere an der Bekleidung	Absetzen der Schere nach dem letzten Schnitt
<b>Anlage des AutoPulse®-Systems am Patienten</b> (Vorgabe: > 30 Sekunden)	Ende der letzten manuellen Thoraxkompression, Aufrichten des Patienten.	Erste automatische Thoraxkompression

**Tab. 2: Definition der verschiedenen Zeitintervalle bzw. Zeitpunkte, die während des Simulationstrainings ermittelt wurden. Bei Zeitintervallen existiert ein definierter Start- und Stoppunkt, bei einem Zeitpunkt wird zu einem definierten Ereignis eine entsprechende Zeit abgelesen.**



**Abb. 18:** Darstellung der ermittelten Parameter im Simulationstraining in zeitlicher Reihenfolge. Grüner Pfeil: Beginn der Messung des entsprechenden Intervalls. Roter Pfeil: Endpunkt der zeitlichen Erfassung des jeweiligen Intervalls. Grauer Pfeil: Einzelner Zeitpunkt, der zu einem definierten Ereignis abgelesen wird.

Neben der zeitlichen Erfassung wichtiger Meilensteine im CPR-Ablauf wurden weitere Parameter ermittelt, die insbesondere die Qualität der Herzdruckmassage abbilden sollten. Hierfür wurde die sogenannte *hands-off-time* gemessen, die das Zeitintervall in dem weder eine Herzdruckmassage noch ein spontaner Kreislauf besteht, ermittelt (Hostler et al., 2005). Anschließend wird der Quotient aus *hands-off-time* und Gesamtdauer der Reanimation errechnet. Dieser wird als *hands-off-ratio* bezeichnet. Je größer die *hands-off-time* im Zähler wird, desto größer wird die *hands-off-ratio*. Ein größerer Quotient bildet also eine schlechtere CPR ab, da hier von großen Unterbrechungsintervallen der Herzdruckmassage und somit von langen Phasen, in

denen keine zerebrale und myokardiale Perfusion stattgefunden hat, ausgegangen werden muss (Losert et al., 2006). Mit Hilfe dieses Quotienten können nun verschiedene Reanimationen unter dem oben genannten Gesichtspunkt miteinander verglichen und beurteilt werden.

In dieser Untersuchung ermittelten wir einerseits die manuelle *hands-off-ratio* und andererseits die automatische *hands-off-ratio*, die wir noch einmal in zwei Subgruppen unterteilten (s. Abbildung 19). Die erste Subgruppe bildete das Zeitintervall von Beginn der CPR durch manuelle Kompression bis zum Startpunkt der ersten automatischen Kompression ab. In diesem Abschnitt war also die Anlage des Systems miterfasst. Die zweite Subgruppe der automatischen *hands-off-ratio* erfasste die Gesamtdauer der CPR, d.h. auch die Zeit der eigentlichen automatischen Reanimation nach Anlegen des Systems. Ziel war es, folgenden Kritikpunkt der Anwendung dieser automatischen Reanimationshilfe objektiv abzubilden: das Anlegen des Systems benötigt Zeit, in der aber keine Thoraxkompression ausgeübt und somit kein Kreislauf aufrecht erhalten werden kann. Daher sollte die zweite Ratio die Hypothese bestätigen, dass diese Unterbrechung in der Gesamtdauer der CPR die *hands-off-time* nicht wesentlich negativ beeinflusst und somit vertretbar ist.

Weiterhin sollte durch Vergleich der beiden Hauptgruppen (manuelle versus automatische *hands-off-ratio*) die Hypothese überprüft werden, ob sich durch den Einsatz automatischer Rettungsmittel die *hands-off-ratio* positiv beeinflussen und so die Qualität einer CPR verbessern lässt.

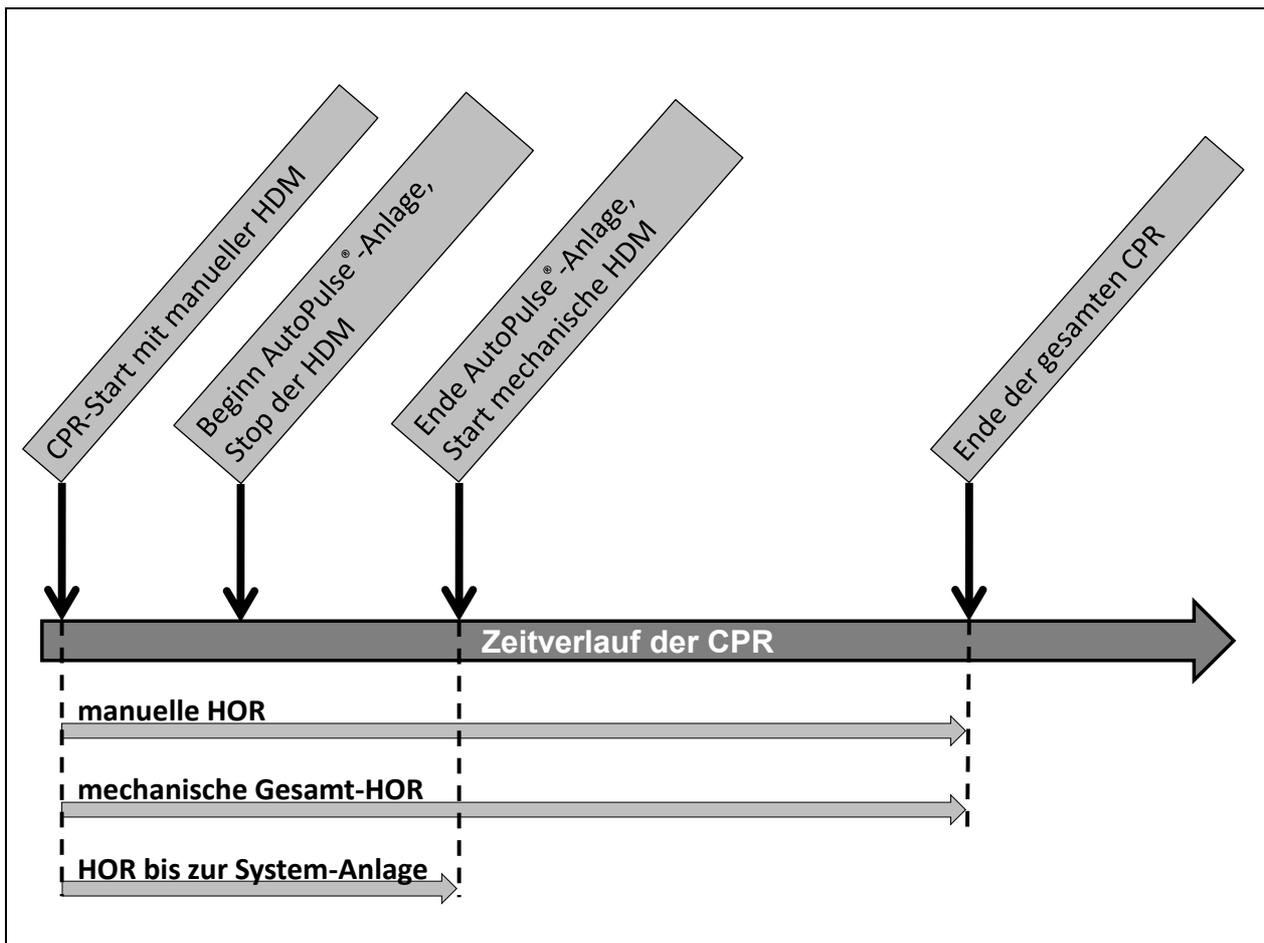


Abb. 19: Definition der verschiedenen *hands-off-ratios* (HOR) anhand des zeitlichen Verlaufs einer CPR

#### 4.7 Der neue Algorithmus im Feldversuch

Im Anschluss an das Simulationstraining erfolgte die Evaluation des neuen CPR-Algorithmus in der realen Einsatzsituation als *on-scene*-Training. Es wurden im Beobachtungszeitraum vom 01.01.2007 bis zum 31.03.2008 alle kardiopulmonalen Reanimationen im Rettungsdienstbereich der Stadt Bonn prospektiv erfasst. Grundsätzlich sollte bei jeder CPR das AutoPulse<sup>®</sup>-System eingesetzt werden, sofern keine Kontraindikationen gegeben waren (CPR aufgrund traumatischer Ursache, *Adipositas per magna*, Alter < 18 Jahre). Im Rahmen der prospektiven Datenerfassung wurden die beiden Notarztstandorte Bonn-Nord und Bonn-Süd mehrfach in der Woche visitiert, die Daten gesichert und direkt der Auswertung zugeführt. So bestand die

Möglichkeit, bei Bedarf den jeweiligen Notarzt noch einmal zur exakten Einsatzsituation zusätzlich zu befragen. Die elektronische Aufzeichnung der Wiederbelebung wurde mit Hilfe einer speziellen Software (RescueNet Code Review<sup>®</sup>, Zoll Data Systems) ausgewertet. Sowohl die manuelle CPR als auch das AutoPulse<sup>®</sup>-System hinterlassen jeweils typische EKG-Artefakte, so dass eine eindeutige zeitliche Zuordnung der jeweiligen Herzdruckmassage möglich ist. Wegpunkte wie die Anlage des Systems, der Wechsel von manueller auf maschinelle Thoraxkompression und die *hands-off-time* sind so für den Auswertenden exakt nachvollziehbar. Ebenso konnte durch Abgleich der exakt erfaßten Alarm- und Eintreffzeiten mit den aufgezeichneten Uhrzeiten des Defibrillators weitere Parameter wie das Zeitintervall vom Eintreffen des ersten Teams bis zur ersten AutoPulse<sup>®</sup>-Kompression erfasst werden. Auch im Feldversuch wurde die *hands-off-ratio* als Qualitätsmarker für die Herzdruckmassage ermittelt.

Außerdem wurde das Überleben aller reanimierten Patienten nachverfolgt, indem wir aus den jeweiligen aufnehmenden Krankenhäusern die Epikrisen der betroffenen Patienten anforderten. Das Überleben der ersten 24 Stunden nach Reanimation wurde in dieser prospektiven Untersuchung als primärer Endpunkt der Untersuchung gewertet. Die so ermittelten Parameter sollten eine Beurteilung des neuen CPR-Algorithmus in Bezug auf seine Praktikabilität unter realen und ständig wechselnden Einsatzbedingungen ermöglichen.

#### **4.8 Statistik**

Im Rahmen der deskriptiven Statistik wurden neben den relativen Häufigkeiten innerhalb einer Variablen auch die Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung bei normalverteilten Variablen berechnet. Zusätzlich wurden Minimum und Maximum angegeben.

Die Normalverteilung der Daten wurde mit dem D'Agostino-Pearson-Omnibus-K2-Test überprüft. Die Analyse von Gruppenunterschieden wurde mit Hilfe einer One-Way ANOVA und dem Tukey-Test ermittelt.

Als Signifikanzniveau wurde ein Wert von  $p < 0,05$  festgelegt. Als Software wurde die Programme SPSS (SPSS Statistics 18.0, IBM Corporation, New York, USA) sowie GraphPad PRISM 5 (GraphPad Software, Inc., San Diego, USA) verwendet.

## 5 Ergebnisse

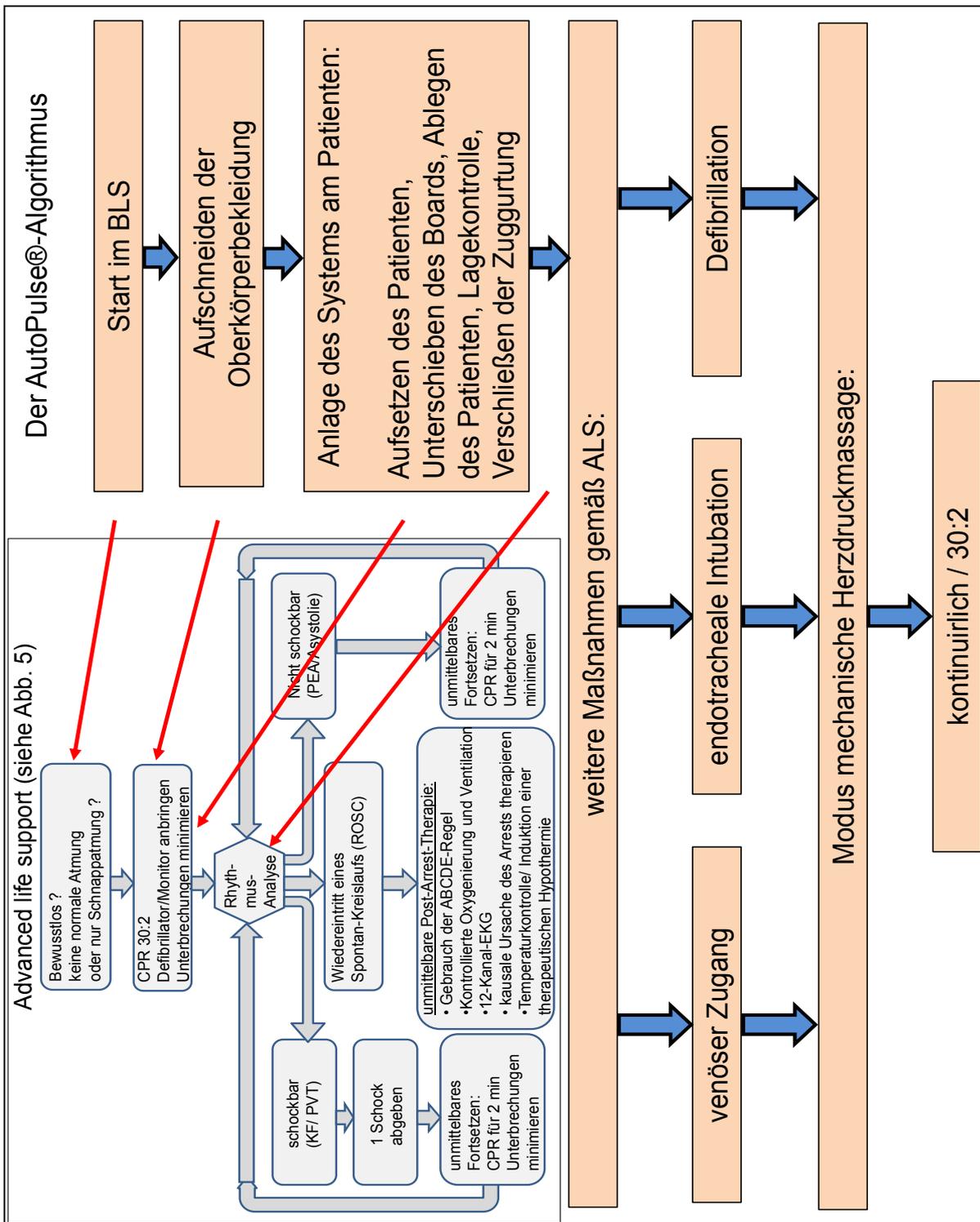
### 5.1 Der AutoPulse®-Algorithmus

Grundsätzlich sollte die Gestaltung des neuen Algorithmus einen schnellen Einsatz des Systems ermöglichen sowie dessen Besonderheiten in der Anwendung gerecht werden. Die Integration dieser Aspekte in den Algorithmus der ERC-Leitlinien 2005 führte zur Entwicklung des untenstehenden AutoPulse®-Algorithmus.

Zunächst startet das ersteintreffende CPR-Team mit dem *basic life support* (s. Abbildung 20). In der Zwischenzeit wird die Oberkörperbekleidung mit Hilfe einer Kleiderschere geöffnet. Nachdem weitere Vorbereitungen wie das Aufkleben der Defibrillator-Elektroden erfüllt sind, ist der Patient zur Anlage des Systems vorbereitet. Ist die Einsatzbereitschaft des AutoPulse®-Systems (Gerät aus der Schutzhülle entpackt, Zuggurt geöffnet, Gerät eingeschaltet) hergestellt, wird die Herzdruckmassage unterbrochen und es folgt die Anlage des Systems am Patienten, wobei für diese Maßnahme nicht mehr als 30 Sekunden in Anspruch genommen werden sollen. Erst nach der Inbetriebnahme des neuen Rettungsmittels erfolgen die weiteren Maßnahmen gemäß des *advanced life support*.

Die Defibrillation unter mechanischer Reanimation soll ohne Unterbrechung der Herzdruckmassage zur Reduktion der *hands-off-time* stattfinden, d.h. sowohl das Laden als auch die Abgabe des Schocks finden unter automatischer Thoraxkompression statt. Die endotracheale Intubation findet ebenfalls nach der Anlage des neuen Rettungsmittels am Patienten statt, da diese Maßnahme zusätzlich den schnellen Einsatz verzögern könnte. Auch hier soll die automatische Thoraxkompression so lange wie möglich aufrecht erhalten werden. Ist eine Laryngoskopie aufgrund der Bewegungsartefakte durch das System unter diesen Bedingungen nicht möglich, so kann eine kurzfristige Unterbrechung der Herzdruckmassage durchgeführt werden. Gleiches gilt für die Anlage eines venösen Zugangs. Sind diese erweiterten Maßnahmen abgeschlossen, so kann vom Notarzt das AutoPulse®-System vom diskontinuierlichen Modus, der 3 Sekunden Unterbrechung der Herzdruckmassage für die Beatmung

ausführt, in den kontinuierlichen Modus geschaltet werden. Voraussetzung ist, dass der geübte Notarzt in der Lage ist, eine manuelle Zwischenbeatmung des Patienten zwischen den einzelnen Thoraxkompressionen durchzuführen. Bei Zweifeln soll weiterhin das neue Rettungsmittel im diskontinuierlichen Modus betrieben werden, um eine suffiziente Beatmung weiterhin zu gewährleisten. Die maschinelle volumenkontrollierte Beatmung unter AutoPulse<sup>®</sup>-Reanimation ist seit über 10 Jahren nicht mehr leitlinienkonform, da sie möglicherweise zu einem Barotrauma in den Lungen führen könnte.



**Abb. 20: Der AutoPulse®-Algorithmus. Grau hinterlegt: ERC-Algorithmus nach den Leitlinien 2005; rote Pfeile: Querverweise, zu welchem Zeitpunkt die beschriebene Maßnahme den bisherigen ERC-Algorithmus erweitert; Orange hinterlegt: Neuer AutoPulse®-Algorithmus mit den entsprechenden Maßnahmen in zeitlicher Abfolge.**

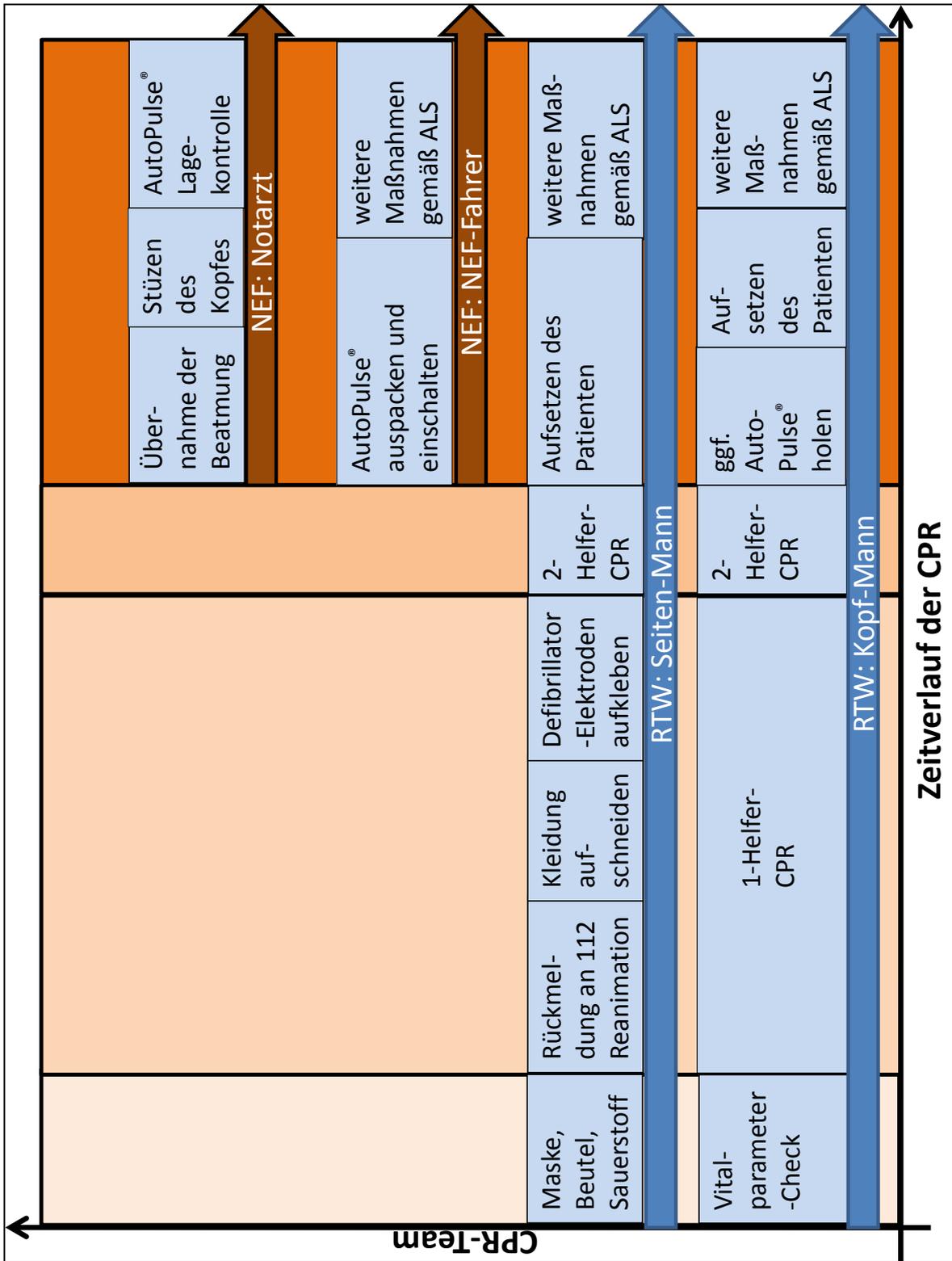


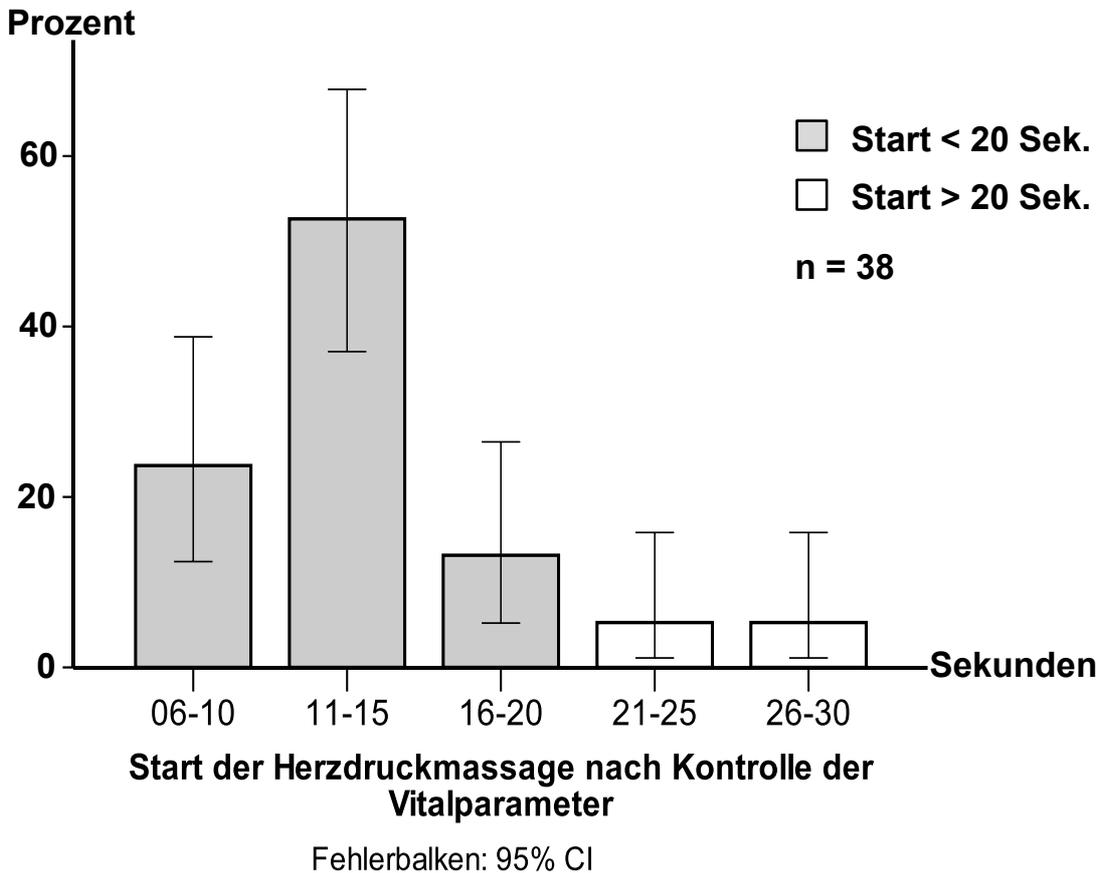
Abb. 21: Der AutoPulse® Algorithmus: Aufgabenverteilung der einzelnen CPR-Helfer in Abhängigkeit vom zeitlichen Verlauf. Die farblich unterlegten Spalten zeigen zeitlich zusammenhängende Maßnahmen auf.

## 5.2 Simulationstraining und Videoanalyse

Insgesamt wurden 38 Videoanalysen an drei verschiedenen Tagen mit Mitarbeitern/-innen des Rettungsdienstes der Stadt Bonn durchgeführt.

### 5.2.1 Start der Herzdruckmassage nach Kontrolle der Vitalparameter

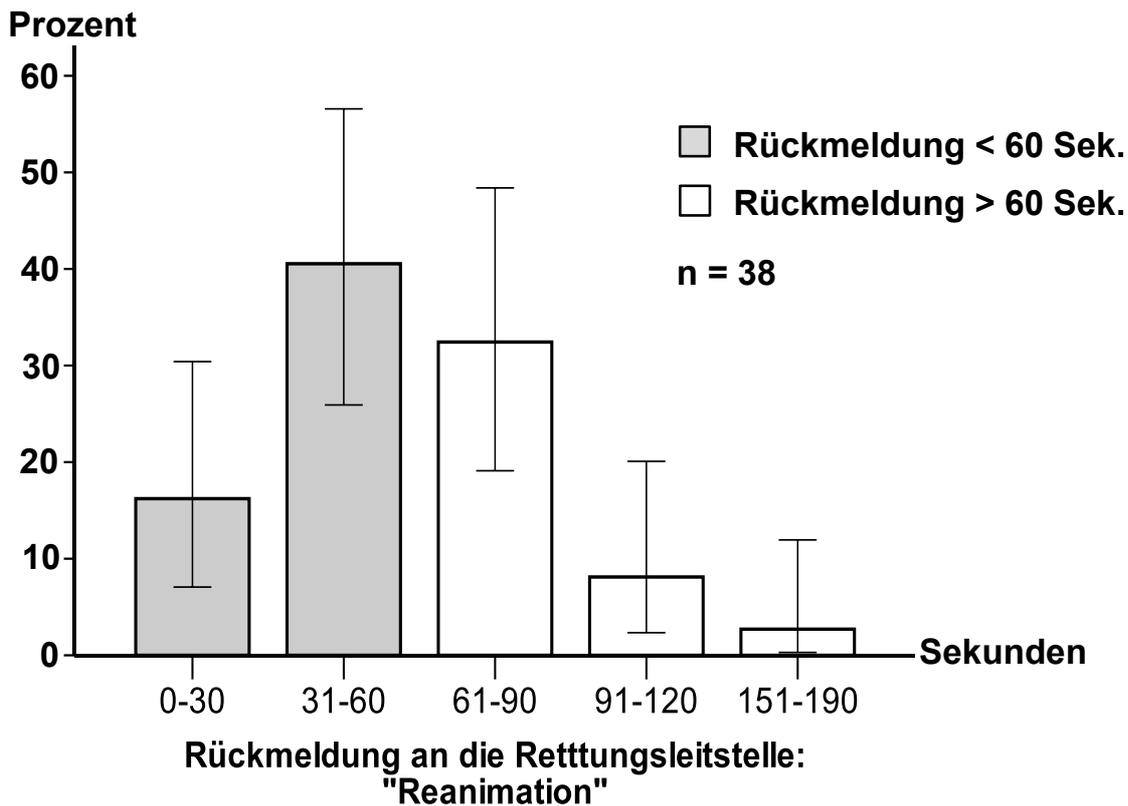
Dieses Zeitintervall umfasste das Eintreffen des ersten CPR-Teams an der Einsatzstelle (Startpunkt: Abstellen und Einschalten des Defibrillators), die Vitalzeichenkontrolle sowie den Start der ersten Thoraxkompression (Stoppunkt).



**Abb. 22: Relative Häufigkeiten in Prozent der einzelnen Kategorien innerhalb der Variablen. Graue Balken: In 89,5 % der Fälle (kumulierte Prozente) wurde 20 Sekunden nach Eintreffen des CPR-Teams mit der Herzdruckmassage begonnen. Weiße Balken: In 10,5 % (kumulierte Prozente) dauerte dies länger als 20 Sekunden. n=38, Fehlerbalken mit 95 %-Konfidenzintervall.**

## 5.2.2 Rückmeldung an die Rettungsleitstelle

Jedes Team sollte möglichst schnell eine telefonische Rückmeldung an die Rettungsleitstelle geben, wenn eine Reanimationssituation vor Ort vorgefunden wurde.

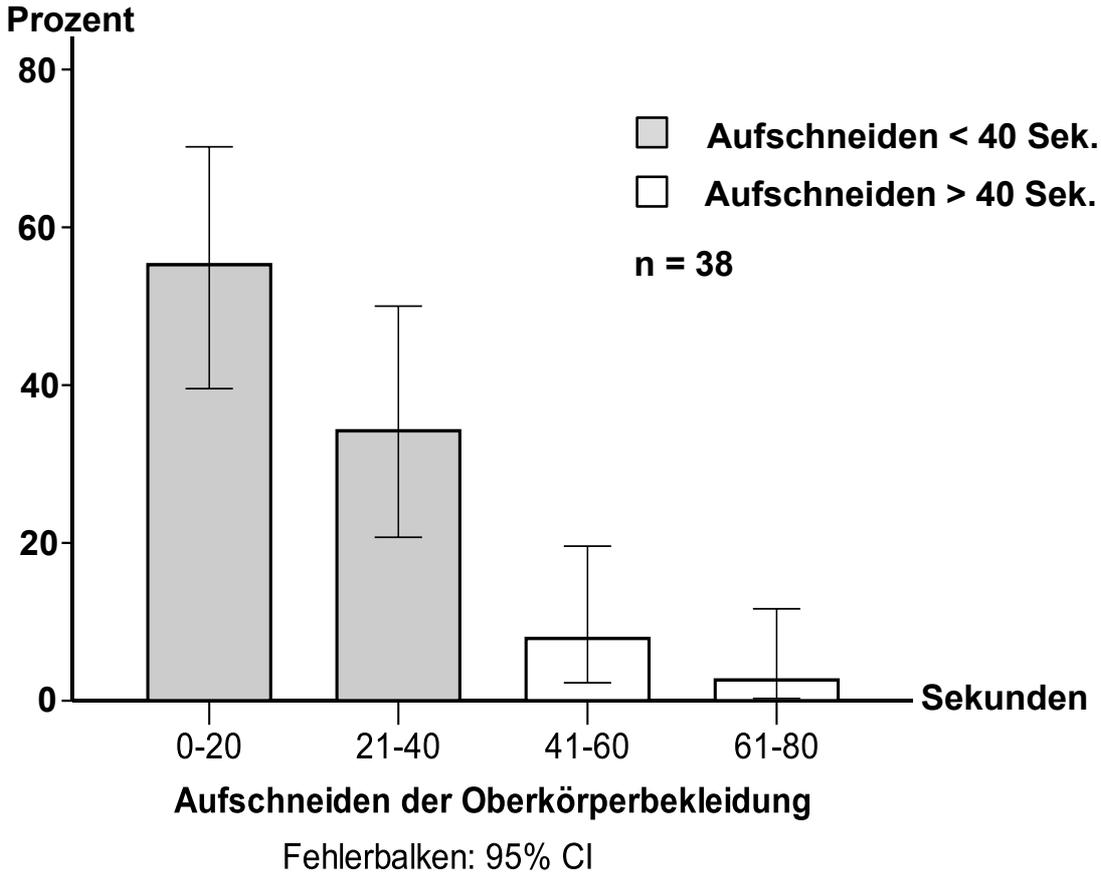


Fehlerbalken: 95% CI

**Abb. 23:** Relative Häufigkeiten in Prozent der einzelnen Kategorien innerhalb der Variablen. Graue Balken: In 56,8 % der Fälle (kumulierte Prozente) wurde innerhalb von 60 Sekunden nach Eintreffen des Teams an der Einsatzstelle die Rückmeldung erteilt. Weiße Balken: In 43,2 % (kumulierte Prozente) wurde außerhalb des gewünschten Zeitintervalls die Rückmeldung erteilt. n=38, Fehlerbalken mit 95 %-Konfidenzintervall.

### 5.2.3 Aufschneiden der Oberkörperbekleidung

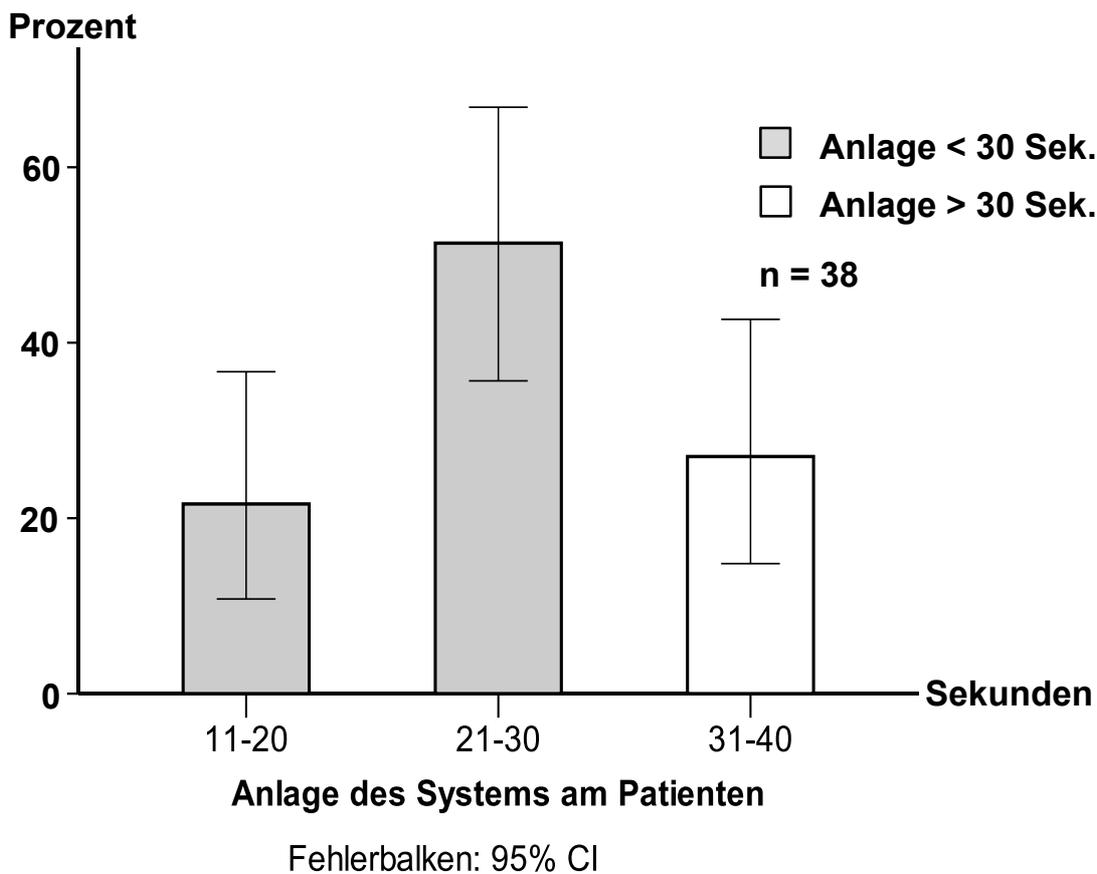
Das Aufschneiden der Oberkörperbekleidung sollte möglichst schnell, jedoch ohne Unterbrechung der Herzdruckmassage erfolgen.



**Abb. 24: Relative Häufigkeiten in Prozent der einzelnen Kategorien innerhalb der Variablen. Graue Balken: In 89,5 % (kumulierte Prozente) war innerhalb von 40 Sekunden die Bekleidung aufgeschnitten. Weiße Balken: Gruppen, die außerhalb des gewünschten Zeitintervalls die Maßnahme beendeten (10,5 % der Fälle, kumulierte Prozente). n=38, Fehlerbalken mit 95 %-Konfidenzintervall.**

### 5.2.4 Anlage des AutoPulse®-Systems am Patienten

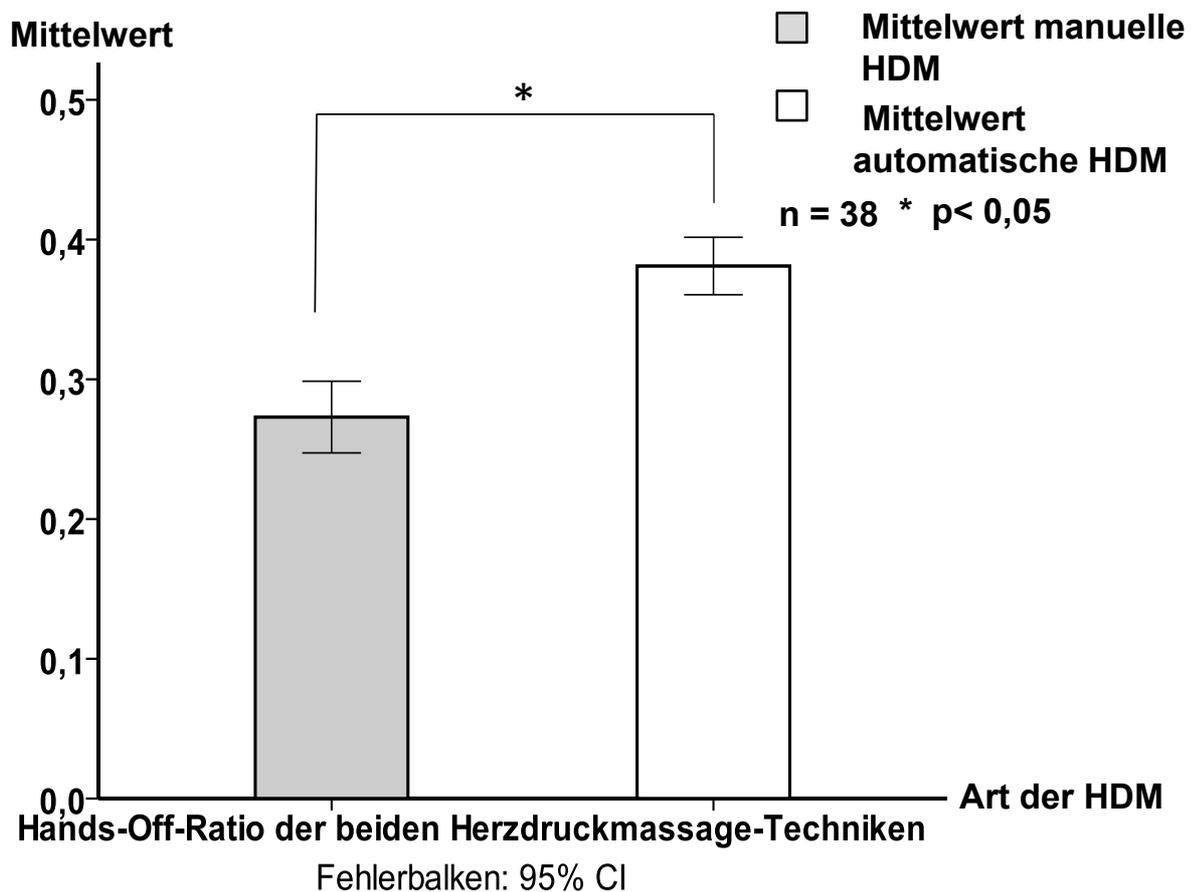
Die Anlage des AutoPulse®-System umfasste insgesamt das Aufsetzen des Patienten, das Entfernen der Bekleidung, das Ablegen des Betroffenen sowie die Lagekorrektur des Systems.



**Abb. 25: Relative Häufigkeiten in Prozent der einzelnen Kategorien innerhalb der Variablen. Graue Balken: In 73,0 % der Fälle (kumulierte Prozente) konnte 30 Sekunden nach Beginn der System-Anlage am Patienten die erste automatische Thoraxkompression beobachtet werden. Weiße Balken: 27,0 % der Fälle (kumulierte Prozente) lagen außerhalb des gewünschten Zeitintervalls. n=38, Fehlerbalken mit 95 %-Konfidenzintervall.**

### 5.2.5 *hands-off-ratio* von manueller und AutoPulse®-CPR

Hierfür wurde die *hands-off-time* gemessen und anschließend durch die Gesamtdauer der CPR dividiert. Innerhalb der 38 Videosimulationen wurde pro Fall sowohl eine *hands-off-ratio* für die rein manuelle Phase als auch für die Anlage des AutoPulse®- Systems ermittelt, wobei hier lediglich das Intervall bis zur ersten AutoPulse®-Kompression erfasst wurde. Der Mittelwert der *hands-off-ratio* für die manuelle Thoraxkompressionsphase war 0,266 ( $\pm 0,014$ ) und inklusive der Anlagephase für die automatische CPR 0,379 ( $\pm 0,01$ ). Beide Gruppen waren normalverteilt und unterschieden sich signifikant ( $p < 0,05$ ).



**Abb. 26:** Relative Häufigkeiten in Prozent der einzelnen Kategorien innerhalb der Variablen. Graue Balken: Mittelwerte der *hands-off-ratio* für die manuelle CPR. Weiße Balken: Mittelwerte der *hands-off-ratio* für die automatische CPR.  $n=38$ , Fehlerbalken mit 95 %-Konfidenzintervall.

## 5.3 Ergebnisse des Feldversuchs

### 5.3.1 Gruppenverteilung und demographische Daten

In dem 15-monatigen Beobachtungszeitraum wurden insgesamt 192 Reanimationen erfasst. In 124 Fällen wurde das neue Rettungsmittel verwendet und in 66 Fällen erfolgte die Reanimation mit Hilfe von manuellen Thoraxkompressionen. In zwei Fällen konnte keine Zuordnung mehr zur Herzdruckmassagetechnik erfolgen. Beide Gruppen unterschieden sich nicht in Bezug auf das durchschnittliche Alter der betroffenen Personen. Der Anteil der reanimierten Frauen war sowohl in der AutoPulse<sup>®</sup>-Gruppe (40,3 %) als auch in der manuellen CPR-Gruppe (34,8%) geringer als der Anteil der wiederbelebten Männer. Der Fokus der weiteren Analysen wurde vor allem auf die Gruppe der automatischen Reanimationen gerichtet.

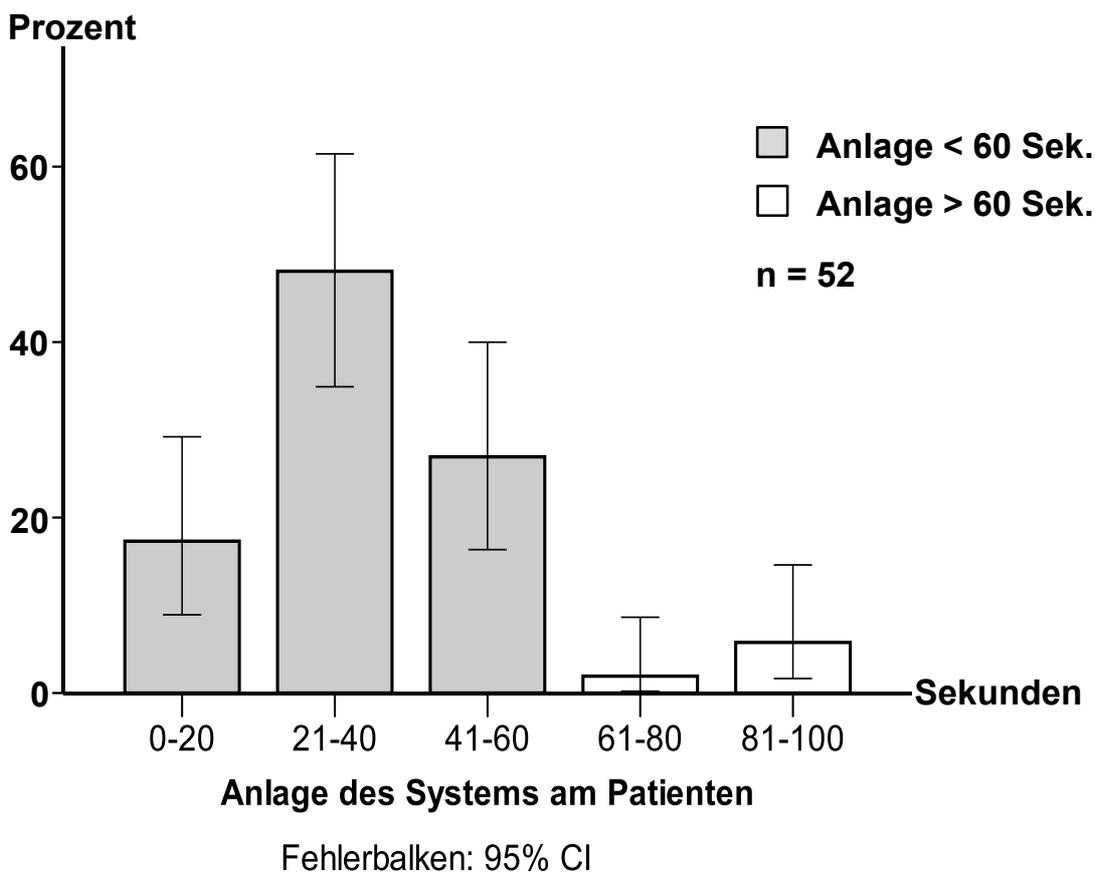
Die nun folgenden Beobachtungsparameter setzten eine detaillierte Auswertung insbesondere der EKG-Aufzeichnungen der einzelnen Wiederbelebungen voraus. Hier gelang es innerhalb der AutoPulse<sup>®</sup>-Gruppe in 52 Fällen eine lückenlose Dokumentation zu erreichen.

		AutoPulse <sup>®</sup> -Gruppe (n=124)	Manuelle CPR-Gruppe (n=66)
Alter [Jahre]	Mittelwert	67	67
	Standardabweichung	± 15	± 19
	Minima und Maxima	17 und 92	1 und 95
Geschlecht [w/m]	Frauen (Anteil in %)	40,3	34,8
	Männer (Anteil in %)	59,7	65,2

**Tab. 3: Gruppenverteilung, demographische Daten und Geschlechterverteilung der AutoPulse<sup>®</sup>- und manuellen CPR-Gruppe n = 190**

### 5.3.2 Anlage des AutoPulse®-Systems unter realen Einsatzbedingungen

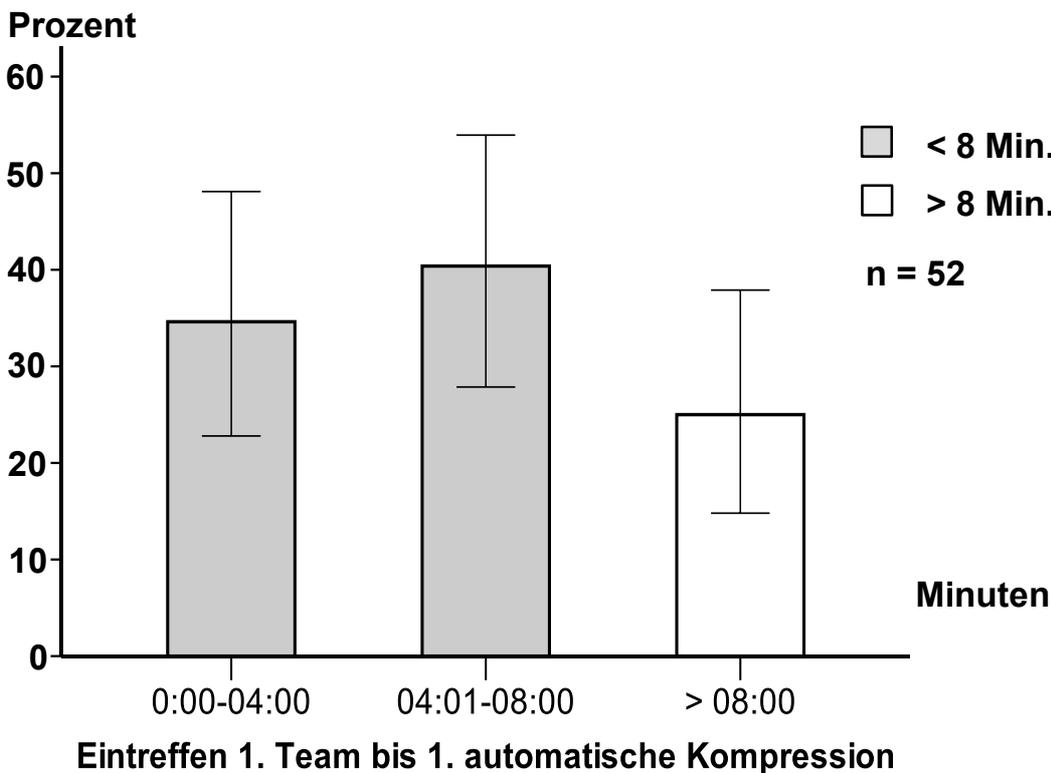
Diese Messgröße umfasste analog zum Simulationsmodell das benötigte Zeitintervall für das Aufsetzen des bewusstlosen Patienten, das Entfernen seiner Bekleidung, das Ablegen des Betroffenen auf dem Board sowie die Lagekorrektur des Systems.



**Abb. 27: Relative Häufigkeiten in Prozent der einzelnen Kategorien innerhalb der Variablen. Graue Balken: Nach 40 Sekunden war in 65,4 % der Fälle (kumulierte Prozente) das System angelegt und nach 60 Sekunden in 92,3 % der Fälle (kumulierte Prozente). Weiße Balken: In 5,7% (kumulierte Prozente) der Fälle lag das Ergebnis außerhalb des gewünschten Zeitintervalls. n=52, Fehlerbalken mit 95 %-Konfidenzintervall.**

### 5.3.3 Eintreffen des ersten Teams bis zur ersten automatischen Kompression

Wie oben bereits erwähnt, wurde das neue Rettungsmittel nur auf den Notarzteeinsatzfahrzeugen vorgehalten (s. Kap. 4.5.1). Daher sollte das Messen dieses Zeitintervalls überprüfen, ob das AutoPulse®-System trotz dieser Umstände noch ausreichend schnell zum Einsatz kommen konnte.

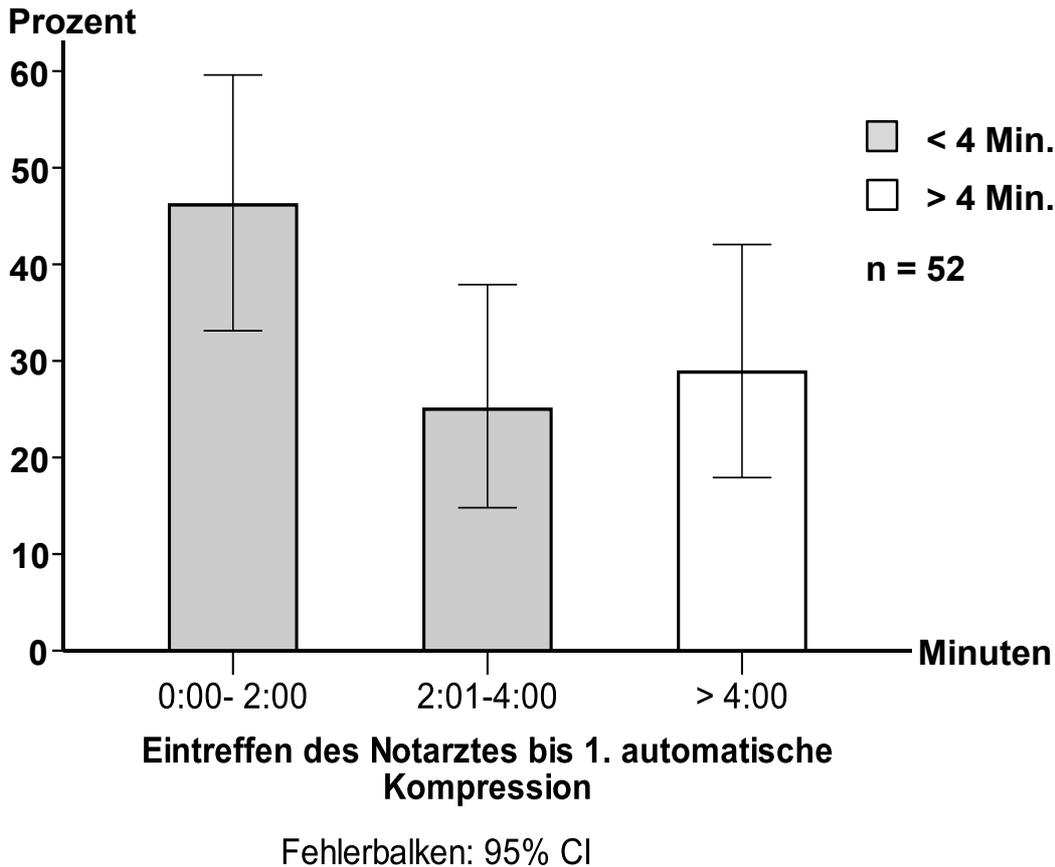


Fehlerbalken: 95% CI

**Abb. 28: Relative Häufigkeiten in Prozent der einzelnen Kategorien innerhalb der Variablen. Graue Balken:** Es konnte in 34,6 % der Fälle bereits 4 Minuten nach Eintreffen des ersten CPR-Teams (in der Regel die RTW-Besatzung) die erste automatische Thoraxkompression verzeichnet werden. Die kumulierten Prozente zeigen, dass nach 8 Minuten in 75 % der Fälle das System nach dem Eintreffen des ersten CPR-Teams an der Einsatzstelle und Beginn des *basic life supports* eingesetzt werden konnte. **Weißer Balken:** In 25 % der Fälle dauerte es bis zur ersten AutoPulse®-Kompression länger als 8 Minuten. n=52, Fehlerbalken mit 95 %-Konfidenzintervall.

### 5.3.4 Eintreffen des Notarztes bis zur ersten automatischen Kompression

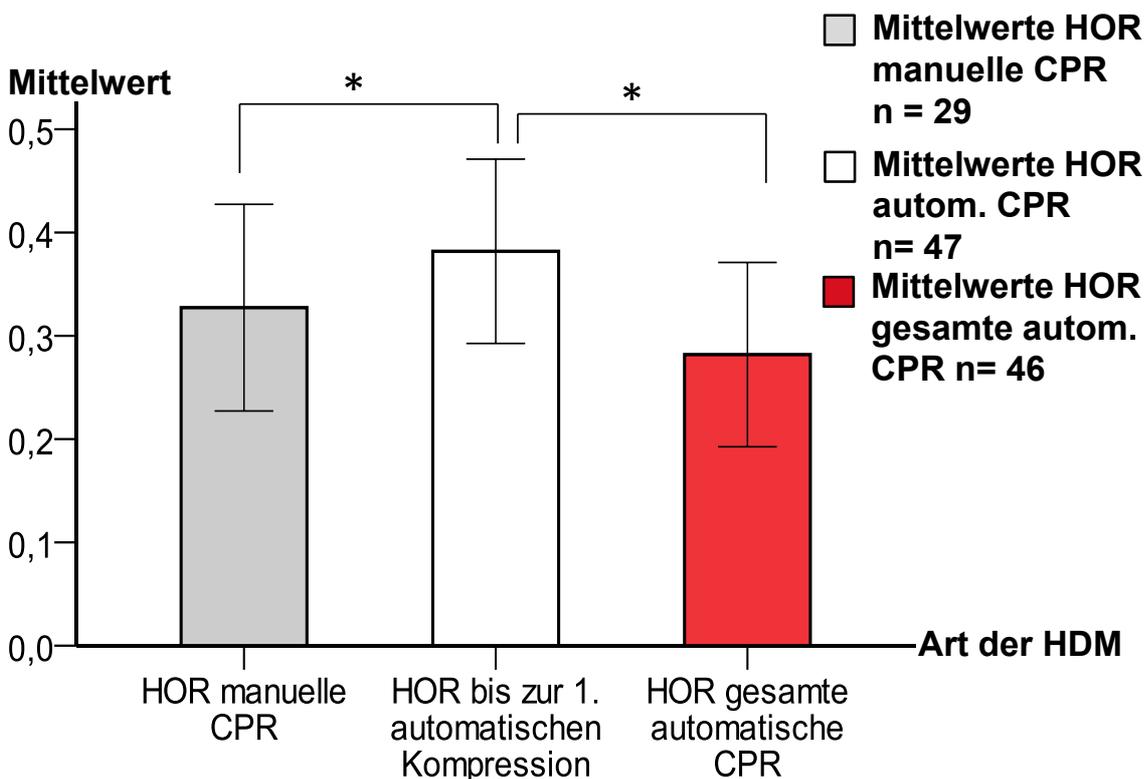
Dieser Beobachtungsparameter diente der Verifizierung wie schnell das neue Rettungsmittel nach dem Eintreffen an der Einsatzstelle zur Anwendung kam.



**Abb. 29: Relative Häufigkeiten in Prozent der einzelnen Kategorien innerhalb der Variablen. Graue Balken: In 71,2 % der Fälle (kumulierte Prozente) wurde spätestens nach 4 Minuten die erste automatische Thoraxkompression durchgeführt. Weiße Balken: 28,8 % der Fälle lagen außerhalb des gewünschten Zeitintervalls. n=52, Fehlerbalken mit 95 %-Konfidenzintervall.**

### 5.3.5 *hands-off-ratio* von manueller und automatischer Kompression

Im Vergleich zum Simulationsmodell konnte im Feldversuch die manuelle und die automatische *hands-off-ratio* in verschiedenen Gruppen ermittelt und diese als Qualitätsmarker für die Herzdruckmassage verwendet werden. In der manuellen Gruppe konnten von den 66 erfassten Fällen 29 Reanimationen für diese Fragestellung ausgewertet werden. Der Mittelwert der *hands-off-ratio* bei manueller Thoraxkompression war 0,31 ( $\pm 0,12$ ). In der mechanischen Gruppe ermittelten wir zwei verschiedene *hands-off-ratio*: Einerseits wurde das Zeitintervall von Beginn der CPR mit zunächst manueller Herzdruckmassage bis zur ersten mechanischen Kompression (n=47) und andererseits das Zeitintervall für die Gesamtdauer der CPR erfasst (n=46).



#### HOR von manueller und automatischer Kompression

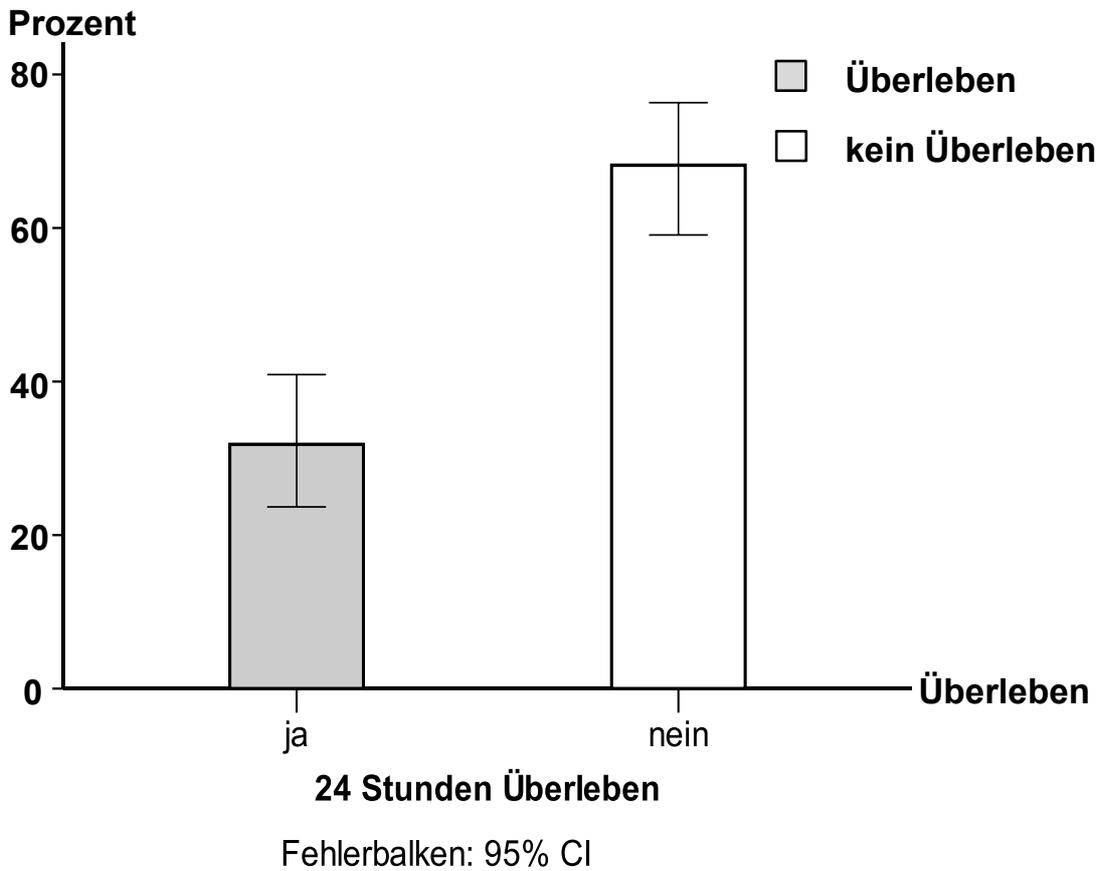
Fehlerbalken: 95% CI

**Abb. 30: Mittelwerte der verschiedenen *hands-off-ratio*. Grauer Balken: n=29, Weißer Balken: n=47, Roter Balken: n=46. Fehlerbalken mit 95 %-Konfidenzintervall. \*=p< 0,05.**

Es wurde so für die Anfangsphase der Wiederbelebung ein Mittelwert für die *hands-off-ratio* von 0,38 ( $\pm$  0,12) bis zur ersten automatischen Kompression errechnet. Ist der Beobachtungszeitraum auf die gesamte CPR ausgedehnt, so verringert sich dieser Parameter auf einen Mittelwert von 0,29 (0,11). Die *hands-off-ratio* zwischen der manuellen CPR und der mechanischen Gruppe bis zur ersten automatischen Kompression unterscheiden sich signifikant. Dies gilt ebenso für die beiden mechanischen Untergruppen. Allerdings sind die manuelle und die Gruppe der gesamten mechanischen CPR in dieser Untersuchung nicht signifikant unterschiedlich.

### **5.3.6 Das 24 Stunden Überleben**

Anhand der Arztbriefe aus dem jeweils aufnehmenden Krankenhaus konnte das 24 Stunden Überleben ermittelt werden. Von 124 erfaßten AutoPulse<sup>®</sup>-Reanimationen konnten 110 Fälle nachverfolgt werden. Es überlebten von diesen Patienten 31,8 % erfolgreich die ersten 24 Stunden und 68,2 % der Betroffenen verstarben innerhalb der ersten 24 Stunden nach Aufnahme im Krankenhaus.



**Abb. 31: Relative Häufigkeiten in Prozent der einzelnen Kategorien innerhalb der Variablen. Grauer Balken: 24 Stunden überlebt. Weißer Balken: Innerhalb von 24 Stunden verstorben. n=110, Fehlerbalken mit 95 %-Konfidenzintervall.**

## 6 Diskussion

Die in dieser Arbeit erhobenen Daten sollten eine Beurteilung der folgenden Aspekte ermöglichen: Wie ist das neue Rettungsmittel unter Berücksichtigung seiner Besonderheiten in der praktischen Anwendung sinnvoll in den bisherigen Algorithmus der ERC-Richtlinien zu integrieren? Lassen sich die daraus resultierenden Vorgaben im Simulationstraining durch die einzelnen Mitarbeiter des Rettungsdienstes qualitativ ausreichend umsetzen? Sind darüber hinaus diese modifizierten Maßnahmen auch unter realistischen Einsatzbedingungen weiterhin praktikabel?

Im Folgenden sollen die ermittelten Ergebnisse in Kontext zu bisher publizierten Daten gesetzt und kritisch diskutiert werden.

Das Primärziel des neuen CPR-Algorithmus war es, trotz der zusätzlichen Maßnahmen die Unterbrechungen der Herzdruckmassage auf ein Minimum einzuschränken, um so eine möglichst kontinuierliche zerebrale und koronare Perfusion zu gewährleisten. Studien konnten zeigen, dass eine frühzeitige und kontinuierliche Herzdruckmassage zu einer verbesserten Überlebensrate führen: Unmittelbar nach einem Herz-Kreislaufstillstand ist das Blut noch ausreichend oxygeniert und die Gewebeoxygenierung wird daher vor allem durch die kardiale Auswurfleistung bestimmt (Bobrow et al., 2008a; Kern et al., 2002; Mithoefer et al., 1967). Weitere Studien belegen, dass reanimierte Personen, die in den ersten Minuten nach dem Kollapsereignis eine kontinuierliche Herzdruckmassage ohne Ventilation erhielten, ein verbessertes neurologisches Überleben zeigten (Nagao et al., 2007; Iwami et al., 2007). Aus diesem Grund belegt die Herzdruckmassage in den ersten Minuten nach einem Herz-Kreislauf-Stillstand eine entscheidende Schlüsselposition.

Der hier neu entwickelte CPR-Algorithmus erfüllt die Anforderung, dass einerseits umgehend mit der kardiopulmonalen Reanimation im Sinne eines *basic life supports* gestartet werden kann und andererseits parallel die Bedingungen (Aufschneiden der Bekleidung, Aufkleben der Defibrillator-Elektroden) für einen schnellen AutoPulse®-Einsatz geschaffen werden können. Des Weiteren ist es dem ersteintreffenden CPR-Team jederzeit möglich, den Algorithmus zu unterbrechen, um bei Eintreffen des Geräts

an der Einsatzstelle dieses sofort am Patienten anbringen zu können. Diese geforderte Flexibilität an das Rettungsdienstpersonal ist dem Umstand geschuldet, dass das neue Rettungsmittel lediglich auf den Notarzteinsatzfahrzeugen vorgehalten wurde. Das in der Regel ersteintreffende RTW-Team muß daher zwangsläufig mit einer manuellen Herzdruckmassage beginnen. Andererseits ist ein unmittelbarer Einsatz des neuen Rettungsmittels selbst im Idealfall (beide Einsatzfahrzeuge treffen zeitgleich an der Einsatzstelle ein) nicht möglich, da zunächst die Bedingungen am Patienten dafür geschaffen werden müssen (siehe oben). Trotzdem ist ein großer Nachteil des AutoPulse<sup>®</sup>-Systems darin zu sehen, dass zur Anlage am Patienten eine Unterbrechung der Thoraxkompressionen für einen Zeitraum von etwa 30 Sekunden notwendig ist.

Im angloamerikanischen Raum wurde in bisher durchgeführten Studien eine ähnliche Strategie verfolgt: Auch hier startet ein CPR-Team der Feuerwehr mit dem *basic life support*, um die unbehandelte Stillstandzeit bis zum Eintreffen des weiter entfernt stationierten Rettungswagens zu minimieren. Erst das zweiteintreffende Team des Rettungswagens beginnt mit dem *advanced life support* sowie der umgehenden Anlage des AutoPulse<sup>®</sup>-Systems (Ong et al., 2006). Die Vorgehensweise in dieser Untersuchung ist somit am bisher geltenden Standard ausgerichtet und unter den gegebenen Umständen als sinnvoll zu bewerten.

Die endotracheale Intubation zur Sicherung der Atemwege konnte im neuen Algorithmus zeitlich nach der Anlage des neuen Systems positioniert werden, so dass dadurch der Einsatz des neuen Rettungsmittels zeitlich priorisiert werden konnte. Rettungsassistenten des Bonner Rettungsdienstes legen grundsätzlich bei bewußtlosen Patienten mit Atemstillstand primär einen Larynxtubus als supraglottische Atemwegshilfe ein. Eine initiale Beatmung über eine Beatmungsmaske entfällt. Mehrere Studien konnten belegen, dass die primäre Intubation durch Ungeübte zu einer deutlich erhöhten Inzidenz an Komplikationen führt (Jones et al., 2004). Besonders gefürchtet ist die ösophageale Fehlintubation, die je nach Untersuchung bei nichtärztlichen präklinischen Personal in 6 bis 17 % der Fälle eintreten kann (Jemmett et al., 2003; Katz und Falk, 2001). Des Weiteren sind supraglottische Atemwegshilfen wesentlich leichter einzulegen als ein trachealer Tubus und die Einlage dieser Systeme gelingt sogar ohne Unterbrechung der Herzdruckmassage (Gatward et al., 2008). In einer Simulationsstudie an einer Reanimationspuppe konnte gezeigt werden, dass die *hands-off-time* und somit

die Unterbrechung der Herzdruckmassage bei der Einlage eines Larynxtubus gegenüber der konventionellen endotrachealen Intubation signifikant reduziert werden konnte (Wiese et al., 2009). Die Verwendung eines Larynxtubus ist daher auch in diesem Algorithmus eine wichtige Komponente, die die Unterbrechungszeit der Herzdruckmassage reduziert und darüber hinaus die Anlage des neuen Rettungsmittels mit beschleunigt. Die endotracheale Intubation erst nach der Inbetriebnahme des Systems ist somit zu rechtfertigen.

Da nach der Anlage des neuen Rettungsmittels der Zuggurt einen Großteil des Thorax des Patienten bedeckt, ist eine Anlage von sogenannten Klebeelektroden zur Elektrotherapie vor der AutoPulse<sup>®</sup>-Anlage unerlässlich. Dies ermöglicht aber andererseits eine Defibrillation unter laufender Herzdruckmassage. Das Kammerflimmern ist eine sehr häufige Ursache für den plötzlichen Herztod: 59 bis 65 % der Patienten zeigen diese Rhythmusstörung unmittelbar nach dem Kollapsereignis (van Alem et al., 2003b; Weisfeldt et al., 2010). In diesem Zusammenhang spielt die frühzeitige Defibrillation eine entscheidende Rolle für das Überleben: Wird innerhalb der ersten Minuten nach Eintreten des Kammerflimmerns defibriert, so sind Überlebensraten zwischen 49 und 75 % möglich (Auble et al., 1995; Caffrey, 2002; O'Rourke et al., 1997; Page et al., 1998; Stiell et al., 1999a; Stiell et al., 1999b; Valenzuela et al., 2000; Weaver et al., 1988). Ferner konnte eine erhöhte Überlebenswahrscheinlichkeit von Patienten für den Fall belegt werden, dass während des Holens, des Anbringens und des Ladens des Defibrillators die Herzdruckmassage kontinuierlich fortgesetzt wird (Christenson et al., 2009). Kammerflimmern ist eine Rhythmusstörung, die mit einem hohen Sauerstoffverbrauch, einem Ausschöpfen von phosphatreichen Energieträgern (ATP) und einer Anreicherung von Stoffwechselmetaboliten einhergeht, welche in der Summe die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Konversion dieser Rhythmusstörung reduzieren (Ditchey et al., 1992; Kern et al., 1990). Eine Aufrechterhaltung des Kreislaufs über die Herzdruckmassage erhöht in diesem Zusammenhang die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Defibrillation (Noc et al., 1994). In Anlehnung an diese Erkenntnisse wurde die Empfehlung herausgegeben, dass die Elektrotherapie unter kontinuierlicher Herzdruckmassage durchgeführt werden sollte. Die Gefahr, dass ein Helfer durch die Defibrillation aufgrund

eines Patientenkontaktes verletzt wird, ist durch die Verwendung der automatischen Thoraxkompression minimiert.

Nach der Sicherung des Atemwegs sollte der behandelnde Notarzt kritisch prüfen, ob ein Wechsel von einer Kompressions-Ventilationsfrequenz von 30:2 in einen kontinuierlichen Kompressionsmodus möglich ist. Dies ist vor allem davon abhängig, ob der jeweilige Notarzt soviel Erfahrung im Beatnungsmanagement hat, dass er unter kontinuierlicher Thoraxkompression trotzdem eine suffiziente Beatmung des Patienten gewährleisten kann. Die Verwendung des kontinuierlichen Modus soll eine dauerhafte zerebrale und koronare Perfusion mit gleicher Qualität ermöglichen. Studien konnten unter automatischer Thoraxkompression eine deutlich bessere koronare und systemische Hämodynamik gegenüber konventioneller manueller CPR zeigen (Duchateau et al., 2010; Ikeno et al., 2006; Timerman et al., 2004). Hierbei ist ein großer Vorteil der mechanischen Reanimation darin zu sehen, dass keine Ermüdungserscheinungen eines CPR-Helfers entstehen (Variation in Drucktiefe und Frequenz), die die Qualität der CPR und die damit verbundene Organperfusion beeinflussen könnten (Morozumi et al., 2009). Ist die Möglichkeit einer kontinuierlichen Kompression nicht gegeben, so wird das Gerät analog zur manuellen CPR im Modus 30:2 weiter betrieben. Bisher existieren keine evidenzbasierten Daten darüber, welches Kompressions-Ventilationsverhältnis als ideal anzusehen ist. Seit den ERC Richtlinien aus dem Jahr 2005 wird ein Verhältnis von 30:2 empfohlen. Die Daten hierzu lieferte ein mathematisches Modell, das einerseits einen ausreichenden Blutfluss und andererseits eine ausreichende Sauerstoffabgabe ins Gewebe miteinander in Einklang bringen sollte und im Ergebnis zu dem oben genannten Verhältnis führte (Babbs und Kern, 2002).

Das Simulationstraining ermöglichte eine erste Evaluation, ob der modifizierte CPR-Algorithmus qualitativ ausreichend durch die verschiedenen CPR-Teams umgesetzt werden konnte. Eine erste wichtige Komponente des Algorithmus ist die unverzügliche Entscheidung zur kardiopulmonalen Reanimation. Hierfür ist das schnelle Erkennen einer solchen Situation durch das CPR-Team unerlässlich. Die ERC-Richtlinien wurden dahin gehend entsprechend weiter optimiert. Der Entscheidungsweg zu einer Reanimationssituation hin arbeitet letztendlich drei wesentliche Punkte ab: Die Überprüfung des Bewußtseins, die Kontrolle der Atmung und das Überprüfen von Kreislaufzeichen. Zur Kontrolle des Bewußtseins wird die kollabierte Person

wohlwollend an der Schulter geschüttelt und laut angesprochen (Deakin et al., 2010a). Als nächstes werden nun die beiden anderen Punkte (Atmung und Kreislauf) bei der bewußtlosen Person überprüft. Hier haben Studien gezeigt, dass selbst medizinisches Fachpersonal deutliche Schwierigkeiten hat, Atmung und Pulse so verlässlich zu kontrollieren, dass ein Herz-Kreislauf-Stillstand sicher diagnostiziert werden kann (Nyman und Sihvonen, 2000; Tibballs und Russell, 2009). Häufig werden pathologische Atmungsformen (z.B. die Schnappatmung) noch als suffiziente Atmung fehlinterpretiert (Bobrow et al., 2008b; Vaillancourt et al., 2007). Zur Atmungskontrolle werden die Atemwege des Bewußtlosen durch Überstrecken des Kopfes geöffnet, nach Thoraxexkursionen geschaut und nach Atemgeräuschen und – stößen aus dem Mund des Opfers gehört bzw. gefühlt (Deakin et al., 2010a). Es steht nicht mehr eine Beurteilung des Atemstillstandes im Vordergrund, sondern vielmehr das Erfassen einer pathologischen Atmung. Für die Kontrolle des Bewußtseins und der Beurteilung der Atmung sollen nicht mehr als 10 Sekunden an Zeit aufgewendet werden. Abschließend erfolgt die Überprüfung des Kreislaufs. Da offensichtlich selbst viele Fachkräfte nicht schnell und absolut sicher eine Pulslosigkeit diagnostizieren können (Eberle et al., 1996; Lapostolle et al., 2004; Moule, 2000) empfehlen die ERC-Richtlinien nun das folgende Vorgehen: Wenn das kollabierte Opfer keine Lebenszeichen hat (Bewußtlosigkeit, Reglosigkeit, pathologische Atmung wie z.B. Schnappatmung), dann soll unverzüglich mit der CPR gestartet werden. Diejenigen, die sich eine adäquate und sichere Diagnostik zutrauen und beherrschen, sollen für nicht länger als 10 Sekunden versuchen, einen Puls der *Arteria carotis communis* am Hals zu tasten und simultan nach weiteren Lebenszeichen fahnden. Insgesamt sollen so nicht mehr als 20 Sekunden für die Beurteilung von Bewußtsein, Atmung und Kreislauf in Anspruch genommen werden.

Im Simulationstraining wurden diese Wegpunkte der Diagnostik einer Reanimationssituation zeitlich erfaßt und so überprüft, ob die einzelnen CPR-Teams diesen Vorgaben der ERC-Richtlinien gerecht werden konnten. In knapp 90 % gelang es den einzelnen Rettungsassistenten diese Maßnahmen innerhalb von 20 Sekunden umzusetzen. Unter 5 Sekunden konnte in diesem Modell kein CPR-Start verzeichnet werden. Dies spricht für das Modell: Es werden Bewußtsein, Atmung und Puls

realitätsnah überprüft. In lediglich 4 Fällen dauerte der Beginn der CPR länger als 20 Sekunden. Gründe hierfür waren Unaufmerksamkeiten von CPR-Teammitgliedern oder korrigierende Einwände seitens des betreuenden Trainers. Wik et al. hat in seinem Untersuchungsmodell an einer Reanimationspuppe um etwa ein Drittel längere Startzeiten gemessen: So benötigten in der manuellen Gruppe die CPR-Teams im Mittel 33 Sekunden bzw. in der mechanischen Gruppe 29 Sekunden (Tomte et al., 2009).

Weiterhin sollte ein Teammitglied zügig nach dem Eintreffen an der Einsatzstelle eine telefonische Rückmeldung an die Rettungsleitstelle über eine Reanimationssituation geben. Das sich noch auf der Anfahrt befindende Notarzteinsatzfahrzeug sollte so rechtzeitig informiert werden, um direkt das AutoPulse®-Gerät ohne weitere Verzögerung mit zur Einsatzstelle bringen zu können. Innerhalb einer Minute sollte diese Meldung abgesetzt worden sein, da in den meisten Fällen davon auszugehen ist, dass nach einer Minute auch das NEF an der Einsatzstelle eintreffen würde. Diese zeitliche Vorgabe wurde in diesem Modell nur in knapp 57 % der Fälle erfüllt. In der realen Einsatzsituation würde diese Quote möglicherweise noch niedriger ausfallen, da hier noch zusätzliche Umweltfaktoren (Öffentlichkeit, familiäres Umfeld des Patienten etc.) hinzukommen. Hier besteht noch ein deutlicher Schulungsbedarf der Mitarbeiter, vor allem in Hinblick auf die geplante prospektiv randomisierte Studie.

Außerdem wurde in diesem Modell das Aufschneiden der Oberkörperbekleidung parallel zur Herzdruckmassage simuliert. Auch hier konnte in knapp 90 % der Fälle diese Maßnahme nach bereits 40 Sekunden zu Ende geführt werden. Hier ist allerdings kritisch anzumerken, dass die in der Simulation verwendeten Einmalkittel sehr dünn und daher leicht aufzuschneiden waren. In diesem Training sollte auch primär diese Maßnahme als Übungsinhalt vertreten sein und erst in zweiter Linie eine zeitliche Simulation erfolgen. Ziel in diesem Training war es vielmehr aufzuzeigen, dass das Eröffnen der Oberkörperbekleidung abhängig von der Beschaffenheit (Motorradbekleidung versus dünnes T-Shirt etc.) sehr variabel sein kann. Daher muß diese Maßnahme zwingend parallel zur Herzdruckmassage erfolgen. Durch dieses Vorgehen konnte in dieser Studie im Gegensatz zum offiziellen AutoPulse®-Lehrvideo der Firma Zoll (ca. 3 Minuten Unterbrechungszeit) die *hands-off-time* deutlich reduziert werden. In dieser Zeit findet keine koronare und zerebrale Perfusion statt, daher wurde in

dieser Untersuchung die Entscheidung gefällt, dass diese Maßnahme parallel zu einer manuell durchgeführten Herzdruckmassage erfolgen muß. Auch im AutoPulse®-Lehrvideo der Berufsfeuerwehr Bonn benötigen die Rettungsassistenten immerhin noch 58 Sekunden für diese Maßnahme, allerdings hier dann parallel zur manuellen Herzdruckmassage. In den bisherigen Studien zur Effektivität des AutoPulse®-Systems gegenüber der konventionell manuellen CPR existieren keine Daten darüber, wie lange die durchschnittliche *hands-off-time* für die Eröffnung der Oberkörperbekleidung gewesen war. Daher sollte im Hinblick auf die langen Unterbrechungszeiten zumindest in den Lehrvideos zukünftig darauf bestanden werden, dass bei Verwendung des Systems die Eröffnung der Bekleidung zur Vermeidung langer Stillstandzeiten zwingend parallel zur manuell durchgeführten Herzdruckmassage stattfinden sollte.

Bei der Verwendung des AutoPulse®-Systems zur mechanischen Reanimation existiert ein Abschnitt im Algorithmus der unabdingbar mit einer Unterbrechung der Herzdruckmassage einhergeht: Die Anlage des Systems am Patienten. Die norwegische Arbeitsgruppe von Wik et al. konnte in einem Simulationstraining an einer Reanimationspuppe eine mittlere Anlagezeit von 28 Sekunden ermitteln (Tomte et al., 2009). Dieses Training wurde auch im Rahmen einer Studienvorbereitung absolviert. Allerdings wurden in diesem Fall die CPR-Teams zuvor ausführlich geschult. Sie erhielten mehrere Stunden Unterricht, in denen die Grundlagen der Reanimation, die Anwendung des Systems und anderes noch einmal intensiv wiederholt wurden. Anschließend wurde das gelernte Wissen in einer Klausur geprüft. Danach mußten die einzelnen Teams den Reanimationsablauf sowie die Anlage des Systems praktisch üben und wurden auch hier wieder geprüft. Erst danach erfolgte das Simulationstraining, auf das sich die oben genannte mittlere Anlagezeit bezieht. Im Unterschied dazu fand in dem Training, das dieser Arbeit hier zugrunde liegt, lediglich eine Unterrichtseinheit in der Anwendung des modifizierten Algorithmus statt. Anschließend erfolgte sofort die Simulation und die Videoaufzeichnung. In diesem Falle arbeiteten die CPR-Teams zum ersten Mal mit dem System in der Praxis, ohne je zuvor dieses angewendet zu haben. Mit dieser Untersuchung konnte daher auch die Praktikabilität und die Komplexität des Systems direkt an der ungeübten Person ermittelt werden. In dieser Untersuchung konnten die CPR-Teams in 73,0 % das System innerhalb von 30 Sekunden am Patienten anbringen. Nach 40 Sekunden war in allen Fällen das System am Patienten

angelegt. Lapostolle et al. konnten in einer Studie an Erste-Hilfe-Kursteilnehmern zeigen, dass diese nach einer kurzen Einweisung (5 min Videoanleitung) unmittelbar dazu in der Lage waren, das AutoPulse®-System korrekt und zügig zu verwenden (System-Anlage und erste automatische Kompression nach 48 Sekunden), obwohl sie das Rettungsmittel zum allerersten Mal einsetzten (Lapostolle et al., 2009). Dies bedeutet, dass selbst ungeübtes Personal in der Lage ist, dieses System zügig am Patienten anzubringen. Dieser Aspekt ist für die Mitarbeiter des Bonner Rettungsdienstes essentiell: Im Rettungsdienstbereich der Stadt Bonn werden pro Kalenderjahr durchschnittlich 180 Reanimationen gezählt, die präklinisch versorgt werden müssen. Werden die Gesamtbereitschaftsstunden aller Fahrzeuge den Gesamtbereitschaftsstunden aller Mitarbeiter gegenübergestellt, so zeigt sich, dass der einzelne Mitarbeiter im Durchschnitt 3,24 Reanimationen pro Kalenderjahr aktiv betreut. Das bedeutet, dass der einzelne Mitarbeiter durchschnittlich alle 4 Monate mit einer CPR konfrontiert ist. Daher ist es bei der Verwendung des neuen Rettungsmittels wichtig, dass es einfach in der Anwendung ist. Darüber hinaus ist dieses Ergebnis ein weiteres Indiz für Validität des hier gewählten Untersuchungsmodells. Andere bisher publizierte Studien, die die Effektivität des AutoPulse®-Systems im präklinischen Einsatz untersuchten, geben keine Auskunft über die Dauer der Anlage und damit der Unterbrechungszeit der Herzdruckmassage (Casner et al., 2005; Hallstrom et al., 2006; Krep et al., 2007; Ong et al., 2006).

Die Beurteilung der Unterbrechungszeiten während dieser Simulation wurde mit Hilfe der *hands-off-ratio* ermöglicht. Mit diesen Daten sollte zunächst geprüft werden, ob es einen signifikanten Unterschied zwischen den *hands-off-ratios* der manuellen CPR und der automatischen CPR aufgrund der Anlage des Systems gibt. Die hier ermittelten Werte für die manuelle Herzdruckmassage sind vergleichbar mit anderen Ergebnissen aus Simulationstrainings (Ventzke et al., 2011). Die hier ermittelten Daten für die mechanische Herzdruckmassage zeigen, dass durch die Anlage des Systems bis zum Zeitpunkt der ersten automatischen Thoraxkompression eine signifikant längere Unterbrechungszeit entsteht. Auch in der von Wik et al. durchgeführten Studie konnte diese Beobachtung gemacht werden (Tomte et al., 2009). Allerdings führt der Autor andere Ursachen für eine längere Unterbrechungszeit an, wie beispielsweise der plötzliche unerwartete Stop des Systems aus technischen Gründen während der

automatischen Reanimation. Die für die Anlage des neuen Rettungsmittels bis zu 40 Sekunden lange Unterbrechungszeit, in der weder eine koronare noch eine zerebrale Perfusion stattfindet, wird in bisherigen Publikationen zum Thema nicht diskutiert. Ob diese Tatsache allerdings einen Einfluss auf das Überleben der Patienten nehmen kann, ist bisher noch nicht untersucht worden und sollte Gegenstand weiterer Datenerhebungen sein.

Abschließend sollte im Feldversuch evaluiert werden, ob die im Simulationstraining ermittelten Ergebnisse auch unter realistischen Einsatzbedingungen zu beobachten waren. Einen ersten Überblick ergibt sich durch die Auswertung der Gruppenverteilung und der demographischen Daten beider Herzdruckmassage-Gruppen. Betrachtet man zunächst die Daten in Bezug auf die beiden Kategorien konventionelle manuelle Thoraxkompression und automatisch durchgeführte Herzdruckmassage, so ist die Gruppengröße in Hinblick auf die Art der Herzdruckmassage (manuell oder automatisch) mit 66 manuellen versus 124 automatischen Fällen sehr unterschiedlich. Grund hierfür ist vor allem die Tatsache, dass dieser Untersuchung keine Randomisierung zugrunde lag, sondern stattdessen eine prospektiv nicht-randomisierte Datenerhebung erfolgte. Vielmehr waren alle CPR-Teams darauf hingewiesen worden, nach Möglichkeit jede CPR mit dem AutoPulse<sup>®</sup>-System im Sinne eines *on-scene*-Trainings durchzuführen.

Ferner lag der Interessenschwerpunkt dieser Arbeit auf der Praktikabilität des neu entwickelten Algorithmus. Der Vergleich der konventionellen manuellen CPR mit der mechanischen Reanimation war kein Untersuchungsziel, sondern ist vielmehr Gegenstand der geplanten prospektiven randomisierten Studie.

Neben der Gruppenverteilung der beiden Herzdruckmassagetechniken sind auch demographische Parameter geeignet, um erste Eindrücke über die ermittelten Daten zu erhalten. Hier wurden stellvertretend der Mittelwert des Patientenalters und das Geschlecht gewählt, um diese mit bisher publizierten Daten zu vergleichen. Der Altersmittelwert der beiden CPR-Gruppen von jeweils 67 Jahren unterscheidet sich nicht wesentlich von den in der Literatur angegebenen Daten (Timerman et al., 2004). Auch die Geschlechterverteilung in der manuellen und der mechanischen Gruppe korreliert mit bisher zum Thema publizierten Daten. Die Autoren beschreiben ebenfalls eine Verschiebung in Richtung des männlichen Geschlechts (Casner et al., 2005; Hallstrom

et al., 2006; Haukoos et al., 2010; Ong et al., 2006; Timerman et al., 2004). Diese Verschiebung nimmt allerdings in den westlichen Industrienationen zunehmend ab, da das weibliche Geschlecht deutliche Anstiege von kardialen Erkrankungen, die mit dem westlichen Lebensstil und Wohlstand vergesellschaftet sind, verzeichnet (Wenger, 2002). Denn auch beim weiblichen Geschlecht zeigt sich eine Zunahme der Risikofaktoren für die koronare Herzkrankheit wie Rauchen, Dyslipoproteinämie, Adipositas und andere. Die in dieser Studie erhobenen Daten zeigen trotz der deutlich unterschiedlichen Gruppengröße der manuellen und der mechanischen Gruppe eine typische Verteilung des Alters sowie des Geschlechts. Trotzdem muss an dieser Stelle noch einmal der Pilotcharakter dieser Untersuchung auch in Bezug auf diese Parameter kritisch betont werden.

Die Anlage des Systems unter realen Einsatzbedingungen dauerte erwartungsgemäß etwas länger als im Simulationstraining. Immerhin konnte das System nach 40 Sekunden in 65,2 % der Fälle am Patienten angebracht werden. Gründe für diese weitere zeitliche Verzögerung sind sicherlich in den Umweltfaktoren (Ablenkung der Teams durch öffentlichen Raum, familiäres Umfeld des Betroffenen, räumliche Enge etc.) zu suchen. Auch für diesen Parameter existieren keine vergleichbaren Daten aus bisher publizierten Studien, da dies bisher nie untersucht wurde. Eine mögliche Verbesserung könnte dadurch erreicht werden, dass nach dem Ablegen des Patienten auf dem Board noch einmal eine manuelle Thoraxkompression durchgeführt wird, bis die letzten Schritte der Systeminitialisierung (Zuggurt schließen, Einziehen des Zuggurtes bis zum straffen Anliegen etc.) abgeschlossen sind.

Des Weiteren wurde untersucht, wie schnell das System nach Eintreffen der verschiedenen CPR-Teams die erste automatische Kompression durchführen konnte. Hier wurde einerseits das Intervall vom Eintreffen des ersten Teams (meistens die RTW-Besatzung) bis zur ersten mechanischen Herzdruckmassage untersucht. Dieses Intervall sollte als Parameter aufzeigen, ob trotz der Vorhaltung der Geräte auf den Notarzteinsatzfahrzeugen ein vertretbarer schneller Beginn der mechanischen Reanimation möglich war. Lediglich in 34,6 % der Fälle konnte 4 Minuten nach dem Eintreffen des ersten Teams eine automatische Herzdruckmassage hergestellt werden. Nach 8 Minuten wurde dies bereits in 75 % der Fälle erreicht. Casner et al. konnten in ihrer Studie die neuen Systeme ebenfalls nur auf einigen wenigen Fahrzeugen

bereithalten. Hier benötigte man nach dem Eintreffen des *paramedic captain* (Fahrzeug und Funktion ist in diesem Falle dem NEF gleichzusetzen) ebenfalls im Mittel 8 min bis zum Einsatz des Systems (Casner et al., 2005).

Andererseits wurde diesem Parameter das Intervall vom Eintreffen des Notarztes mit dem System bis zur ersten mechanischen Herzdruckmassage gegenübergestellt. Hier sollte dann überprüft werden, wie schnell das System nach Eintreffen an der Einsatzstelle am Patienten angebracht werden konnte. Es zeigt sich, dass bereits nach 2 Minuten in 46,2 % der Fälle das System arbeitete und nach 4 Minuten waren es bereits 72,1 %. Diese Daten zeigen ähnliche Ergebnisse wie die prospektiv randomisierte Studie von Ong et al. Dieser Autor zeigte in 15 Fällen, dass im Mittel innerhalb von 3,6 Minuten nach dem Eintreffen des Rettungsmittels beim Patienten die erste automatische Thoraxkompression gestartet wurde. Für die in dieser Arbeit ermittelten Daten konnten sogar 52 Fälle eingeschlossen werden. War das neue Rettungsmittel also erst einmal beim Patienten eingetroffen, so konnte es auch unter realen Einsatzbedingungen schnell zum Einsatz gebracht werden, da offensichtlich die vorbereitenden Maßnahmen durch das ersteintreffende Team bereits erfolgt waren.

Auch im Feldversuch wurde sowohl für die gesamte CPR als auch für einzelne Abschnitte die *hands-off-ratio* ermittelt. Hierbei zeigt sich, dass bedingt durch die Unterbrechung der Herzdruckmassage zur Anlage des Systems am Patienten die automatische CPR initial einen größeren Quotienten aufweist. Im Verlauf relativiert sich diese Größe, um dann sogar unter den mittleren Quotienten der manuellen Herzdruckmassage zu fallen. Da es sich hierbei um relative Größen handelt, kann also die Gesamtdauer einer CPR einen positiven Einfluss auf das Ergebnis nehmen. Hat beispielsweise ein CPR-Team sehr viel Zeit für die Systemanlage in Anspruch nehmen müssen und hat im Anschluss die Reanimation aber ebenfalls sehr viel Zeit in Anspruch genommen, so wird der Quotient (also die *hands-off-ratio*) dadurch wieder kleiner. Der Quotient kann also in einigen Fällen zu einem besseren Ergebnis hin verlagert sein, nämlich einer kleinen *hands-off-ratio*, welche wiederum für eine CPR mit wenigen Unterbrechungen der Herzdruckmassage steht. Trotzdem können mit diesen Ergebnis folgende Aussagen getroffen werden: Die Anlagezeit des Systems erlaubt keine Herzdruckmassage und in dieser Zeit existiert keine adäquate koronare und zerebrale Perfusion. Ist das System am Patienten angebracht, kann die Unterbrechungszeit

deutlich reduziert werden und liegt sogar unterhalb der Unterbrechungszeit bei konventioneller CPR. Die Ergebnisse dieser Studie in Bezug auf die *hands-off-ratio* für die manuelle CPR sind mit bisher publizierten Daten aus der Literatur vergleichbar (Jiang et al., 2010). Trotzdem muß kritisch erwähnt werden, dass die manuelle Gruppe eine nicht randomisierte Kontrollgruppe in dieser Datenerhebung ist und daher dieses Ergebnis unter diesem Gesichtspunkt eingeschränkt betrachtet werden muß. Leider sind diese Ergebnisse anderer Studien ausschließlich im Simulationsmodell erhoben worden. Daten, die die *hands-off-ratio* unter AutoPulse<sup>®</sup>-CPR in der realen Einsatzsituation beschreiben, fehlen bisher.

Als letztes wurde das Überleben in den ersten 24 Stunden nach Herz-Kreislauf-Stillstand in diesem Feldversuch untersucht. Etwa ein Drittel der Patienten überleben nach diesem Ereignis die ersten 24 Stunden und zwei Drittel versterben in diesem Zeitfenster nach erfolgter mechanischer Reanimation. Diese Verhältnis ist in der Literatur bisher lediglich für die manuelle Herzdruckmassage beschrieben (Laver et al., 2004; Olasveengen et al., 2009). In den beiden bisher publizierten Studien von Ong et al. bzw. Hallstrom et al. zur Effektivität des AutoPulse<sup>®</sup> gegenüber der manuellen Herzdruckmassage wurden lediglich der Status bei Krankenhauszuweisung oder nur das Überleben der ersten 4 Stunden erfaßt (Hallstrom et al., 2006; Ong et al., 2006). Hier sind allerdings die Überlebensraten schon deutlich schlechter unter mechanischer Reanimation als in diesem Feldversuch. Es muss allerdings kritisch angemerkt werden, dass gerade in den ersten 24 Stunden viele weitere Faktoren in Form des Postreanimationssyndroms (hypoxische Hirnschädigungen, systemisches Ischämie-/Reperfusionssyndrom, myokardiale Dysfunktion) Einfluss auf das Überleben in den ersten 24 Stunden nehmen (Nolan und Soar, 2010). In diesem Zusammenhang spielt die Therapie des Postreanimationssyndroms (perkutane koronare Angioplastie (PTCA), strenge Regulation des Blutglukosespiegels, therapeutische Hypothermie) eine entscheidende Rolle in Bezug auf das Überleben. Daher wurde diese Postreanimationsphase mit dem Erscheinen der letzten Richtlinie der ERC auch entsprechend aufgewertet. Ferner fehlen in den beiden Studien von Ong et al. bzw. Hallstrom et al. für weiter reichende Aussagen die 30-Tage-Mortalität/Morbidität sowie die 1-Jahres-Überlebensrate.

Die Daten dieser Arbeit konnten zeigen, dass eine mechanische Reanimationshilfe wie das AutoPulse<sup>®</sup>-System der Firma Zoll sinnvoll in den CPR-Algorithmus der ERC-Richtlinien integriert werden kann, ohne dass dabei das Ziel einer möglichst geringen Unterbrechungszeit der Herzdruckmassage aufgeben zu müssen. Darüber hinaus ist nach entsprechendem Training der Anwender ein Einsatz des Geräts mit vertretbarer Unterbrechung der Herzdruckmassage zur Anlage am Patienten unter realen und ständig wechselnden Einsatzsituationen möglich. Es konnten so die Voraussetzungen und Bedingungen für eine vergleichende Untersuchung zwischen der manuellen und der mechanischen Reanimation geschaffen werden. Ob der Einsatz von solchen mechanischen Reanimationshilfen tatsächlich einen Einfluß auf das Überleben der Betroffenen haben kann, ist mit den Daten dieser Pilotstudie nicht zu beantworten und ist Gegenstand weiterer Untersuchungen. Zur Zeit findet die Datenerhebung einer prospektiv randomisierten Studie im Rettungsdienst der Stadt Bonn statt, die einen möglichen Vorteil des neuen Rettungsmittels gegenüber der konventionellen manuellen CPR untersuchen soll.

## 7 Zusammenfassung

Ziel dieser Pilotstudie war es, den bereits routinemäßigen Gebrauch des AutoPulse® im Rettungsdienst der Stadt Bonn strukturierter und effizienter im Hinblick auf die geplante prospektiv randomisierte Studie zu gestalten.

Wir entwickelten einen AutoPulse®-Algorithmus zur Integrität des neuen Rettungsmittels zwecks schnellen zeitnahen Einsatzes des Systems sowie einer möglichst geringen Unterbrechung der manuellen Herzdruckmassage. In einer Videoanalyse wurden insgesamt 38 Aufnahmen von Simulationstrainings an Reanimationspuppen in Bezug auf verschiedene Wegpunkte dieses Algorithmus (schnelle Vitalzeichenkontrolle, zügiger CPR-Beginn, Vorbereitung des Patienten zur System-Anlage, schnelle Anbringen des Rettungsmittel am Patienten) ausgewertet, um dessen Praktikabilität zu überprüfen. Es zeigte sich, dass die formulierten zeitlichen Zielvorgaben erfüllt werden konnten. Im Feldversuch wurden insgesamt 192 präklinische Reanimationen prospektiv erfasst, wovon 124 mit dem neuen Rettungsmittel erfolgt waren. Die Nachverfolgung der Patienten im Krankenhaus mit Hilfe der Arztbriefe gelang in 110 Fällen. Für die Detailauswertungen der AutoPulse®-Reanimationen (z.B. *hands-off-time* zur System-Anlage, *hands-off-ratio* verschiedener CPR-Abschnitte) war eine lückenlose elektronische Aufzeichnung der CPR notwendig. Deshalb konnten insgesamt 52 mechanische Reanimationen eingeschlossen werden. Trotz einer zunächst höheren Unterbrechungszeit ist die *hands-off-time* nach erfolgter Systemanlage unter mechanischer Reanimation im weiteren Verlauf im Trend niedriger als unter konventioneller manueller Herzdruckmassage. Die System-Anlage dauerte unter realen Einsatzbedingungen etwas länger und die Eintreffzeiten des Gerätes an der Einsatzstelle waren größer als erwartet. Abschließend lässt sich feststellen, dass auch unter mechanischer Reanimation das Überleben in den ersten 24 Stunden das gleiche Verteilungsmuster wie unter manueller Herzdruckmassage aufweist.

Die Daten dieser Arbeit zeigen, dass eine mechanische Reanimationshilfe wie das AutoPulse®-System der Firma Zoll sinnvoll in den CPR-Algorithmus der ERC-Richtlinien integriert werden kann, ohne dass dabei das Ziel einer möglichst geringen Unterbrechungszeit der Herzdruckmassage aufgeben zu müssen. Darüber hinaus ist nach entsprechendem Training der Anwender ein Einsatz des Geräts mit vertretbarer

Unterbrechung der Herzdruckmassage zur Anlage am Patienten unter realen und ständig wechselnden Einsatzsituationen möglich. Es konnten so die Voraussetzungen und Bedingungen für eine prospektiv-randomisierte vergleichende Untersuchung zwischen der manuellen und der mechanischen Reanimation geschaffen werden. Ob der Einsatz von solchen mechanischen Reanimationshilfen tatsächlich einen Einfluß auf das Überleben der Betroffenen haben kann, ist mit diesen Daten nicht zu beantworten und ist Gegenstand der im Anschluss geplanten Untersuchungen.

## 8 Anhang

Nr. Videofilm	Start der HDM	Zeitpunkt Rückmeldung an Rettungsleitstelle	Aufschneiden der Bekleidung	Anlage des AP-Systems [hh:mm:ss]	Hands-off-ratio manuelle CPR	Hands-off-ratio autom. Kompression
1	00:00:12	00:01:32	00:00:19	00:00:34	0,2	0,3
2	00:00:08	00:01:13	00:00:32	00:00:23	0,3	0,3
3	00:00:09	00:00:33	00:00:16	00:00:16	0,3	0,4
4	00:00:09	00:00:38	00:00:11	00:00:33	0,3	0,4
5	00:00:09	00:00:56	00:00:13	00:00:19	0,2	0,3
6	00:00:12	00:00:19	00:00:13	00:00:29	0,2	0,4
7	00:00:09	00:00:21	00:00:26	00:00:19	0,3	0,4
8	00:00:14	00:00:37	00:00:19	00:00:00	0	0,3
9	00:00:19	00:01:07	00:00:32	00:00:25	0,3	0,4
10	00:00:16	00:01:36	00:00:47	00:00:23	0,4	0,5
11	00:00:24	00:01:12	00:00:24	00:00:31	0,4	0,5
12	00:00:10	00:00:27	00:00:36	00:00:24	0,2	0,3
13	00:00:15	00:00:33	00:00:16	00:00:21	0,2	0,3
14	00:00:15	00:00:29	00:00:30	00:00:27	0,2	0,4
15	00:00:13	00:00:36	00:00:13	00:00:34	0,2	0,4
16	00:00:13	00:01:41	00:00:13	00:00:24	0,3	0,4
17	00:00:21	00:01:27	00:00:09	00:00:26	0,3	0,4
18	00:00:15	00:01:30	00:00:09	00:00:24	0,3	0,4
19	00:00:15	00:01:27	00:00:12	00:00:20	0,3	0,4
20	00:00:18	00:01:04	00:00:34	00:00:31	0,3	0,4
21	00:00:14	00:01:10	00:00:23	00:00:31	0,3	0,4
22	00:00:07	00:00:38	00:00:37	00:00:27	0,2	0,4
23	00:00:13	00:00:33	00:00:16	00:00:24	0,2	0,3
24	00:00:11	00:00:40	00:00:37	00:00:18	0,2	0,3
25	00:00:11	00:01:00	00:00:38	00:00:23	0,3	0,3
26	00:00:09	00:00:35	00:00:16	00:00:32	0,3	0,4
27	00:00:12	00:00:37	00:00:13	00:00:20	0,2	0,4
28	00:00:12	00:00:19	00:00:18	00:00:24	0,2	0,4
29	00:00:11	00:00:20	00:00:12	00:00:34	0,3	0,5
30	00:00:11	00:00:54	00:00:56	00:00:18	0,2	0,3
31	00:00:28	00:01:24	00:00:29	00:00:22	0,4	0,4
32	00:00:13	00:00:35	00:01:10	00:00:21	0,4	0,5

33	00:00:26	00:00:43	00:00:45	00:00:19	0,4	0,4
34	00:00:13	00:02:38	00:00:18	00:00:28	0,4	0,4
35	00:00:12	00:00:00	00:00:16	00:00:36	0,3	0,4
36	00:00:14	00:01:17	00:00:22	00:00:23	0,3	0,4
37	00:00:12	00:01:07	00:00:34	00:00:36	0,1	0,3
38	00:00:06	00:01:13	00:00:15	00:00:30	0,2	0,3

**Tab. 4: Datensatz des Simulationstrainings und der Videoanalyse. HDM = Herzdruckmassage, AP = AutoPulse®**



EK	m	81	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	k. Dat.	ja
HM	m	74	AP	00:01:00	00:12:23	00:09:01	0,6	0,5	AP	nein
MK	m	68	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	k. Dat.	nein
MP	w	95	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	k. Dat.	nein
LW	m	85	AP	00:00:35	00:06:52	00:01:46	0,5	0,4	AP	ja
MZ	m	71	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
KS	m	66	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	k. Dat.	nein
KN	w	45	AP	00:00:20	00:04:23	00:04:19	0,3	0,1	AP	nein
CK	m	32	AP	00:00:38	00:04:04	00:03:03	0,4	0,2	AP	nein
TF	m	57	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,2	ja
JH	m	79	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	ja
AR	w	87	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	k. Dat.	nein
LM	w	87	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	k. Dat.	nein
BL	m	26	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	k. Dat.	nein
GG	w	86	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,4	ja
JT	w	85	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
HS	m	71	AP	00:00:10	00:02:11	00:01:51	0,3	0,3	AP	nein
WO	m	59	AP	00:00:19	00:01:26	00:00:43	0,6	0,4	AP	ja
DW	w	87	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
FW	m	58	AP	00:00:38	00:14:01	00:04:18	0,2	0,3	AP	nein
UR	w	83	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,3	ja
EG	w	82	AP	00:00:40	00:05:26	00:01:33	0,4	0,3	AP	nein
WJ	m	85	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
MM	w	39	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
RH	m	78	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
HS	w	72	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
AB	m	73	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	k. Dat.	nein
DL	m	65	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	ja
OF	m	62	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
AS	m	72	AP	00:00:33	00:07:30	00:03:05	0,3	0,4	AP	nein
CK	m	49	AP	00:00:35	00:02:12	00:00:45	0,5	0,2	AP	k. Dat.
SM	m	74	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
MB	m	94	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	k. Dat.	nein
SK	m	51	AP	00:00:35	00:03:34	00:00:47	0,4	0,4	AP	ja
AM	w	73	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,3	ja
SA	m	66	AP	00:00:54	00:06:00	00:03:33	0,3	0,3	AP	nein
GW	w	75	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	k. Dat.
MB	w	65	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	ja
SW	m	67	AP	00:00:12	00:15:02	00:09:48	0,3	0,2	AP	nein
MB	w	27	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	k. Dat.
IJ	w	67	AP	00:01:00	00:05:52	00:05:44	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
EG	m	84	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,1	nein

HS	m	62	AP	00:00:30	00:04:52	00:04:52	0,2	0,3	AP	nein
WK	m	48	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.
KV	m	67	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,3	ja
PW	m	76	AP	00:00:40	00:04:00	00:04:00	0,5	0,4	AP	nein
IL	w	72	AP	00:01:22	00:02:42	00:02:42	0,4	0,2	AP	nein
WK	m	77	AP	00:00:41	00:10:01	00:03:02	0,4	0,4	AP	nein
MP	m	77	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	ja
NK	m	57	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	k. Dat.	ja
HS	m	62	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,5	nein
VF	m	78	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
JE	m	71	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	ja
GS	w	47	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
KL	m	55	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	k. Dat.	nein
WU	m	80	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	k. Dat.	nein
LH	m	74	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	ja
MC	w	70	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,4	nein
AK	m	82	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	k. Dat.	nein
IK	w	69	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,2	nein
RA	m	33	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	k. Dat.	ja
CS	w	86	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
RH	m	55	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,4	nein
FR	w	59	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	ja
MR	w	72	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,3	ja
MP	w	85	Man	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	nein
BB	m	55	AP	00:00:18	00:01:46	00:00:40	0,4	0,3	AP	ja
ZU	m	41	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,3	k. Dat.
PL	m	63	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,4	ja
HV	m	70	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	k. Dat.
WS	m	48	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,3	nein
MS	w	84	AP	00:00:52	00:02:16	00:02:06	0,4	0,2	AP	nein
HM	w	68	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,2	nein
JH	m	79	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
ES	w	81	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,3	nein
HK	w	78	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
IK	w	74	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,4	ja
AS	w	87	AP	00:00:54	00:12:00	00:12:00	0,4	0,4	AP	nein
MG	m	53	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	ja
RP	w	63	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
MM	w	76	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,5	ja
JD	w	17	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	k. Dat.
MK	w	48	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,3	nein
LS	m	79	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,2	nein



FB	m	52	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
WE	m	69	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,5	ja
WS	m	84	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
ER	w	80	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
FL	m	79	AP	00:00:32	00:08:24	00:07:18	0,4	0,3	AP	nein
PM	m	68	AP	00:00:10	00:11:50	00:08:07	0,3	0,3	AP	nein
FL	m	76	AP	00:00:52	00:05:22	00:05:22	0,5	0,4	AP	ja
JK	m	38	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	k. Dat.
MS	m	74	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
EN	w	91	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
JR	m	85	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	ja
EG	m	72	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	k. Dat.
RP	w	57	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	k. Dat.	nein
LW	m	52	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.
RT	m	63	AP	00:00:33	00:06:20	00:01:25	0,3	0,3	AP	ja
TB	m	43	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
MA	w	73	AP	Kol.n.Eintr.	Kol.n.Eintr.	Kol.n.Eintr.	k. Dat.	k. Dat.	AP	k. Dat.
WK	m	48	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,3	ja
ED	w	88	AP	00:00:22	00:04:12	00:00:40	k. Dat.	k. Dat.	AP	ja
EW	w	76	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	k. Dat.	nein
AW	w	83	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	k. Dat.	nein
GA	m	57	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
WR	m	63	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	ja
LB	w	73	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
WH	m	58	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
JS	w	87	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
GF	w	79	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	k. Dat.	nein
UK	w	76	AP	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	k. Dat.	AP	nein
HF	m	82	Man	man. CPR	man. CPR	man. CPR	man. CPR	k. Dat.	0,1	nein

**Tab. 5: Datensatz des Feldversuches. k. Dat. = keine Daten, AP = AutoPulse®, Man = Manuell, man. CPR = manuelle CPR, HDM = Herzdruckmassage**

## 9 Literaturverzeichnis

Auble TE, Menegazzi JJ, Paris PM. Effect of out-of-hospital defibrillation by basic life support providers on cardiac arrest mortality: a metaanalysis. *Ann.Emerg.Med.* 1995; 25: 642-648

Babbs CF, Kern KB. Optimum compression to ventilation ratios in CPR under realistic, practical conditions: a physiological and mathematical analysis. *Resuscitation* 2002; 54: 147-157

Bahr J, Klingler H, Panzer W, Rode H, Kettler D. Skills of lay people in checking the carotid pulse. *Resuscitation* 1997; 35: 23-26

Becker LB, Berg RA, Pepe PE, Idris AH, Aufderheide TP, Barnes TA, Stratton SJ, Chandra NC. A reappraisal of mouth-to-mouth ventilation during bystander-initiated cardiopulmonary resuscitation. A statement for healthcare professionals from the Ventilation Working Group of the Basic Life Support and Pediatric Life Support Subcommittees, American Heart Association. *Resuscitation* 1997; 35: 189-201

Bobrow BJ, Clark LL, Ewy GA, Chikani V, Sanders AB, Berg RA, Richman PB, Kern KB. Minimally interrupted cardiac resuscitation by emergency medical services for out-of-hospital cardiac arrest. *JAMA* 2008a; 299: 1158-1165

Bobrow BJ, Zuercher M, Ewy GA, Clark L, Chikani V, Donahue D, Sanders AB, Hilwig RW, Berg RA, Kern KB. Gasping during cardiac arrest in humans is frequent and associated with improved survival. *Circulation* 2008b; 118: 2550-2554

Caffrey S. Feasibility of public access to defibrillation. *Curr.Opin.Crit Care* 2002; 8: 195-198

Casner M, Andersen D, Isaacs SM. The impact of a new CPR assist device on rate of return of spontaneous circulation in out-of-hospital cardiac arrest. *Prehosp.Emerg.Care* 2005; 9: 61-67

Christenson J, Andrusiek D, Everson-Stewart S, Kudenchuk P, Hostler D, Powell J, Callaway CW, Bishop D, Vaillancourt C, Davis D, Aufderheide TP, Idris A, Stouffer JA, Stiell I, Berg R. Chest compression fraction determines survival in patients with out-of-hospital ventricular fibrillation. *Circulation* 2009; 120: 1241-1247

Clark JJ, Larsen MP, Culley LL, Graves JR, Eisenberg MS. Incidence of agonal respirations in sudden cardiac arrest. *Ann.Emerg.Med.* 1992; 21: 1464-1467

Cobb LA, Fahrenbruch CE, Olsufka M, Copass MK. Changing incidence of out-of-hospital ventricular fibrillation, 1980-2000. *JAMA* 2002; 288: 3008-3013

Cohen TJ, Tucker KJ, Redberg RF, Lurie KG, Chin MC, Dutton JP, Scheinman MM, Schiller NB, Callahan ML. Active compression-decompression resuscitation: a novel method of cardiopulmonary resuscitation. *Am.Heart J.* 1992; 124: 1145-1150

Cummins RO, Chamberlain DA, Abramson NS, Allen M, Baskett P, Becker L, Bossaert L, Delooy H, Dick W, Eisenberg M, . Recommended guidelines for uniform reporting of data from out-of-hospital cardiac arrest: the Utstein Style. Task Force of the American Heart Association, the European Resuscitation Council, the Heart and Stroke Foundation of Canada, and the Australian Resuscitation Council. *Ann.Emerg.Med.* 1991a; 20: 861-874

Cummins RO, Ornato JP, Thies WH, Pepe PE. Improving survival from sudden cardiac arrest: the "chain of survival" concept. A statement for health professionals from the Advanced Cardiac Life Support Subcommittee and the Emergency Cardiac Care Committee, American Heart Association. *Circulation* 1991b; 83: 1832-1847

Deakin CD, Nolan JP. European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2005. Section 3. Electrical therapies: automated external defibrillators, defibrillation, cardioversion and pacing. *Resuscitation* 2005; 67: 25-37

Deakin CD, Nolan JP, Soar J, Sunde K, Koster RW, Smith GB, Perkins GD. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010: Section 4. Adult advanced life support. *Resuscitation* 2010a; 81: 1305-1352

Deakin CD, Nolan JP, Sunde K, Koster RW. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010. Section 3: Electrical therapies: Automated external defibrillators, defibrillation, cardioversion and pacing. *Resuscitation* 2010b; 81: 1293-1304

Delguercio LR, Feins NR, Cohn JD, Coomaraswamy RP, Wollman SB, State D. Comparison of blood flow during external and internal cardiac massage in man. *Circulation* 1965; 31: 171-180

Ditchey RV, Goto Y, Lindenfeld J. Myocardial oxygen requirements during experimental cardiopulmonary resuscitation. *Cardiovasc.Res.* 1992; 26: 791-797

Dorph E, Wik L, Stromme TA, Eriksen M, Steen PA. Oxygen delivery and return of spontaneous circulation with ventilation:compression ratio 2:30 versus chest compressions only CPR in pigs. *Resuscitation* 2004; 60: 309-318

Duchateau FX, Gueye P, Curac S, Tubach F, Broche C, Plaisance P, Payen D, Mantz J, Ricard-Hibon A. Effect of the AutoPulse automated band chest compression device on hemodynamics in out-of-hospital cardiac arrest resuscitation. *Intensive Care Med.* 2010; 36: 1256-1260

Eberle B, Dick WF, Schneider T, Wisser G, Doetsch S, Tzanova I. Checking the carotid pulse check: diagnostic accuracy of first responders in patients with and without a pulse. *Resuscitation* 1996; 33: 107-116

Efrati O, Ben-Abraham R, Barak A, Modan-Moses D, Augarten A, Manisterski Y, Barzilay Z, Paret G. Endobronchial adrenaline: should it be reconsidered? Dose response and haemodynamic effect in dogs. *Resuscitation* 2003; 59: 117-122

Eftestol T, Sunde K, Ole AS, Husoy JH, Steen PA. Predicting outcome of defibrillation by spectral characterization and nonparametric classification of ventricular fibrillation in patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 2000; 102: 1523-1529

Elizur A, Ben-Abraham R, Manisterski Y, Barak A, Efrati O, Lotan D, Barzilay Z, Paret G. Tracheal epinephrine or norepinephrine preceded by beta blockade in a dog model. Can beta blockade bestow any benefits? *Resuscitation* 2003; 59: 271-276

Emerman CL, Pinchak AC, Hancock D, Hagen JF. Effect of injection site on circulation times during cardiac arrest. *Crit Care Med.* 1988; 16: 1138-1141

Ewy GA. Cardiocerebral resuscitation: the new cardiopulmonary resuscitation. *Circulation* 2005; 111: 2134-2142

Ewy GA, Hellman DA, McClung S, Taren D. Influence of ventilation phase on transthoracic impedance and defibrillation effectiveness. *Crit Care Med.* 1980; 8: 164-166

Fenici P, Idris AH, Lurie KG, Ursella S, Gabrielli A. What is the optimal chest compression-ventilation ratio? *Curr.Opin.Crit Care* 2005; 11: 204-211

Gatward JJ, Thomas MJ, Nolan JP, Cook TM. Effect of chest compressions on the time taken to insert airway devices in a manikin. *Br.J.Anaesth.* 2008; 100: 351-356

Glaeser PW, Hellmich TR, Szewczuga D, Losek JD, Smith DS. Five-year experience in prehospital intraosseous infusions in children and adults. *Ann.Emerg.Med.* 1993; 22: 1119-1124

Hallstrom A, Rea TD, Sayre MR, Christenson J, Anton AR, Mosesso VN, Jr., Van OL, Olsufka M, Pennington S, White LJ, Yahn S, Husar J, Morris MF, Cobb LA. Manual chest compression vs use of an automated chest compression device during resuscitation following out-of-hospital cardiac arrest: a randomized trial. *JAMA* 2006; 295: 2620-2628

Haukoos JS, Witt G, Gravitz C, Dean J, Jackson DM, Candlin T, Vellman P, Riccio J, Heard K, Kazutomi T, Luyten D, Pineda G, Gunter J, Biltoft J, Colwell C. Out-of-hospital cardiac arrest in denver, colorado: epidemiology and outcomes. *Acad.Emerg.Med.* 2010; 17: 391-398

Hess EP, White RD. Ventricular fibrillation is not provoked by chest compression during post-shock organized rhythms in out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2005; 66: 7-11

Hightower D, Thomas SH, Stone CK, Dunn K, March JA. Decay in quality of closed-chest compressions over time. *Ann.Emerg.Med.* 1995; 26: 300-303

Holmberg M, Holmberg S, Herlitz J. Effect of bystander cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest patients in Sweden. *Resuscitation* 2000; 47: 59-70

Hostler D, Guimond G, Callaway C. A comparison of CPR delivery with various compression-to-ventilation ratios during two-rescuer CPR. *Resuscitation* 2005; 65: 325-328

Ikeno F, Kaneda H, Hongo Y, Sakanoue Y, Nolasco C, Emami S, Lyons J, Rezaee M. Augmentation of tissue perfusion by a novel compression device increases neurologically intact survival in a porcine model of prolonged cardiac arrest. *Resuscitation* 2006; 68: 109-118

Iwami T, Kawamura T, Hiraide A, Berg RA, Hayashi Y, Nishiuchi T, Kajino K, Yonemoto N, Yukioka H, Sugimoto H, Kakuchi H, Sase K, Yokoyama H, Nonogi H. Effectiveness of bystander-initiated cardiac-only resuscitation for patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 2007; 116: 2900-2907

Jemmett ME, Kendal KM, Fourre MW, Burton JH. Unrecognized misplacement of endotracheal tubes in a mixed urban to rural emergency medical services setting. *Acad.Emerg.Med.* 2003; 10: 961-965

Jiang C, Zhao Y, Chen Z, Chen S, Yang X. Improving cardiopulmonary resuscitation in the emergency department by real-time video recording and regular feedback learning. *Resuscitation* 2010; 81: 1664-1669

Jones JH, Murphy MP, Dickson RL, Somerville GG, Brizendine EJ. Emergency physician-verified out-of-hospital intubation: miss rates by paramedics. *Acad.Emerg.Med.* 2004; 11: 707-709

Katz SH, Falk JL. Misplaced endotracheal tubes by paramedics in an urban emergency medical services system. *Ann.Emerg.Med.* 2001; 37: 32-37

Kern KB, Garewal HS, Sanders AB, Janas W, Nelson J, Sloan D, Tacker WA, Ewy GA. Depletion of myocardial adenosine triphosphate during prolonged untreated ventricular fibrillation: effect on defibrillation success. *Resuscitation* 1990; 20: 221-229

Kern KB, Hilwig RW, Berg RA, Ewy GA. Efficacy of chest compression-only BLS CPR in the presence of an occluded airway. *Resuscitation* 1998; 39: 179-188

Kern KB, Hilwig RW, Berg RA, Sanders AB, Ewy GA. Importance of continuous chest compressions during cardiopulmonary resuscitation: improved outcome during a simulated single lay-rescuer scenario. *Circulation* 2002; 105: 645-649

Koster RW, Baubin MA, Bossaert LL, Caballero A, Cassan P, Castren M, Granja C, Handley AJ, Monsieurs KG, Perkins GD, Raffay V, Sandroni C. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010: Section 2. Adult basic life support and use of automated external defibrillators. *Resuscitation* 2010; 81: 1277-1292

Krep H, Mamier M, Breil M, Heister U, Fischer M, Hoefft A. Out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation with the AutoPulse system: a prospective observational study with a new load-distributing band chest compression device. *Resuscitation* 2007; 73: 86-95

Lafuente-Lafuente C, Melero-Bascones M. Active chest compression-decompression for cardiopulmonary resuscitation. *Cochrane.Database.Syst.Rev.* 2004; 2: 1-41

Lapostolle F, Agostinucci JM, Bertrand P, Catineau J, Chassery C, Kessler M, Galinski M, Adnet F. Use of an automated device for external chest compressions by first-aid workers unfamiliar with the device: a step toward public access? *Acad.Emerg.Med.* 2009; 16: 1374-1377

Lapostolle F, Le TP, Agostinucci JM, Catineau J, Adnet F. Basic cardiac life support providers checking the carotid pulse: performance, degree of conviction, and influencing factors. *Acad.Emerg.Med.* 2004; 11: 878-880

Larsen MP, Eisenberg MS, Cummins RO, Hallstrom AP. Predicting survival from out-of-hospital cardiac arrest: a graphic model. *Ann.Emerg.Med.* 1993; 22: 1652-1658

Laver S, Farrow C, Turner D, Nolan J. Mode of death after admission to an intensive care unit following cardiac arrest. *Intensive Care Med.* 2004; 30: 2126-2128

Losert H, Sterz F, Kohler K, Sodeck G, Fleischhackl R, Eisenburger P, Kliegel A, Herkner H, Myklebust H, Nysaether J, Laggner AN. Quality of cardiopulmonary resuscitation among highly trained staff in an emergency department setting. *Arch.Intern.Med.* 2006; 166: 2375-2380

Lown B, Amarasingham R, Neuman J. New method for terminating cardiac arrhythmias. Use of synchronized capacitor discharge. *JAMA* 1962; 182: 548-555

Mithoefer JC, Mead G, Hughes JM, Iliff LD, Campbell EJ. A method of distinguishing death due to cardiac arrest from asphyxia. *Lancet* 1967; 2: 654-656

Morozumi J, Sakurai E, Matsuno N, Ito M, Yokoyama T, Ohtaka Y, Taguchi H, Arai T, Kumasaka K, Ohta S. Successful kidney transplantation from donation after cardiac death using a load-distributing-band chest compression device during long warm ischemic time. *Resuscitation* 2009; 80: 278-280

Moule P. Checking the carotid pulse: diagnostic accuracy in students of the healthcare professions. *Resuscitation* 2000; 44: 195-201

Nagao K, Sakamoto T, SOS-KANTO study group. Cardiopulmonary resuscitation by bystanders with chest compression only (SOS-KANTO): an observational study. *Lancet* 2007; 369: 920-926

Noc M, Weil MH, Gazmuri RJ, Sun S, Biscera J, Tang W. Ventricular fibrillation voltage as a monitor of the effectiveness of cardiopulmonary resuscitation. *J.Lab Clin.Med.* 1994; 124: 421-426

Nolan JP, Soar J. Postresuscitation care: entering a new era. *Curr.Opin.Crit Care* 2010; 16: 216-222

Nyman J, Sihvonen M. Cardiopulmonary resuscitation skills in nurses and nursing students. *Resuscitation* 2000; 47: 179-184

O'Rourke MF, Donaldson E, Geddes JS. An airline cardiac arrest program. *Circulation* 1997; 96: 2849-2853

Ocklitz A. [Artificial respiration with technical aids already 5000 years ago?]. *Anaesthesist* 1996; 45: 19-21

Olasveengen TM, Sunde K, Brunborg C, Thowsen J, Steen PA, Wik L. Intravenous drug administration during out-of-hospital cardiac arrest: a randomized trial. *JAMA* 2009; 302: 2222-2229

Ong ME, Ornato JP, Edwards DP, Dhindsa HS, Best AM, Ines CS, Hickey S, Clark B, Williams DC, Powell RG, Overton JL, Peberdy MA. Use of an automated, load-distributing band chest compression device for out-of-hospital cardiac arrest resuscitation. *JAMA* 2006; 295: 2629-2637

Orliaguet GA, Carli PA, Rozenberg A, Janniere D, Sauval P, Delpech P. End-tidal carbon dioxide during out-of-hospital cardiac arrest resuscitation: comparison of active compression-decompression and standard CPR. *Ann.Emerg.Med.* 1995; 25: 48-51

Ornato JP, Hallagan LF, McMahan SB, Peeples EH, Rostafinski AG. Attitudes of BCLS instructors about mouth-to-mouth resuscitation during the AIDS epidemic. *Ann.Emerg.Med.* 1990; 19: 151-156

Page RL, Hamdan MH, McKenas DK. Defibrillation aboard a commercial aircraft. *Circulation* 1998; 97: 1429-1430

Page S, Meerabeau L. Achieving change through reflective practice: closing the loop. *Nurse Educ.Today* 2000; 20: 365-372

Paradis NA, Martin GB, Goetting MG, Rosenberg JM, Rivers EP, Appleton TJ, Nowak RM. Simultaneous aortic, jugular bulb, and right atrial pressures during cardiopulmonary resuscitation in humans. Insights into mechanisms. *Circulation* 1989; 80: 361-368

Paradis NA, Young G, Lemeshow S, Brewer JE, Halperin HR. Inhomogeneity and temporal effects in AutoPulse Assisted Prehospital International Resuscitation--an exception from consent trial terminated early. *Am.J.Emerg.Med.* 2010; 28: 391-398

Pell JP, Sirel JM, Marsden AK, Ford I, Walker NL, Cobbe SM. Presentation, management, and outcome of out of hospital cardiopulmonary arrest: comparison by underlying aetiology. *Heart* 2003; 89: 839-842

Pellis T, Kette F, Lovisa D, Franceschino E, Magagnin L, Mercante WP, Kohl P. Utility of pre-cordial thump for treatment of out of hospital cardiac arrest: a prospective study. *Resuscitation* 2009; 80: 17-23

Perkins GD, Stephenson B, Hulme J, Monsieurs KG. Birmingham assessment of breathing study (BABS). *Resuscitation* 2005; 64: 109-113

Rea TD, Eisenberg MS, Sinibaldi G, White RD. Incidence of EMS-treated out-of-hospital cardiac arrest in the United States. *Resuscitation* 2004; 63: 17-24

Rea TD, Shah S, Kudenchuk PJ, Copass MK, Cobb LA. Automated external defibrillators: to what extent does the algorithm delay CPR? *Ann.Emerg.Med.* 2005; 46: 132-141

Ruppert M, Reith MW, Widmann JH, Lackner CK, Kerkmann R, Schweiberer L, Peter K. Checking for breathing: evaluation of the diagnostic capability of emergency medical services personnel, physicians, medical students, and medical laypersons. *Ann.Emerg.Med.* 1999; 34: 720-729

Safar P, Brown TC, Holtey WJ, Wilder RJ. Ventilation and circulation with closed-chest cardiac massage in man. *JAMA* 1961; 176: 574-576

Sans S, Kesteloot H, Kromhout D. The burden of cardiovascular diseases mortality in Europe. Task Force of the European Society of Cardiology on Cardiovascular Mortality and Morbidity Statistics in Europe. *Eur.Heart J.* 1997; 18: 1231-1248

Stiell IG, Wells GA, DeMaio VJ, Spaite DW, Field BJ, III, Munkley DP, Lyver MB, Luinstra LG, Ward R. Modifiable factors associated with improved cardiac arrest survival in a multicenter basic life support/defibrillation system: OPALS Study Phase I results. Ontario Prehospital Advanced Life Support. *Ann.Emerg.Med.* 1999a; 33: 44-50

Stiell IG, Wells GA, Field BJ, Spaitte DW, De Maio VJ, Ward R, Munkley DP, Lyver MB, Luinstra LG, Campeau T, Maloney J, Dagnone E. Improved out-of-hospital cardiac arrest survival through the inexpensive optimization of an existing defibrillation program: OPALS study phase II. Ontario Prehospital Advanced Life Support. JAMA 1999b; 281: 1175-1181

Swor RA, Jackson RE, Cynar M, Sadler E, Basse E, Boji B, Rivera-Rivera EJ, Maher A, Grubb W, Jacobson R, . Bystander CPR, ventricular fibrillation, and survival in witnessed, unmonitored out-of-hospital cardiac arrest. Ann.Emerg.Med. 1995; 25: 780-784

Tibballs J, Russell P. Reliability of pulse palpation by healthcare personnel to diagnose paediatric cardiac arrest. Resuscitation 2009; 80: 61-64

Timerman S, Cardoso LF, Ramires JA, Halperin H. Improved hemodynamic performance with a novel chest compression device during treatment of in-hospital cardiac arrest. Resuscitation 2004; 61: 273-280

Tomte O, Sunde K, Lorem T, Auestad B, Souders C, Jensen J, Wik L. Advanced life support performance with manual and mechanical chest compressions in a randomized, multicentre manikin study. Resuscitation 2009; 80: 1152-1157

Vaillancourt C, Stiell IG. Cardiac arrest care and emergency medical services in Canada. Can.J.Cardiol. 2004; 20: 1081-1090

Vaillancourt C, Verma A, Trickett J, Crete D, Beaudoin T, Nesbitt L, Wells GA, Stiell IG. Evaluating the effectiveness of dispatch-assisted cardiopulmonary resuscitation instructions. Acad.Emerg.Med. 2007; 14: 877-883

Vaknin Z, Manisterski Y, Ben-Abraham R, Efrati O, Lotan D, Barzilay Z, Paret G. Is endotracheal adrenaline deleterious because of the beta adrenergic effect? Anesth.Analg. 2001; 92: 1408-1412

Valenzuela TD, Roe DJ, Cretin S, Spaite DW, Larsen MP. Estimating effectiveness of cardiac arrest interventions: a logistic regression survival model. *Circulation* 1997; 96: 3308-3313

Valenzuela TD, Roe DJ, Nichol G, Clark LL, Spaite DW, Hardman RG. Outcomes of rapid defibrillation by security officers after cardiac arrest in casinos. *N.Engl.J.Med.* 2000; 343: 1206-1209

van Alem AP, Sanou BT, Koster RW. Interruption of cardiopulmonary resuscitation with the use of the automated external defibrillator in out-of-hospital cardiac arrest. *Ann.Emerg.Med.* 2003a; 42: 449-457

van Alem AP, Vrenken RH, de VR, Tijssen JG, Koster RW. Use of automated external defibrillator by first responders in out of hospital cardiac arrest: prospective controlled trial. *BMJ* 2003b; 327: 1312-1317

Ventzke MM, Gassler H, Brucke M, Helm M. [Modified two-rescuer resuscitation algorithm. Alternative for international missions of the German Armed Forces!]. *Anaesthesist* 2011; 60: 49-56

Waalewijn RA, de VR, Koster RW. Out-of-hospital cardiac arrests in Amsterdam and its surrounding areas: results from the Amsterdam resuscitation study (ARREST) in 'Utstein' style. *Resuscitation* 1998; 38: 157-167

Waalewijn RA, de VR, Tijssen JG, Koster RW. Survival models for out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation from the perspectives of the bystander, the first responder, and the paramedic. *Resuscitation* 2001; 51: 113-122

Waalewijn RA, Nijpels MA, Tijssen JG, Koster RW. Prevention of deterioration of ventricular fibrillation by basic life support during out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2002; 54: 31-36

Weaver WD, Hill D, Fahrenbruch CE, Copass MK, Martin JS, Cobb LA, Hallstrom AP. Use of the automatic external defibrillator in the management of out-of-hospital cardiac arrest. *N.Engl.J.Med.* 1988; 319: 661-666

Weisfeldt ML, Sitlani CM, Ornato JP, Rea T, Aufderheide TP, Davis D, Dreyer J, Hess EP, Jui J, Maloney J, Sopko G, Powell J, Nichol G, Morrison LJ. Survival after application of automatic external defibrillators before arrival of the emergency medical system: evaluation in the resuscitation outcomes consortium population of 21 million. *J.Am.Coll.Cardiol.* 2010; 55: 1713-1720

Wenger NK. Clinical characteristics of coronary heart disease in women: emphasis on gender differences. *Cardiovasc.Res.* 2002; 53: 558-567

Wenzel V, Lindner KH, Augenstein S, Voelckel W, Strohmenger HU, Prengel AW, Steinbach G. Intraosseous vasopressin improves coronary perfusion pressure rapidly during cardiopulmonary resuscitation in pigs. *Crit Care Med.* 1999; 27: 1565-1569

Wiese CH, Bartels U, Schultens A, Steffen T, Torney A, Bahr J, Graf BM. Using a Laryngeal Tube Suction-Device (LTS-D) Reduces the "No Flow Time" in a Single Rescuer Manikin Study. *J.Emerg.Med.* 2009; 36: 1-6

Wik L, Kramer-Johansen J, Myklebust H, Sorebo H, Svensson L, Fellows B, Steen PA. Quality of cardiopulmonary resuscitation during out-of-hospital cardiac arrest. *JAMA* 2005; 293: 299-304

Wolfe JA, Maier GW, Newton JR, Jr., Glower DD, Tyson GS, Jr., Spratt JA, Rankin JS, Olsen CO. Physiologic determinants of coronary blood flow during external cardiac massage. *J.Thorac.Cardiovasc.Surg.* 1988; 95: 523-532

Zheng ZJ, Croft JB, Giles WH, Mensah GA. Sudden cardiac death in the United States, 1989 to 1998. *Circulation* 2001; 104: 2158-2163

## 10 Danksagung

Ich möchte mich herzlichst bei Herrn Priv.-Doz. Dr. med. G. Baumgarten, geschäftsführender Oberarzt der Klinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin der Universitätsklinik Bonn, für die Überlassung des Themas dieser Dissertation bedanken. Seine Motivation sowie seine freundlichen und aufmunternden Worte während des Abfassens dieser Arbeit waren eine große Hilfe für mich.

Herrn Dr. med. M. Breil danke ich für die Betreuung und für die konstruktive Kritik während der gesamten Arbeitsphase dieser Studie.

Herrn Dr. med. U. Heister, Ärztlicher Leiter Rettungsdienst der Bundesstadt Bonn und Oberarzt der Klinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin der Universitätsklinik Bonn, danke ich sehr herzlich für seine tatkräftige Unterstützung im Rahmen der Datenerhebung dieser Arbeit.

Mein ganz besonderer Dank gilt den Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Rettungsdienstes der Stadt Bonn, die durch ihr Engagement überhaupt erst eine solche Studie ermöglicht haben.

Bei Herrn Dr. med. O. Boehm möchte ich mich vor allem für sein außerordentliches Engagement während des Abfassens dieser Arbeit bedanken.

Meiner Freundin, Frau Diplom-Medienökonomin (FH) Fabienne Dienstbier, danke ich von Herzen für die stetigen aufmunternden Worte, wenn mich wieder mal der Mut zu verlassen drohte. Auch danke ich ganz lieb dafür, dass sie stets Verständnis zeigte, wenn ich das Bearbeiten dieser Aufgabe unserer gemeinsamen Freizeit vorziehen musste.

Ich danke meinem Freund, Kommilitonen und ehemaligen Mitbewohner, Dr. med. dent. C. Fischer, für seine Aufmunterungen und seine moralische Unterstützung während unserer gemeinsamen Studienzeiten in Bonn.

Den größten Dank möchte ich gegenüber meiner Familie aussprechen, insbesondere meiner Mama, die immer für mich da ist und die mir überhaupt erst meinen Berufswunsch mit viel Fleiß, Mühe und Aufopferung ermöglichen konnte.