

Technische Universität München
Fakultät für Medizin
Klinik für Anästhesiologie

**Implementierung eines modularen Reanimationstrainings
mit objektiver Leistungsbewertung und Untersuchung der
Auswirkungen von Reanimationsrichtlinien auf die
Reanimationsleistung**

Valentin Mayer



Technische Universität München
Fakultät für Medizin
Klinik für Anästhesiologie

**Implementierung eines modularen Reanimationstrainings
mit objektiver Leistungsbewertung und Untersuchung der
Auswirkungen von Reanimationsrichtlinien auf die
Reanimationsleistung**

Valentin Mayer

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Medizin

genehmigten Dissertation.

Vorsitzende(r): Univ.-Prof. Dr. E. J. Rummeny

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. G. Schneider
2. Univ.-Prof. Dr. E. Kochs

Die Dissertation wurde am 17.11.2014 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 15.07.2015 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	7
1 Einleitung und Aufgabenstellung.....	9
1.1 Einleitung.....	9
1.2 Aufgabenstellung.....	14
2 Material und Methoden.....	15
2.1 Design eines standardisierten simulationsbasierten ALS-Kurses.....	15
2.2 Entwicklung eines Verfahrens zur objektiven Messung der Leistung am Reanimationssimulator.....	20
2.2.1 Der Emergency Care Simulator und seine Funktionsweise.....	20
2.2.2 Standardisierung des Ausgangsstatus mittels Patienten-Skript.....	23
2.2.3 Standardisierung der Simulation mittels Szenario-Skript.....	25
2.2.4 Makrogestützte Extraktion qualitätsbestimmender Variablen.....	30
2.3 Überprüfung der Validität des Evaluationsverfahrens mit Besatzungen eines Notarztwagens.....	33
2.4 Evaluation des Einflusses der Reanimationsleitlinien von 2005 und 2010 auf die Reanimationsleistung und Evaluation des Lernfortschrittes in simulationsbasierten Reanimationstrainings.....	34
2.4.1 Datenerhebung.....	34

2.4.2	Evaluation des Einflusses unterschiedlicher Reanimationsleitlinien auf die Leistung der Kursteilnehmer	36
2.4.3	Evaluation des Einflusses des initialen Herzrhythmus auf die Leistung der Kursteilnehmer	38
2.4.4	Evaluation des Lernfortschritts im Kursverlauf	38
2.4.5	Statistische Analyse	38
3	Ergebnisse	39
3.1	Auswertung der von Notarztwagenbesatzungen durchgeführten Reanimationen.....	39
3.2	Auswertung der Reanimationen in den Reanimationstrainings.....	40
3.2.1	Demographische Daten der Versuchsgruppe.....	40
3.2.2	Einschlussprozess der Szenarien.....	43
3.2.3	Vergleich der Reanimationsszenarien in Bezug auf die zugrunde liegenden Reanimationsleitlinien	44
3.2.4	Vergleich der Reanimationsszenarien hinsichtlich des initialen Herzrhythmus	49
3.2.5	Vergleich der einzelnen Kursmodule	50
4	Diskussion.....	52
4.1	Beurteilung des Leitlinienvergleichs.....	52
4.1.1	Limitationen	58

4.2	Beurteilung des Evaluationsverfahrens.....	59
4.2.1	Limitationen	64
4.3	Beurteilung des Kurscurriculums	66
4.3.1	Limitationen	71
5	Folgerungen und Ausblick.....	74
6	Abbildungsverzeichnis.....	75
7	Verzeichnis der Tabellen.....	75
8	Quellenverzeichnis.....	76
9	Anhang.....	87
9.1	Programmcode des Patienten-Skriptes zur Darstellung eines Patienten mit Kammerflimmern.....	87
9.2	Programmcode des Standardszenarios.....	93
9.3	Programmcode des Visual Basic Makro zur automatisierten Extraktion qualitätsbestimmender Parameter	94
9.3.1	Modul 1 zur Extraktion des medianen Cardiac output aus dem Physio- Log	94
9.3.2	Modul 2 zur Extraktion der weiteren Qualitätsindikatoren aus dem Event-Log.....	98
9.4	Fragebogen zu demographischen Daten der Studienteilnehmer	104
10	Danksagung.....	105

Abkürzungsverzeichnis

ALS	Advanced Life Support
BLS	Basic Life Support
CF-LV	contractility factor left ventricle
CF-RV	contractility factor right ventricle
CO	Cardiac output, Herzzeitvolumen
CPR	kardio-pulmonale Reanimation
CRM	Crisis Resource Management
CRO	cardiac rhythm override
cVF	coarse ventricular fibrillation
ECS	Emergency Care Simulator
EKG	Elektrokardiogramm
ERC	European Resuscitation Council
HDM	Herzdruckmassage
IIS	ischemic index sensitivity
ILCOR	International Liaison Committee on Resuscitation
LL2005	Reanimationsleitlinien des European Resuscitation Council von 2005
LL2010	Reanimationsleitlinien des European Resuscitation Council von 2010
LLV	left lung volume

METI	Medical Education Technology Incorporation
NAW	Notarzwagen
$p_A\text{CO}_2$	Alveolärer Kohlenstoffdioxidpartialdruck
$p_a\text{CO}_2$	Arterieller Kohlenstoffdioxidpartialdruck
$p_A\text{O}_2$	Alveolärer Sauerstoffpartialdruck
$p_a\text{O}_2$	Arterieller Sauerstoffpartialdruck
PEA	pulslose elektrische Aktivität
pVT	pulslose ventrikuläre Tachykardie
ROSC	return of spontaneous circulation, Wiedereintritt eines Spontankreislaufes
SBP	systolic blood pressure
$S_p\text{O}_2$	Periphere Sauerstoffsättigung
SR	Sinusrhythmus
t	time in state
USA	United States of America
VF	ventricular fibrillation, Kammerflimmern

1 Einleitung und Aufgabenstellung

1.1 Einleitung

Auch über 50 Jahre nach Einführung der kardio-pulmonalen Reanimation (CPR) im Jahre 1960 durch Kouwenhoven (Thorén et al., 2001) sind die Überlebensraten noch immer niedrig: von den präklinisch reanimierten Patienten überleben lediglich 10,0 % (Berdowski et al., 2010), von den innerhalb des Krankenhauses reanimierten Patienten werden 17,6 % lebend entlassen (Nolan et al., 2010). Daher besteht ein großer ethischer wie auch gesundheitsökonomischer Druck, alle erdenklichen Anstrengungen zu unternehmen, um die Überlebenschancen nach einem Herzstillstand zu erhöhen und das Outcome zu verbessern. Dies gilt umso mehr, da in etlichen Studien gezeigt wurde, dass die Reanimationsleistung in vielen Fällen schlecht ist und nicht die Standards der publizierten Leitlinien erreicht, eine Feststellung, die sich gleichermaßen für Laien (Brennan und Braslow, 1995, 1998) wie für professionelle Helfer (Losert et al., 2006; Thorén et al., 2001) treffen ließ und die für präklinische Reanimationen (Wik et al., 2005) ebenso wie für Reanimationen innerhalb des Krankenhauses (Abella et al., 2005; Thorén et al., 2001) galt.

Defizite in der Lehre konnten in vielen Studien aufgezeigt werden, so dass die mangelhafte Qualität der Reanimation immer wieder mit einer mangelhaften Lehre in Verbindung gebracht wurde (Parnell und Larsen, 2007). Weit verbreitete Probleme sind eine zu knapp bemessene Übungszeit, unzureichendes Feedback und ungenügende Korrektur von Fehlern durch die Instruktoren (Kaye et al., 1991; Brennan und Braslow, 1995; Chamberlain und Hazinski, 2003), inadäquate Beurteilung der erbrachten Leistung (Kaye et al., 1991; Brennan und Braslow, 1995) sowie Abweichungen vom Kurscurriculum (Kaye et al., 1991; Batcheller et al., 2000).

Ein wichtiger Ansatzpunkt, um die Überlebensrate der Patienten zu erhöhen, liegt daher in der Verbesserung der Ausbildung (Chamberlain und Hazinski, 2003; Soar et al., 2010). Chamberlain und Hazinski forderten 2003 in einer Übersichtsarbeit zum Thema Ausbildung im Auftrag des International Liaison Committee on Resuscitation (*ILCOR*), dass Reanimationstrainings auf die Bedürfnisse der Teilnehmer ausgerichtet sein müssen (Chamberlain und Hazinski, 2003). Allgemein empfohlen wird hierzu Szenario-basierte Kleingruppenarbeit unter Einbeziehung hochrealistischer Patientensimulatoren sowie das Training sogenannter nicht-technischer Fähigkeiten wie das Management von Ressourcen (Crisis Resource Management Training) (Chamberlain und Hazinski, 2003; Soar et al., 2010). Diese simulationsbasierten Curricula sollen eine Vor- und Nachbesprechung (Briefing und Debriefing) des Szenarios mit möglichst einfach gehaltenen Anweisungen und konstruktivem Feedback umfassen (Soar et al., 2010; Wik et al., 2002; Saraç und Ok, 2010; Hunziker et al., 2010). Wenn die Ergebnisse eines objektiven Instruments zur Messung der Behandlungsqualität den Instruktoren unmittelbar nach dem Szenario bereits für die Nachbesprechung zur Verfügung stehen, so kann dies aufgrund des fokussierten Feedbacks die didaktische Qualität steigern und dann scheint ein Debriefing eine effektive Methode zur Steigerung der Reanimationsleistung zu sein (Soar et al., 2010).

Bisher wurden zur Evaluation der Qualität der Reanimation vor allem Checklisten eingesetzt (Brennan und Braslow, 1998; Wayne et al., 2005; Wayne, Siddall et al., 2006; Wayne, Butter et al., 2006; Owen et al., 2006; Christenson et al., 2007; Mäkinen et al., 2007; Cooper et al., 2010), teilweise unterstützt durch Aufzeichnungen eines Reanimationsphantoms (Berden et al., 1992; Brennan und Braslow, 1995; Brennan et al., 1996; Jansen et al., 1997; Thorén et al., 2001); diese

Checklisten wurden aber aufgrund erheblicher Variabilität zwischen verschiedenen Beobachtern und einer Überschätzung der Leistung der Teilnehmer häufig als unzuverlässig kritisiert (Jansen et al., 1997; Perkins et al., 2001; Ringsted et al., 2007). Daher wurde eine Objektivierung der Parameter durch ein entsprechend instrumentalisiertes Mannequin empfohlen (Brennan et al., 1996). Trotz der Vielzahl an vorgestellten unterschiedlichen Assessmentmethoden gibt es bisher nur wenige reproduzierbare objektive Tests und nur selten werden Angaben zu Reliabilität und Validität der verwendeten Methode gemacht (Brennan et al., 1996). Die Implementierung einer geeigneten, möglichst objektiven Assessmentmethodik in ein Reanimationstraining ist also weiterhin einer der entscheidenden Schritte bei der Konzipierung neuer Lehrgangsformen (Chamberlain und Hazinski, 2003).

Die zweite wichtige Säule zur Verbesserung der Überlebensrate liegt in der Verbesserung der Behandlungsmethoden und –techniken entsprechend der aktuellen wissenschaftlichen Evidenz (Soar et al., 2010). Seit seiner Gründung im Jahre 1992 identifiziert das *ILCOR* nachgewiesene nützliche Behandlungsmethoden anhand der aktuellen Literatur und veröffentlicht in 5-Jahres-Zyklen evidenzbasierte Behandlungsempfehlungen; auf deren Basis wiederum aktualisiert das European Resuscitation Council (*ERC*) seine Reanimationsleitlinien ebenfalls alle 5 Jahre (Nolan et al., 2010). Die aktuellen Leitlinien des *ERC* stammen aus dem Oktober 2010 und ersetzen die Leitlinien aus dem Jahr 2005.

Die wesentlichen Änderungen bei der letzten Aktualisierung 2010 waren die Forderungen nach einer weiteren Minimierung von Unterbrechungen der Herzdruckmassage und nach einer Steigerung der Qualität der Thoraxkompressionen (Nolan, 2005; Deakin et al., 2010). Darüber hinaus erfolgten evidenzbasierte Anpassungen der Empfehlungen zur medikamentösen Therapie und zur

Vermeidung einer Hyperventilation (Deakin et al., 2010). Nicht zuletzt stand auch eine Vereinfachung des Algorithmus des Advanced Life Support (ALS) im Fokus, da die Qualität der Reanimation in den Studien umso schlechter war, je komplexer die zugrunde liegenden Leitlinien waren (Olasveengen et al., 2007), und da häufig von den Leitlinien abgewichen wurde (Thorén et al., 2001).

Die Reanimationsleitlinien von 2005 (LL2005) und die Leitlinien 2010 (LL2010) sind vergleichend in Tabelle 1 dargestellt.

Lediglich in zwei Studien wurde bisher die Qualität der Reanimation unmittelbar vor und nach Änderung der Leitlinien verglichen (Perkins et al., 2008; Ilper et al., 2012): In beiden Studien konnte nach Implementierung der Leitlinien von 2005 eine Reduktion der Zeit ohne Thoraxkompressionen (No-flow-Zeit) nachgewiesen werden, andere wesentliche Aspekte der Reanimationsqualität blieben jedoch unbeeinflusst. Eine Untersuchung des Einflusses der jüngsten Leitlinien auf die Qualität von Reanimationen steht bisher aus.

ERC-Leitlinien 2005	Thema	ERC-Leitlinien 2010
In Fällen mit längerer Dauer bis zum Beginn der Wiederbelebung wird CPR für einen vordefinierten Zeitraum vor der ersten Defibrillation empfohlen	Zeitpunkt der ersten Defibrillation	CPR bis ein Defibrillator einsatzbereit ist, dann Defibrillation so schnell wie möglich
<ul style="list-style-type: none"> Abgabe einzelner Schocks Wiederaufnahme der CPR ohne Rhythmusanalyse Rhythmusanalysen alle zwei Minuten 	Defibrillation	<ul style="list-style-type: none"> Abgabe einzelner Schocks Wiederaufnahme der CPR ohne Rhythmusanalyse Rhythmusanalysen alle zwei Minuten Wiederaufnahme der Thoraxkompressionen während des Ladevorgangs Die Thoraxkompressionen dürfen für die Defibrillation nicht länger als 5 Sekunden unterbrochen werden
Etwa 100 /min	Rate der Thoraxkompressionen	Mindestens 100 /min, aber nicht mehr als 120 /min
4-5 cm	Tiefe der Thoraxkompressionen	Mindestens 5 cm, aber nicht mehr 6 cm
30:2	Verhältnis von Thoraxkompressionen zu Beatmungen	30:2
<ul style="list-style-type: none"> VF/pVT: 1 mg Adrenalin i.v. vor der dritten Defibrillation Nicht defibrillationswürdiger Rhythmus: 1 mg Adrenalin i.v. sobald i.v.-Zugang verfügbar ist 	Adrenalingabe	<ul style="list-style-type: none"> VF/pVT: 1 mg Adrenalin i.v. nach der dritten Defibrillation Nicht defibrillationswürdiger Rhythmus: 1 mg Adrenalin i.v. sobald i.v.-Zugang verfügbar ist
300 mg Amiodaron i.v., wenn VF/pVT nach der dritten Defibrillation persistiert	Amiodarongabe	300 mg Amiodaron i.v. direkt nach der dritten Defibrillation
3 mg Atropin bei Asystolie und langsamer PEA	Atropingabe	Routinemäßige Verwendung von Atropin wird nicht länger empfohlen
Peripher-venöser oder intraossärer Zugang; endobronchiale Gabe, wenn i.v.- und i.o.-Zugang nicht geschaffen werden können	Zugangswege für die Medikamentengabe	Peripher-venöser oder intraossärer Zugang, endobronchiale Gabe nicht empfohlen
Intubationsversuch soll nicht länger als 30 Sekunden dauern	Intubation	Intubationsversuch darf die Thoraxkompressionen nicht länger als 10 Sekunden unterbrechen

Tabelle 1: Inhalt der Reanimationsleitlinien des ERC von 2005 und 2010

(Abkürzungen: CPR – kardio-pulmonale Reanimation; ERC – European Resuscitation Council; cm – Zentimeter; mg – Milligramm; min – Minute; PEA – pulslose elektrische Aktivität; pVT – pulslose ventrikuläre Tachykardie; VF – ventricular fibrillation, Kammerflimmern)

1.2 Aufgabenstellung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde auf Grundlage aktueller Empfehlungen ein auf Wissenserwerb und –erhalt optimiertes Curriculum zum Training von Reanimationen entwickelt und etabliert. Eines der Hauptziele war hierbei die Entwicklung und Implementierung eines leicht anzuwendenden Bewertungssystems, das einerseits den Instruktoren die Möglichkeit eröffnet, den Teilnehmern *sofort* ein ausführliches und objektives Feedback zu geben, und das gleichzeitig eine Evaluation der Reanimationsqualität zur Beurteilung des Lernfortschrittes im Kursverlauf ermöglicht. Dieses Bewertungssystem wurde mit fünf verschiedenen Besetzungen eines Notarztwagens (NAW) auf seine Funktionalität überprüft, um zeigen zu können, dass sich Unterschiede hinsichtlich der Qualität der Reanimation und der Algorithmustreue detektieren lassen. Anschließend wurde im Rahmen einer Serie von Reanimationstrainings unter Verwendung der Bewertungsmethode die Hypothese geprüft, dass sich nach Implementierung der neuen Reanimationsleitlinien 2010 die Qualität simulierter Reanimationen verbessert. Als Nebenziel wurde die Hypothese geprüft, dass die Lernenden einen Lernfortschritt innerhalb des Trainings zeigen.

2 Material und Methoden

2.1 Design eines standardisierten simulationsbasierten ALS-Kurses

Zum Zwecke der Standardisierung der Kurse und der Maximierung des Lernerfolges wurde zunächst ein Kurscurriculum erarbeitet und etabliert. Hierzu wurden zunächst umfangreiche Literaturrecherchen zum aktuellen Stand der Lehre in der Reanimatologie durchgeführt. Ziel war die Identifizierung nachgewiesenermaßen nützlicher Lehr- und Lernstrategien, um das Curriculum entsprechend gestalten zu können.

Frühere Studien hatten immer wieder die unzureichende Übungszeit kritisiert (Kaye et al., 1991; Chamberlain und Hazinski, 2003); daher beschlossen wir, dass zentrales Element des Curriculums die Ausbildung an einem hochrealistischen Patienten-simulator sein sollte und dass die praktischen Übungen am Simulator den überwiegenden Anteil des Lehrgangs einnehmen sollten. Den Empfehlungen von *ILCOR* und *ERC* folgend (Chamberlain und Hazinski, 2003; Soar et al., 2010) sollten außerdem nicht nur die rein technischen Fertigkeiten trainiert werden, sondern es sollte auch der Aspekt des Trainings nicht-technischer Fähigkeiten wie des Managements von Ressourcen berücksichtigt werden.

Die Kurse wurden daher an der Simulationsumgebung der Klinik abgehalten. Diese Simulationsumgebung bestand aus dem Übungsraum, einem Steuerungsraum sowie einem Unterrichtsraum. Die praktischen Übungen der Reanimationskurse wurden an einem Emergency Care Simulator (*ECS*, Medical Education Technology Incorporation (METI), Sarasota, Florida, USA) durchgeführt. Die medizinische Ausrüstung bestand in den Reanimationstrainings aus einem Notfallrucksack mit Sauerstoffflasche, Möglichkeit zur Sauerstoffinsufflation, Beatmungsbeutel und

Intubationszubehör, Absaugpumpe, Material für peripher-venöse Zugänge, verschiedenen Infusionen und einem Ampullarium mit diversen Notfallmedikamenten. Weiterhin stand den Teilnehmern eine mobile EKG-Defibrillator-Schrittmacher-Einheit (*Lifepack 12*, Physio-Control, Redmond, Washington, USA) zur Verfügung, die in München auch im Notarztdienst weit verbreitet ist.

Das Geschehen im Übungsraum wurde von drei Kameras sowie vier Mikrofonen erfasst und *live* in den Steuerungsraum übertragen. Vom Steuerungsraum aus steuerten die Instrukturen einerseits das Szenario, andererseits wurde aus den verschiedenen Bild- und Tonquellen ein Videosignal erzeugt, das in den Unterrichtsraum übertragen wurde. Auf diese Weise konnten die Kursteilnehmer, die nicht unmittelbar am Übungsszenario beteiligt waren, das Geschehen im Übungsraum ebenfalls *live* verfolgen.

Die Zielgruppe der Trainings (Pflegepersonal von Intensivstationen und Notaufnahmen sowie Ärzte ohne intensivmedizinische Ausbildung) hatte überwiegend nur geringe oder keine Erfahrung und Routine hinsichtlich der Durchführung des ALS. Wir unterteilten daher den Kurs in 4 verschiedene, auf einander aufbauende Module mit klar definierten Lernzielen, um die Teilnehmer der Trainings schrittweise in die Durchführung des ALS einzuführen.

Das Lernziel von Modul 1 bestand darin zu erlernen, den medizinischen Notfall zu erkennen, weitere Hilfe anzufordern, Bewusstsein, Atmung und Puls zu überprüfen sowie die Herzdruckmassage und die Beatmung mit Hilfe eines Beatmungsbeutels und ggf. einfacher supraglottischer Atemwegshilfen wie Guedeltubus durchzuführen.

Da ein Erarbeiten des kompletten ALS-Algorithmus ausschließlich anhand von Szenarien zeitintensiv ist, entschlossen wir uns, in Modul 1 und Modul 2 den

Simulationsszenarien jeweils einen Theorieteil vorzuschalten, um das notwendige theoretische Wissen zu vermitteln. Da Polglase et al. bessere Ergebnisse nach problem-orientierten ALS-Trainings verglichen mit konventionellen ALS-Trainings gefunden hatten (Polglase et al., 1989), wählten wir für diese Theorieblöcke einen problem-orientierten Lernansatz. Hierbei konfrontierten die Instruktoren die Kursteilnehmer mit einem konkreten Problem oder Fallbeispiel und baten um Lösungsvorschläge. In der Gruppendiskussion wurde so das adäquate Vorgehen gemeinsam erarbeitet. Die Instruktoren dienten hierbei nicht als Dozenten im traditionellen Sinn, sondern als Moderatoren, die die Diskussion leiteten und Zusatzwissen lieferten, das zum Erreichen des Lernziels notwendig war. Auf diese Weise erleichterten und förderten sie gezielt den Lernprozess. Auf die Erstellung einer Unterrichtspräsentation wurde bewusst verzichtet. Zu Zwecken der Visualisierung wurden den Instruktoren Flipcharts zur Verfügung gestellt. Auch wurden die Trainer und Kursteilnehmer instruiert, die Möglichkeiten der Simulationsumgebung für die Visualisierung zu nutzen. So sollte z. B. in Modul 1 die Technik der Herzdruckmassage von den Teilnehmern direkt am Simulator demonstriert und dann in der gemeinsamen Diskussion optimiert werden.

Im Anschluss an den theoretischen Teil von Modul 1 erfolgte ein ausführliches Briefing der Teilnehmer durch die Instruktoren. In diesem Rahmen demonstrierten die Instruktoren nochmals den gemeinsam erarbeiteten Ablauf und wiesen die Kursteilnehmer in die Simulationsumgebung und die Notfallausrüstung ein. Die Teilnehmer wurden instruiert, den Patienten wie einen echten Patienten zu behandeln und ihre Überlegungen laut zu äußern. Außerdem wurde beim ersten Briefing gemäß den Empfehlungen von McCausland Verschwiegenheit über den Kursablauf und alle Vorfälle im Kurs vereinbart (McCausland et al., 2004).

In den nun folgenden Szenarien übten die Teilnehmer zu zweit am Simulator die Durchführung des Basic Life Support (BLS), also die Durchführung von diagnostischem Block, Thoraxkompressionen und Beatmungen mit Beatmungsbeutel; außerdem wurde der Helferwechsel mit minimalen Unterbrechungen der Herzdruckmassage trainiert. Jedem Szenario folgte ein videogestütztes Debriefing in der Gruppe mit einer Dauer von etwa 10 Minuten. Erst wenn alle Teilnehmer mindestens ein Szenario aktiv absolviert hatten, wurde der Kurs mit Modul 2 fortgesetzt.

Auch in Modul 2 ging dem praktischen Teil ein theoretischer Teil voraus, der den Prinzipien des problem-orientierten Lernens folgte. In diesem Teil wurden die Beurteilung verschiedener EKG-Rhythmen und die Grundlagen der Elektrotherapie, insbesondere der Technik der Defibrillation vermittelt. Die Visualisierung der besprochenen Herzrhythmen erfolgte unmittelbar am *Lifepack 12*, das später auch in den Szenarien verwendet wurde. Techniken der erweiterten Patientenversorgung wie die Schaffung eines peripher-venösen Zugangs und die endotracheale Intubation wurden besprochen und demonstriert. Der wichtigste Schritt bestand jedoch darin, aus den bisher erlernten einzelnen Komponenten des ALS im Gruppengespräch den aktuellen ALS-Algorithmus zu erarbeiten.

Daran schloss sich ein erneutes Briefing mit Einweisung in die Besonderheiten der verwendeten EKG-Defibrillator-Schrittmacher-Einheit an. Dem Briefing folgte der Übungsteil mit Szenarien, in dem der neu erarbeitete ALS-Algorithmus jeweils zu dritt umzusetzen war. Auch in diesem Modul, wie auch in den beiden folgenden Modulen, wurde nach jedem Szenario ein videogestütztes Debriefing in der Gruppe durchgeführt. Wenn alle Kursteilnehmer mindestens ein Szenario absolviert hatten, wurde der Kurs mit Modul 3 fortgesetzt.

In Modul 3 und 4 fand kein Theorieteil mehr statt. Da die theoretischen und praktischen Grundkenntnisse für einen adäquaten ALS nun erlernt waren, erfolgte der weitere Lernprozess nun ausschließlich über Szenarien und das anschließende Debriefing. Während in Modul 1 und 2 das Hauptaugenmerk auf den technischen Fertigkeiten lag, wurde in Modul 3 und 4 der Fokus auf die nicht-technischen Fähigkeiten wie Teamführung, Kommunikation und dergleichen im Sinne eines Crisis Resource Management (CRM) Trainings gerichtet.

In Modul 3 wurden die Teilnehmer mit diversen unerwarteten Schwierigkeiten im Rahmen des ALS-Algorithmus konfrontiert, zum Beispiel mit einem schwierigen Atemweg, störenden Angehörigen oder räumlich schwierigen Situationen. Im Rahmen des Debriefings wurden Lösungsansätze für derartige Situationen gemeinsam erarbeitet und der Umgang des Teams mit komplexen Situationen trainiert.

Modul 4 ging bei der Gestaltung der Szenarien spezifisch auf das jeweilige Arbeitsumfeld der Kursteilnehmer ein. Es wurden Szenarien präsentiert, die typischerweise aus dem spezifischen Gefährdungspotenzial dieser Arbeitsumgebung entsprangen, so dass insbesondere in diesem Modul auf die jeweiligen Bedürfnisse der Trainingsteilnehmer eingegangen werden konnte. In den Debriefings wurden neben den Elementen des CRM auch organisatorische Elemente, die für das jeweilige Arbeitsumfeld der Teilnehmer von Belang waren, besprochen.

Die Teamzusammensetzung in den einzelnen Szenarien erfolgte von Szenario zu Szenario zufällig auf Zuruf, so dass sich keine fest eingespielten Teams im Sinne von präformierten Teams nach Hunziker entwickeln konnten. Damit entsprach die Teamzusammensetzung dem in der Realität häufiger anzutreffenden Prinzip der ad-hoc formierten Teams nach Hunziker (Hunziker et al., 2010).

Die Reanimationstrainings dauerten 1,5 Tage, am ersten Tag wurden nachmittags vier Unterrichtseinheiten à 45 Minuten, am zweiten Tag ganztägig acht Unterrichtseinheiten abgehalten.

Die Ausarbeitung des Kurscurriculums erfolgte unter Berücksichtigung der relevanten Literatur sowie auf Grundlage der langjährigen Erfahrungen des Instruktorenteam mit der Durchführung der Reanimationstrainings. Die Instruktoren wurden ausführlich in das entwickelte Curriculum eingewiesen.

2.2 Entwicklung eines Verfahrens zur objektiven Messung der Leistung am Reanimationssimulator

Wie bereits erwähnt, sollte die im Rahmen unserer Lehrgänge verwendete Bewertungsmethode in die Simulationsumgebung implementiert sein, auf objektivierbaren, vom Simulator gelieferten Parameter beruhen und die Ergebnisse sollten sofort zur Verfügung stehen. In den für die Reanimationslehrgänge verwendeten *ECS* ist ab Werk kein derartiges Werkzeug zum Assessment von Reanimationsleistungen implementiert. Daher war es notwendig, ein solches Werkzeug neu zu entwickeln.

2.2.1 Der Emergency Care Simulator und seine Funktionsweise

Der *ECS* ist ein hochrealistischer Patientensimulator, der aus einem lebensgroßen Mannequin, einer Steuerungsbox, einem Monitor sowie einem Steuerungscomputer besteht. Das Mannequin erlaubt diverse diagnostische Prozeduren, wie die Auskultation von Atemgeräuschen und Herztönen, die Ableitung eines 5-Kanal-EKGs

und die nicht-invasive Blutdruckmessung. Weiter sind viele therapeutische Prozeduren durchführbar, darunter die Anlage von peripher-venösen Zugängen, die Beatmung mit Beatmungsbeutel, die endotracheale Intubation, die Herzdruckmassage, die Defibrillation, das externe Pacing, die Koniotomie, die Anlage einer Thoraxdrainage und die Perikardpunktion. Das EKG wird als realer elektrischer Strom auf die Brustwandelektroden übertragen (van Meurs et al., 1997). Herztöne und Atemgeräusche werden von in den Brustkorb integrierten Lautsprechern an Standardauskultationspunkten dargestellt. Neben der Möglichkeit, ein EKG mit Standardequipment abzuleiten und mit einer modifizierten Blutdruckmanschette und Stethoskop den Blutdruck manuell zu messen, besteht die Möglichkeit, an einem mitgelieferten LCD-Monitor weitere Vitalparameter zu visualisieren. In den Reanimationslehrgängen wurde der Monitor nicht verwendet, so dass die Kursteilnehmer bei der Diagnostik auf das zur Verfügung gestellte Notfallequipment beschränkt waren. Allerdings wurden die auf dem Monitor visualisierbaren Vitalparameter EKG, periphere Sauerstoffsättigung (SpO₂) und arterieller Blutdruck in die Videoübertragung eingeblendet, so dass die beobachtenden Lehrgangsteilnehmer die Behandlung beurteilen konnten. Weiterhin besteht beim ECS die Möglichkeit, über ein mitgeliefertes Mikrophon und einen weiteren in den Brustkorb implantierten Lautsprecher dem Mannequin eine Stimme zu verleihen, so dass wache Patienten dargestellt werden können.

Die Simulation physiologischer Parameter und Symptome wird durch ein physiologisches Modell gesteuert, das im Wesentlichen auf dem kardiovaskulären Modell von Beneken (Beneken, 1967; Goodwin et al., 2004) beruht. Außerdem sind in den ECS speziell entwickelte Modelle für Gasaustausch, Pharmakokinetik und neuromuskuläre Blockade integriert. Die durch diese Modelle mittels eines

integrierten Computers errechneten Daten werden dann in entsprechende elektrische Signale oder pneumatische Impulse umgesetzt werden (van Meurs et al., 1997).

Die Steuerung des *ECS* erfolgt am Computer mit Hilfe einer speziellen Steuerungssoftware. Mit dieser Steuerungssoftware kann der steuernde Instruktor unmittelbar im laufenden Szenario in eine Vielzahl physiologischer Parameter eingreifen und die von den Kursteilnehmern applizierten Medikamente in der korrekten Dosis eingeben. Entsprechend dem Output der physiologischen und pharmakokinetischen Modelle sind dann dementsprechende Veränderungen der Vitalfunktionen zu beobachten.

Neben der unmittelbaren Steuerung über die Steuerungssoftware lassen sich auch verschiedene „*Patient*“ bzw. „*Szenario*“ genannte Steuerungsskripte programmieren. Ein Patienten-Skript lädt ein vordefiniertes Set an physiologischen Parametern. Hiermit kann der Simulator für das folgende Szenario in einen vordefinierten, von den Werkseinstellungen abweichenden Zustand versetzt werden. Über ein Szenario-Skript können eine Reihe von Abläufen automatisiert werden, so dass ein Fallbeispiel standardisiert ablaufen kann. Der *ECS* ist somit ein Skript-kontrollierter, Modell-gesteuerter Simulator (van Meurs et al., 1997).

Des Weiteren zeichnet der Simulator in einer Text-Datei („*Physio-Log*“) für jedes durchgespielte Szenario alle 5 Sekunden unter anderem folgende physiologische Parameter auf: Herzfrequenz, systolischer und diastolischer arterieller Blutdruck, Herzminutenvolumen, Atemzugvolumen und Atemfrequenz bei Spontanatmung, arterieller und alveolärer Partialdruck von Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid sowie periphere Sauerstoffsättigung. Im Gegensatz zu manchen Simulatoren anderer Hersteller werden keine Informationen zu Kompressionstiefe und –frequenz oder zu Tidalvolumina und Atemfrequenzen einer externen Beatmung registriert.

In einer weiteren Datei („*Event-Log*“) werden alle Eingriffe von außen in das physiologische Modell registriert, sowohl solche durch manuelle Benutzereingaben als auch automatisierte Eingriffe durch ein Szenario-Skript.

2.2.2 Standardisierung des Ausgangsstatus mittels Patienten-Skript

Um die Reanimationsszenarien miteinander vergleichbar zu machen, wurden standardisierte Patienten- und Szenario-Skripte notwendig.

Basierend auf dem von METI im Auslieferungszustand zu Verfügung gestellten Standard-Patienten-Skript „*Untitled Adult Patient*“ wurden drei Patienten-Skripte programmiert, die sich ausschließlich im vorliegenden Herzrhythmus unterschieden: es entstand ein Patient mit Kammerflimmern, ein Patient mit pulsloser ventrikulärer Tachykardie (pVT) und ein Patient mit Asystolie. Auf die Programmierung eines Patienten mit pulsloser elektrischer Aktivität (PEA) wurde bewusst verzichtet, da beim ECS das EKG-Bild einer PEA dem eines normofrequenten Sinusrhythmus ohne tastbaren Puls entspricht, was als unrealistisch und verwirrend angesehen wurde.

Für den Ablauf des Szenario-Skriptes war es notwendig, einige der physiologischen Parameter der Patienten von ihren Standardwerten abzuändern. Dies geschah bei allen Patienten-Skripten in der gleichen Weise. Um zu verhindern, dass nach Wiederherstellung eines spontanen Herzkreislaufs automatisch Atemtätigkeit und Augenöffnen eintritt, setzten wir den Parameter „*fixed neuromuscular blockade*“ auf 100 %. Um eine Beatmung mit hoher Sauerstoffkonzentration zu simulieren, setzten wir „*fraction of inspired oxygen*“ auf 80 %. Um eine automatische Konversion des Herzrhythmus in einen Sinusrhythmus in Abhängigkeit der durchgeführten Aktionen zu ermöglichen, war es notwendig, folgende Parameter zu verändern: „*ischemic*

index averaging“ wurde auf 0,99 gesetzt, *“ischemic index sensitivity*“ auf 1,5, *“contractility factor left ventricle*“ auf 0,5 und *“contractility factor right ventricle*“ ebenfalls auf 0,5. Der Parameter *“cardiac rhythm override*“ wurde für jeden Patienten unterschiedlich entsprechend des vorgesehenen initialen EKG-Bildes gesetzt. Alle anderen physiologischen Parameter wurden auf den Standardwerten belassen.

Abgesehen von den unterschiedlichen EKG-Bildern wiesen somit alle Patienten zu Beginn der Übung folgende einheitliche physiologische Parameter auf:

- Systolischer Blutdruck: 17 mmHg
- Diastolischer Blutdruck: 17 mmHg
- Herzzeitvolumen (Cardiac output, CO): 0,0 l/min
- Tidalvolumen 0 ml
- Spontane Atemfrequenz: 37 pro Minute (fiktiver Standardwert des Simulators bei Kreislaufstillstand)
- Alveolärer Sauerstoffpartialdruck (p_AO_2): 118 mmHg
- Alveolärer Kohlenstoffdioxidpartialdruck (p_ACO_2) 34,2 mmHg
- Arterieller Sauerstoffpartialdruck (p_aO_2) 28 mmHg
- Arterieller Kohlenstoffdioxidpartialdruck (p_aCO_2) 58,8 mmHg
- Periphere Sauerstoffsättigung (S_pO_2) 44 %.

Exemplarisch ist im Anhang in Kapitel 9.1, S. 87 der Programmcode des Patienten-Skripts zur Darstellung des Patienten mit Kammerflimmern aufgeführt. Die übrigen Patienten-Skripte unterschieden sich von diesem lediglich hinsichtlich des vorliegenden Herzrhythmus (Parameter: *„Rhythm“*, *„Rhythm override“*, *„HR“*)

2.2.3 Standardisierung der Simulation mittels Szenario-Skript

Zum Zwecke der Standardisierung der Steuerung und der Abläufe wurde ein Szenario-Skript entwickelt, das einerseits alle wichtigen Schritte und Ereignisse registrierte und andererseits gleichzeitig die Abläufe soweit automatisierte, dass die Zahl der notwendigen Interventionen des Steuerungstechniker minimiert wurde.

Ein Szenario-Skript ist unterteilt in „*State*“ genannte Abschnitte, die Zustände beschreiben, in denen sich der Simulator befinden kann. Innerhalb der States können Übergänge („*Transitions*“) und Ereignisse („*Events*“) programmiert werden. Mittels der *Events* und *Transitions* können bei Eintritt bestimmter Ereignisse oder bei Veränderung physiologischer Zustandsvariablen Übergänge zwischen den *States* sowie Veränderungen der physiologischen Zustandsvariablen programmiert werden. Die *Events* repräsentieren hierbei zwingend auszuführende Anweisungen, während die *Transitions* Anweisungen in Form von Wenn-Dann-Bedingungen beinhalten.

Vor der Programmierung wurden zunächst die wesentlichen Schritte, Ereignisse und Aufgaben einer Reanimation analysiert. Es wurden folgende Zustände und Ereignisse, in denen sich die Simulation befinden kann, extrahiert: Diagnostischer Block, Herzdruckmassage (HDM), keine Herzdruckmassage, Beatmung, Defibrillation, i.v.-Zugang, Intubation, Adrenalingabe, Amiodarongabe, Atropingabe. Weiterhin sollte zwischen indizierter und nicht-indizierter Defibrillation unterschieden werden.

Der Wiedereintritt eines spontanen Kreislaufs (return of spontaneous circulation, ROSC) sollte nach der zweiten korrekten Medikamentengabe des Szenarios eintreten. Da der Simulator nicht in der Lage ist, die Anlage von i.v.-Zugang, die Intubation und die Gabe von Medikamenten eigenständig zu registrieren, wurden

diese Ereignisse durch die Anwender markiert. Alle weiteren Schritte der Reanimation sollte der Simulator eigenständig erkennen. Die Aufgabe bestand also darin, ein Szenario-Skript zu programmieren, bei dem der Simulator aufgrund der programmierten Bedingungen automatisch Herzdruckmassage, Beatmung und Defibrillation erkennt und aufgrund der vom Steuerungstechniker markierten Medikamentengaben nach der dem jeweiligen Herzrhythmus entsprechenden zweiten korrekten Medikamentengabe den ROSC veranlasst.

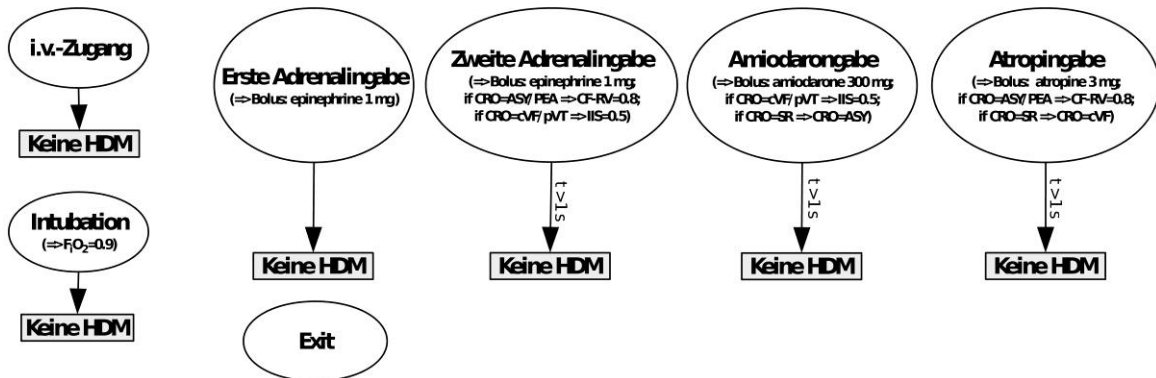
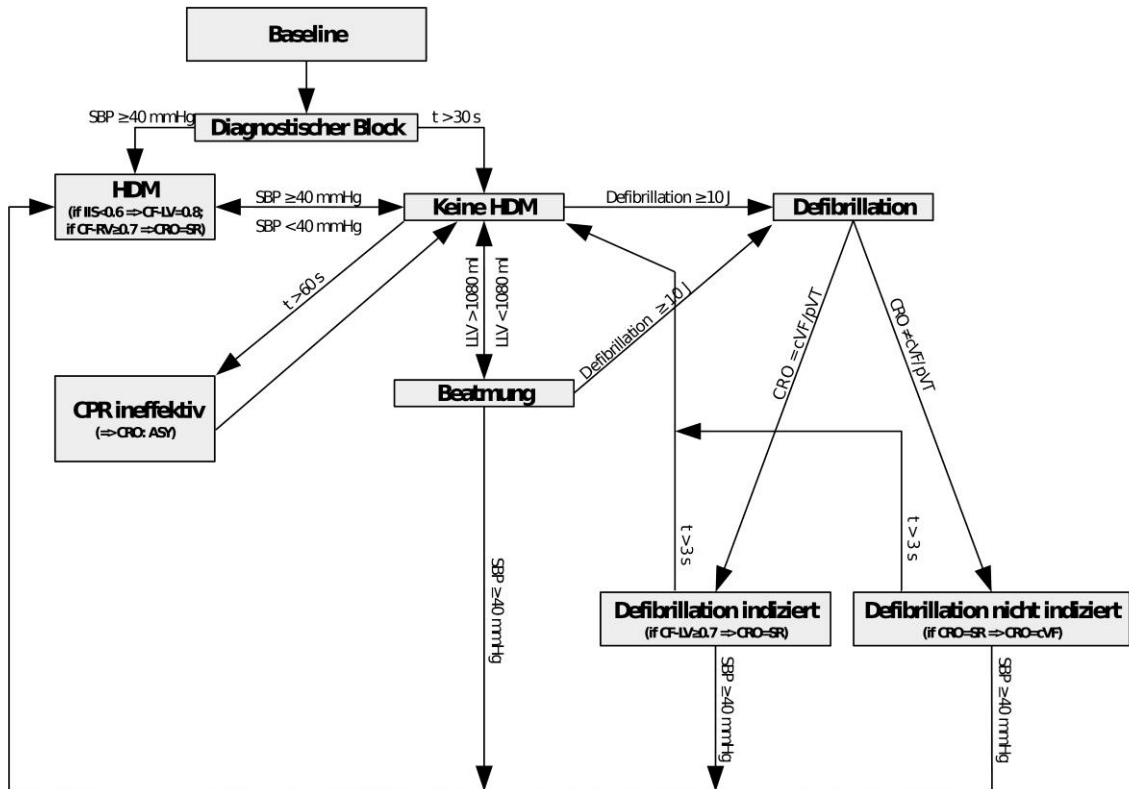
Der Simulator errechnet, seinem physiologischen Modell entsprechend, aus den von den Kursteilnehmern durchgeführten Thoraxkompressionen zwar den resultierenden Blutdruck und das resultierende Cardiac output, registriert andererseits aber keine Informationen über die Frequenz und Tiefe der Herzdruckmassage. Deshalb war es notwendig, die Bedingungen für das Erkennen der Herzdruckmassage selbst festzulegen. Veränderungen des Blutdrucks treten bei Aufnahme oder Beendigung der Thoraxkompressionen schnell auf, daher wurden Veränderungen des systolischen Blutdrucks als Kriterium zur Beurteilung der Durchführung von Thoraxkompressionen herangezogen. Hierzu musste ein Grenzwert festgelegt werden, der so gewählt sein musste, dass einerseits auch schlechte Thoraxkompressionen als solche erkannt werden, andererseits Druckveränderungen durch bloßes versehentliches Aufstützen auf den Thorax nicht fälschlich als Thoraxkompressionen erkannt werden. Da der fiktive systolische Blutdruck bei Herzstillstand in Ruhe stets 17 mmHg beträgt, musste der Grenzwert deutlich darüber liegen. In wiederholten Versuchen wurde ein Grenzwert von 40 mmHg als praktikabel ermittelt.

In vergleichbarer Weise musste eine Möglichkeit gefunden werden, die Durchführung von Beatmungen zu detektieren. Der Simulator detektiert das rechte und das linke

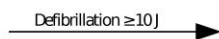
Lungenvolumen. Bei Apnoe beträgt das rechte wie auch das linke Lungenvolumen 1000 ml, bei Beatmung erhöhen sich rechtes und linkes Lungenvolumen entsprechend der Hälfte des Atemhubvolumens. Allerdings werden rechtes und linkes Lungenvolumen nicht im Physio-Log registriert. Wir entschieden wir uns, den Grenzwert für die Detektion einer Beatmung so zu setzen, dass die Beatmung als solche detektiert wird, sobald das Totraumvolumen überschritten wird. Bei einem angenommenen Totraumvolumen von 160 ml ergibt das pro Lungenflügel 80 ml, die dem Ruhevolumen hinzuzuzählen sind. Also wurde als Grenzwert für die Erkennung einer Beatmung somit ein linkes Lungenvolumen von 1080 ml festgelegt. In Vorversuchen zeigte sich, dass bei diesem Grenzwert zwar alle Beatmungen erkannt werden, andererseits geringfügige Veränderungen der Lungenvolumina durch die Thoraxkompressionen nicht fälschlicherweise als Beatmungen interpretiert werden.

Es entstand ein Szenario-Skript, bestehend aus mehreren *States*. Phasen mit bzw. ohne Herzdruckmassage, Beatmungen und auch Defibrillationen werden durch das Skript entsprechend der oben genannten Kriterien automatisiert erkannt, das Skript schaltet zwischen den entsprechend benannten *States* automatisch hin und her. Anlage des i.v.-Zugangs, Intubation und Medikamentengabe werden durch *States* repräsentiert, die der Steuerungstechniker aktiviert.

Die Arbeitsweise des Szenario-Skriptes ist in Abbildung 1 als Flussdiagramm dargestellt. Da die Programmiersprache des Simulators das Englische ist, wurden die englisch zu programmierenden physiologischen Variablen auch in der Abbildung in englischer Sprache bezeichnet, um ein Auffinden in der Software zu erleichtern.



Legende:



State, der automatisch erreicht wird

State, der vom Steuerungstechniker aktiviert wird

Übergang zwischen States mit zugehöriger Übergangsbedingung

Abkürzungsverzeichnis

ASY	asystole
CF-LV	contractility factor left ventricle
CF-RV	contractility factor right ventricle
CRO	cardiac rhythm override
cVF	coarse ventricular fibrillation
HDM	Herzdruckmassage
IIS	ischemic index sensitivity
LLV	left lung volume
PEA	pulsless electrical activity
pVT	pulsless ventricular tachycardia
SBP	systolic blood pressure
SR	sinus rhythm
t	time in state

Abbildung 1: Szenario-Skript

Wie aus Abbildung 1 zu ersehen ist, wechselt das Skript automatisch zwischen den States „HDM“, „Keine HDM“, „Beatmung“, „Defibrillation“ und „CPR ineffektiv“ hin und her und erkennt, ob eine durchgeführte Defibrillation indiziert war oder nicht. Übersteigt der systolische Blutdruck 40 mmHg, so registriert das Skript dies als Herzdruckmassage, übersteigt das linke Lungenvolumen 1080 ml, so wird dies als Beatmung erkannt. Defibrillationen werden ab einer Energie von 10 J erkannt.

Außer diesem automatisierten Kreislauf existieren die States „i.v.-Zugang“, „Erste Adrenalingabe“, „Zweite Adrenalingabe“, „Amiodarongabe“, „Atropingabe“, „Intubation“ und „Exit“. Diese States werden vom Steuerungstechniker bei Eintritt des entsprechenden Ereignisses manuell angewählt. Der State „Exit“ hat keinen Übergang programmiert und dient dazu, dem Steuerungstechniker bei Eintritt unerwarteter Ereignisse die volle Kontrolle über die Simulation unabhängig von einem automatisierten Szenario-Skript zurückzugeben.

Die States, die die Applikation von Medikamenten markieren, dienen einerseits dazu, dem pharmakologischen und physiologischen Modell die Applikation des jeweiligen Medikaments mitzuteilen, andererseits verändern die States „Zweite Adrenalingabe“, „Amiodarongabe“ und „Atropingabe“ physiologische Parameter des Simulators. Werden die applizierten Medikamente im Körper „verteilt“, was durch das nächste Erreichen des States „HDM“ simuliert wird, so verändert dieses Erreichen des States „HDM“ weitere physiologische Parameter. Dies resultiert dann bei Asystolie oder PEA in einer Konversion in einen Sinusrhythmus. Im Falle eines Kammerflimmerns oder einer pVT erfolgt die Konversion in den nächsten Sinusrhythmus durch die nächste Defibrillation. Auf diese Art und Weise bewirkt die zweite korrekte Medikamentengabe des Szenarios den ROSC.

Der Programmcode des Skriptes findet sich im Anhang in Kapitel 9.2, S. 93.

Die endgültige Version des Szenario-Skriptes wurde mit mehreren Besatzungen eines NAWs (bestehend aus Notarzt, Rettungsassistent und Rettungsanitäter) ausführlich getestet.

2.2.4 Makrogestützte Extraktion qualitätsbestimmender Variablen

Der Simulator registriert im *Event-Log* alle Wechsel von *States* innerhalb des Szenario-Skriptes mit Zeitpunkt seit Beginn des Szenarios und im *Physio-Log* in Abständen von 5 Sekunden die oben genannten physiologischen Parameter. Aus diesen Daten sollte ein objektives Werkzeug zur Beurteilung der Reanimationsqualität entstehen.

Eine Gruppe um Kramer-Johansen hatte 2007 Vorschläge für eine standardisierte Messung der Reanimationsqualität zu Zwecken der Qualitätssicherung und der Forschung gemacht (Kramer-Johansen et al., 2007). Diesen Vorschlägen zufolge soll die Qualität der Thoraxkompressionen durch Registrierung der mittleren Kompressionstiefe, des Anteils der Thoraxkompressionen mit einer zu geringen Kompressionstiefe, des Prozentsatzes von Thoraxkompressionen mit inkompletter Entlastung, der durchschnittlichen Kompressionsrate, der Zahl der tatsächlich pro Minute applizierten Thoraxkompressionen und des Anteils mit durchschnittlicher Kompressionsrate außerhalb des idealen Rahmens beurteilt werden. Weiterhin sollen die absoluten und anteilmäßigen Zeiten ohne Perfusion (also ohne Thoraxkompressionen, sogenannte absolute und relative No-flow-Zeit) registriert werden; hierzu zählen alle Pausen größer als 1,5 Sekunden. Die Qualität der Beatmung soll beurteilt werden, indem die durchschnittliche Frequenz der Beatmungen sowie der Anteil mit Beatmungsfrequenzen größer als 15 Beatmungen

pro Minute und mit 0 Beatmungen pro Minute ermittelt wird (Kramer-Johansen et al., 2007).

Diesen Vorschlägen wollten wir möglichst nahe kommen. Zunächst wurden mit dem ECS messbare Variablen zur Qualitätsbeurteilung identifiziert. Die absolute und prozentuale No-flow-Zeit lässt sich mit Hilfe des Szenarios einfach bestimmen, da im *Events-Log* die Zeiten, in denen eine Herzdruckmassage stattfindet, als *State „HDM“* registriert werden. Die absolute No-flow-Zeit ergibt sich somit als Differenz der Zeit vom Beginn des Szenarios bis zum ROSC und der Gesamtzeit, in der sich Szenario-Skript im *State „HDM“* befindet; die prozentuale No-flow-Zeit errechnet sich aus dem Quotienten der absoluten No-flow-Zeit und der Zeit vom Beginn des Szenarios bis zum ROSC.

Nachdem der Simulator leider keine Daten über Tiefe und Frequenz der Thoraxkompressionen und über die Entlastung zwischen selbigen speichert, war es notwendig, ein anderes Maß für die Qualität der Herzdruckmassage zu finden. Da der arterielle Mitteldruck nicht aus den Daten des *Physio-Logs* extrahierbar war, wurde das Cardiac output in seiner Eigenschaft als Funktion der Zeit dafür herangezogen. Da bei Aufnahme der Thoraxkompressionen das Cardiac output langsam ansteigt und bei Beendigung auch langsam abfällt und da die erreichten Werte sich bei einem Helferwechsel höchstwahrscheinlich unterscheiden, erachteten wir es als unwahrscheinlich, dass innerhalb eines Szenariums eine Normalverteilung der registrierten Werte gefunden wird. Die ersten Testläufe unseres Szenario-Skripts bestätigten diese Annahme. Wir entschieden uns daher, als Indikator für die Qualität der Herzdruckmassage nicht den Mittelwert, sondern den Median der registrierten Werte zu berechnen.

Zur Messung der Qualität der Beatmung wurde aus dem *Events-Log* die mittlere Beatmungsfrequenz extrahiert. Diese ergab sich als Quotient aus der Zahl der registrierten Wechsel in den *State* „*Beatmung*“ und der Dauer vom Beginn des Szenariums bis zum ROSC.

Als weitere Qualitätsindikatoren legten wir fest, dass die Zeiten vom Beginn des Szenarios bis zur Aufnahme von Thoraxkompressionen, bis zur ersten Defibrillation, bis zur ersten Applikation von Adrenalin und bis zum Eintritt eines ROSC bestimmt werden sollten. Weiterhin wurden die Zahl der durchgeführten Defibrillationen und der Prozentsatz der indizierten Defibrillationen extrahiert.

Um beurteilen zu können, wie eng sich die Kursteilnehmer an die Zeitvorgaben der Reanimationsleitlinien halten, wurde außerdem der Mittelwert der Abstände der Defibrillationen bestimmt; da sich zu kurze und zu lange Abstände bei der Mittelwertbildung jedoch gegenseitig aufheben können, wurde zusätzlich der Mittelwert der Abweichung vom vorgegebenen 2-Minuten-Zyklus berechnet. Der Mittelwert der Abstände der Defibrillationen ist ein Indikator dafür, ob die Teilnehmer das vorgegebene 2-Minuten-Intervall tendenziell unter- oder überschreiten; der Mittelwert des Betrags der Abweichungen der Defibrillationen vom vorgegebenen 2-Minuten-Zyklus trifft hingegen eine Aussage darüber, ob die Teilnehmer die Defibrillationen in enger Anlehnung an das 2-Minuten-Intervall durchführen oder weit davon abweichen. Zur Beurteilung der Algorithmustreue muss also eine zusammenschauende Bewertung mehrerer Qualitätsvariablen erfolgen.

Einen Überblick über die beurteilten Qualitätsparameter einer Reanimation und die zugehörigen Indikatorvariablen gibt Tabelle 2.

Da die manuelle Extraktion bzw. Berechnung der genannten Qualitätsindikatoren aufwendig ist, wurden diese Schritte automatisiert, um die Ergebnisse den Instruktoren für das Debriefing schnell zur Verfügung stellen zu können. Da die Daten in Form einer tabulatorgetrennten Textdatei vorliegen, lassen sich die einzelnen Log-Dateien in einem Tabellenverarbeitungsprogramm öffnen. Es wurde ein Visual Basic Makro programmiert, das nach Abschluss des Szenarios in wenigen Sekunden alle Qualitätsindikatoren aus den Log-Dateien berechnet. Der Programmcode des Makros findet sich im Anhang in Kapitel 9.3, S. 94.

Qualitätsparameter	Indikatorvariablen
Qualität der Herzdruckmassage	Zeit bis zur Aufnahme von Thoraxkompressionen Medianes Cardiac output Prozentuale No-flow-Zeit
Qualität der Beatmung	Beatmungsfrequenz
Qualität der Defibrillationen	Zeit bis zur ersten Defibrillation Prozentsatz der indizierten Defibrillationen Mittelwert der Abstände der Defibrillationen Mittelwert des Betrags der Abweichungen der Defibrillationen vom vorgegebenen 2-Minuten-Zyklus
Algorithmustreue	Zeit bis zur Aufnahme von Thoraxkompressionen Zeit bis zur ersten Defibrillation Mittelwert der Abstände der Defibrillationen Mittelwert des Betrags der Abweichungen der Defibrillationen vom vorgegebenen 2-Minuten-Zyklus Zeit bis zur ersten Applikation von Adrenalin Zeit bis zum Eintritt des ROSC

Tabelle 2: Qualitätsparameter der Reanimation und zugehörige Indikatorvariablen
(Abkürzungen: ROSC - return of spontaneous circulation, Wiedereintritt eines Spontankreislaufes)

2.3 Überprüfung der Validität des Evaluationsverfahrens mit Besetzungen eines Notarzwagens

Zur Überprüfung der Validität des Evaluationsverfahrens führten fünf Besetzungen eines NAWs, bestehend jeweils aus Notarzt (in allen Fällen aus der Fachrichtung

Anästhesie), einem Rettungsassistenten und einem Rettungssanitäter je einen ALS am Simulator durch. Die Besatzungen erhielten das gleiche Briefing wie Kursteilnehmer der Reanimationstrainings und arbeiteten mit demselben Material. Keines der Teams kannte den initialen Herzrhythmus oder die näheren Umstände des simulierten Einsatzes. Alle Teams fanden einen Patienten mit Kammerflimmern vor. Als Behandlungsstandard galten zum Zeitpunkt der Messung die LL2005.

Die Teilnehmer wurden über den Studiencharakter der Simulation aufgeklärt und willigten schriftlich in Erhebung und Speicherung der Daten ein. Alle Daten wurden in anonymisierter Form erhoben. Da im Rahmen der Studie keine personenbezogenen Daten erhoben wurden und kein Risiko für einen Patienten oder Teilnehmer bestand, wurde nach Rücksprache mit der Ethikkommission kein Ethikantrag gestellt.

2.4 Evaluation des Einflusses der Reanimationsleitlinien von 2005 und 2010 auf die Reanimationsleistung und Evaluation des Lernfortschrittes in simulationsbasierten Reanimationstrainings

2.4.1 Datenerhebung

Von Oktober bis November 2010 wurden an der Simulationsumgebung sechs Reanimationstrainings nach den Vorgaben des in Kapitel 2.1 beschriebenen Curriculums durchgeführt. Nach dem zweiten Training wurden durch das *ERC* aktualisierte Reanimationsleitlinien veröffentlicht. Diese wurden umgehend in das Curriculum implementiert. Anschließend wurden weitere vier Trainings durchgeführt.

An den Trainings nahmen Ärzte ohne intensivmedizinische Ausbildung und Pflegepersonal von Intensivstationen teil, wobei die Trainings entweder für Ärzte oder

für Pflegepersonal, nicht jedoch für gemischte Gruppen durchgeführt wurden. Dies hatte seinen Grund darin, dass die Trainings nicht zu festgelegten Terminen für das komplette Klinikum angeboten wurden, sondern dass die Leiter der einzelnen Abteilungen die Reanimationstrainings dem aktuellen Bedarf entsprechend für ihre Abteilung buchten und die Teilnehmer entsandten. Jeder Kursteilnehmer nahm nur an einem einzigen Training teil.

Nach jedem Szenario wurden umgehend die Ergebnisse der Berechnung der Qualitätsindikatoren den Instruktoren für die Verwendung im Debriefing zur Verfügung gestellt.

Am Ende des Lehrgangs wurde jeder Teilnehmer gebeten, auf freiwilliger Basis einen Fragebogen zu demographischen Daten auszufüllen. Der Fragebogen ist im Anhang in Kapitel 9.1, S. 87 dargestellt.

Als Kriterien für den Einschluss eines Szenarios in die Studie wurden folgende Kriterien festgelegt: Einwilligung der Teilnehmer, Durchführung des Reanimationstrainings nach dem festgelegten Standardcurriculum sowie Durchführung der Simulation unter Verwendung des entwickelten Szenario-Skripts.

Weiterhin wurden als Ausschlusskriterien festgelegt: Auftreten technischer Probleme mit der Hardware oder Software des Simulators, Auftreten technischer Probleme mit dem verwendeten Defibrillator sowie unvorhergesehene notwendige Interventionen durch die Instruktoren.

Die Reanimationstrainings wurden von jeweils zwei Instruktoren durchgeführt, die Steuerung des Simulators, Berechnung der Qualitätsindikatoren und Aufbereitung der Simulationsumgebung für das nächste Szenario wurde durch eine zusätzliche Person übernommen.

Alle Teilnehmer wurden vor dem Training informiert, dass die im Rahmen der simulierten Szenarien erhobenen Daten mit Hilfe der entwickelten Assessmentmethode analysiert und anschließend anonymisiert elektronisch gespeichert und weiterverarbeitet wurden. Alle Teilnehmer willigten schriftlich in die Datenerhebung, -speicherung und -weiterverarbeitung ein. Da auch im Rahmen dieses Studienabschnitts keine personenbezogenen Daten erhoben wurden und kein Risiko für einen Patienten oder Teilnehmer bestand, wurde nach Rücksprache mit der Ethikkommission kein Ethikantrag gestellt.

Nach Abschluss der Serie von Reanimationstrainings wurden die erhobenen Daten im Rahmen einer retrospektiven Beobachtungsstudie ausgewertet.

2.4.2 Evaluation des Einflusses unterschiedlicher Reanimationsleitlinien auf die Leistung der Kursteilnehmer

Um den Einfluss der neuen Reanimationsleitlinien von 2010 auf die Leistung der Kursteilnehmer zu untersuchen, wurde zunächst die Gesamtheit der nach LL2005 durchgeführten Szenarien mit der Gesamtheit der nach LL2010 durchgeführten Szenarien verglichen.

Da auch die Vorschriften zur Durchführung der Thoraxkompressionen in den neu veröffentlichten Leitlinien geändert worden waren, sollte untersucht werden, ob durch die neuen Anweisungen auch die Qualität der Herzdruckmassage verbessert wird. Frequenz und Tiefe der Thoraxkompressionen sowie Entlastung zwischen den Thoraxkompressionen werden gemeinhin als grundlegende Determinanten der Qualität der Herzdruckmassage angesehen (Handley et al., 2005; Kramer-Johansen et al., 2007; Koster et al., 2010; Lukas et al., 2012). Da das mediane Cardiac output,

das von uns zur Beurteilung der Qualität der Herzdruckmassage herangezogen wurde, jedoch auch eine Funktion der Zeit ist, fließt außer diesen Parametern in das erzielte mediane Cardiac output auch die prozentuale No-flow-Zeit als entscheidender Parameter ein. Das Cardiac output sinkt bei Unterbrechung der Thoraxkompressionen nicht unmittelbar auf den Wert Null ab, sondern fällt langsam ab. Die mathematische Funktion des Abfalls des Wertes des Cardiac output bei Unterbrechung der Thoraxkompressionen ist jedoch nicht bekannt, so dass die Zeiten ohne Thoraxkompressionen nicht einfach herausgerechnet werden können. Um Unterschiede in der Qualität der Herzdruckmassage detektieren zu können, die nicht auf Veränderungen der prozentualen No-flow-Zeit zurückzuführen sind, ist also der Vergleich des medianen Cardiac output in Gruppen mit weitgehend identischer prozentualer No-flow-Zeit erforderlich. Wir nahmen an, dass die prozentuale No-flow-Zeit in den beiden Leitliniengruppen am ehesten für die Subgruppen der BLS-Szenarien des Moduls 1 gleich sein würden; diese Annahme konnte retrospektiv als korrekt bestätigt werden. Daher wurden die BLS-Szenarien, die nach LL2005 durchgeführt wurden, mit den BLS-Szenarien nach LL2010 verglichen.

In einem weiteren Schritt wurden die ALS-Szenarien der Module 2-4 in Bezug auf die zugrunde liegenden Leitlinien verglichen.

Da Ärzte und Pflegekräfte unterschiedlich auf die Szenariengruppen verteilt waren, wurde die Subgruppe der Szenarien, die von Ärzten durchgeführt worden waren, separat untersucht, um eine mögliche Bias durch diese unterschiedliche Verteilung zu reduzieren.

2.4.3 Evaluation des Einflusses des initialen Herzrhythmus auf die Leistung der Kursteilnehmer

Es wurde für möglich gehalten, dass der simulierte initiale Herzrhythmus aufgrund seiner Implikationen für das weitere Vorgehen im ALS die Schwierigkeit des Szenarios für die Kursteilnehmer beeinflussen kann. Daher wurden ALS-Szenarien mit defibrillationspflichtigen Herzrhythmen mit ALS-Szenarien mit nicht-defibrillationswürdigen Herzrhythmen verglichen.

2.4.4 Evaluation des Lernfortschritts im Kursverlauf

Zum Abschluss untersuchten wir, ob innerhalb des Kurses ein Lernfortschritt zu erkennen war. Hierzu wurden die Szenarien getrennt nach Modul analysiert und die Ergebnisse der einzelnen Module miteinander verglichen.

2.4.5 Statistische Analyse

Die Aufbereitung der mit Hilfe der Assessmentmethode erhobenen Daten sowie die Berechnung der Mediane und Quartilsabstände erfolgte unter Verwendung von Microsoft Excel 2010 (Microsoft[®], Redmond, Washington, USA). Die Testung auf statistische Signifikanz wurde mit dem Wilcoxon Two Sample Test unter Verwendung des Statistikprogramms MATLAB R2009b (The MathWorks Inc., Natick, MA, USA) durchgeführt. Wir legten als Signifikanzniveau einen p-Wert $\leq 0,05$ fest. Da die Daten nicht normalverteilt waren, wurden für alle Werte die Mediane sowie der Quartilsabstand berechnet.

3 Ergebnisse

3.1 Auswertung der von Notarztwagenbesatzungen durchgeführten Reanimationen

Die Teams erzielten ein medianes Cardiac output von 1,50 l/min (Quartilsabstand: [1,40;1,50]). Die prozentuale No-flow-Zeit lag bei 24,4 %, auffällig ist jedoch die breite Streuung mit einem Team, das eine prozentuale No-flow-Zeit von 13,4 % erreichte und einem Team, bei dessen Reanimation der gemessene Wert 43,6 % betrug.

Der Zeitpunkt der ersten Defibrillation lag im Median bei 01:47 Minuten, ein Team führte die erste Defibrillation durch, bevor Thoraxkompressionen aufgenommen worden waren. Die Sicherheit bei der Analyse des Herzrhythmus war hoch, es wurden keine nicht-indizierten Schocks abgegeben. Der mediane Abstand der Defibrillationen betrug 02:43 Minuten (Quartilsabstand: [02:24;03:06]), der mediane Abstand der Defibrillationen vom vorgegebenen 2-Minuten-Intervall betrug ebenfalls 43 Sekunden (Quartilsabstand: [26;68]).

Der Zeitpunkt der ersten Adrenalinapplikation lag im Median bei 07:35 Minuten, jedoch ist auch hier eine große Streuung der Ergebnisse zu beobachten. Gleiches gilt für die Dauer bis zum Eintritt des ROSC, im Median konnte das Szenario innerhalb von 12:01 Minuten gelöst werden, ein Team benötigte hierfür jedoch 18:09 Minuten.

Bei allen Teams war eine niedrige Beatmungsfrequenz mit im Median lediglich 1,10 Beatmungen pro Minute zu verzeichnen.

Die Ergebnisse für alle fünf Besatzungen sind in Tabelle 3 dargestellt.

	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4	Team 5	Median [Quartilsabstand]
Medianes Cardiac output [l/min]	1,20	1,50	1,50	1,40	1,80	1,50 [1,40; 1,50]
Prozentuale No-flow-Zeit [%]	20,7	24,4	29,9	43,6	13,4	24,4 [20,7; 29,9]
Zeit bis zum Beginn der Reanimation [sec]	16	38	30	43	22	30 [22; 38]
Zeit bis zur ersten Adrenalingabe [min:sec]	08:56	06:33	07:35	04:53	10:18	07:35 [06:33; 08:56]
Zeit bis zur ersten Defibrillation [min:sec]	03:01	00:00	01:47	01:32	01:48	01:47 [01:32; 01:48]
Indizierte Defibrillationen (absolut)	5	6	4	3	5	5 [4; 5]
Indizierte Defibrillationen [%]	100	100	100	100	100	100 [100; 100]
Mittlerer Abstand der Defibrillationen	03:47	02:24	02:22	03:06	02:43	02:43 [02:24; 03:06]
Mittlere Abweichung der Defibrillationen vom 2-Minuten-Intervall [sec]	107	26	24	68	43	43 [26; 68]
Beatmungsfrequenz [1/min]	1,10	0,50	1,47	1,30	0,32	1,10 [0,50; 1,30]
Zeit bis zum ROSC [min:sec]	18:09	12:01	08:52	07:43	12:41	12:01 [08:52; 12:41]

Tabelle 3: Ergebnisse der NAW-Besatzungen

(Abkürzungen: l – Liter; min – Minute; ROSC - return of spontaneous circulation, Wiedereintritt eines Spontankreislaufes; sec – Sekunde)

3.2 Auswertung der Reanimationen in den Reanimationstrainings

3.2.1 Demographische Daten der Versuchsgruppe

Die Beantwortung des Fragebogens war freiwillig; von 76 ausgeteilten Fragebögen wurden 43 ausgefüllt zurückgegeben, was einer Rücklaufquote von 56,6 % entspricht.

Zwischen den Subgruppen der Ärzte und der Pflegekräfte bestanden einige Unterschiede. So waren die teilnehmenden Pflegekräfte deutlich jünger als die teilnehmenden Ärzte. Da es sich bei den Pflegekräften um Pflegekräfte von Intensivstationen handelte, ist es überdies nicht verwunderlich, dass die letzte selbst durchgeführte Reanimation weniger lange zurücklag als in der Subgruppe der Ärzte,

die ausnahmslos aus Fachrichtungen ohne unmittelbaren Kontakt zur Intensiv- und Notfallmedizin rekrutiert waren. Auch hatten die Ärzte länger nicht an einem Reanimationstraining teilgenommen als die Pflegekräfte.

Die Ärzte, die an den Reanimationstrainings teilnahmen, entstammten den Fachrichtungen Psychiatrie, Augenheilkunde, Radiologie und Nuklearmedizin, Neurologie sowie Gynäkologie und waren zum überwiegenden Teil Ärzte ohne Facharztqualifikation. Bei den Pflegekräften besaßen nur etwa 10 Prozent die Fachweiterbildung „Intensivmedizin“.

Die erhobenen Daten sind ausführlich in Tabelle 4 dargestellt.

Da kein Reanimationstraining für Pflegekräfte nach den LL2005 abgehalten worden war und die Pflegekräfte offenkundig mehr Erfahrung bei realen Reanimationen aufwiesen und zudem häufiger geschult waren, musste diese Ungleichverteilung der Berufsgruppen auf die verschiedenen Leitlinien bei der Bewertung der Ergebnisse des Leitlinienvergleichs berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck wurde die Subgruppe der Szenarien, die von Ärzten durchgeführt worden waren, getrennt von den anderen Szenarien betrachtet.

	Ärzte		Pflege	
	n	Prozent	n	Prozent
Geschlecht				
männlich	7	31,82	6	28,57
weiblich	15	68,18	15	71,43
Alter				
< 20 Jahre	0	0,00	0	0,00
20-29 Jahre	4	18,18	12	57,14
30-39 Jahre	13	59,09	4	19,05
40-49 Jahre	2	9,09	3	14,29
50-59 Jahre	3	13,64	2	9,52
< 60 Jahre	0	0,00	0	0,00
Qualifikation				
Arzt	14	63,64		
Facharzt	8	36,36		
Krankenschwester/-pfleger			19	90,48
Krankenschwester/-pfleger in Fachweiterbildung			0	0,00
Krankenschwester/-pfleger mit Fachweiterbildung			2	9,52
Fachrichtung				
Psychiatrie	4	18,18		
Augenheilkunde	1	4,55		
Radiologie/Nuklearmedizin	2	9,09		
Neurologie	1	4,55		
Gynäkologie	12	54,55		
keine Angabe	2	9,09		
Letzte Reanimation vor				
< 1 Monate	0	0,00	3	14,29
1-3 Monate	0	0,00	5	23,81
3-6 Monate	1	4,55	1	4,76
> 6 Monate	16	72,73	10	47,62
Nie	5	22,73	2	9,52
Letzter Reanimationslehrgang				
< 1 Monate	0	0,00	2	9,52
1-3 Monate	0	0,00	0	0,00
3-6 Monate	0	0,00	6	28,57
6-9 Monate	0	0,00	1	4,76
9-12 Monate	1	4,55	3	14,29
>12 Monate	16	72,73	7	33,33
Nie	5	22,73	2	9,52

Tabelle 4: Demographische Daten der Versuchsgruppe

3.2.2 Einschlussprozess der Szenarien

In den sechs Reanimationstrainings wurden insgesamt 74 simulierte Szenarien durchgeführt. Da die Instruktoren des vierten Trainings vom vorgegebenen Kurscurriculum abgewichen waren, wurden alle 11 Szenarien dieses Trainings aus der Analyse ausgeschlossen. Vier Szenarien wurden ausgeschlossen, da das Steuerungsskript nicht verwendet worden war, 22 Szenarien wurden aufgrund technischer Probleme mit Hardware oder Software des Simulators und zwei Szenarien wurden aufgrund von Interventionen der Instruktoren ausgeschlossen. In die statistische Auswertung wurden somit 34 Szenarien eingeschlossen. Der Einschlussprozess und die Verteilung der Szenarien auf die einzelnen Subgruppen sind in Abbildung 2 dargestellt.

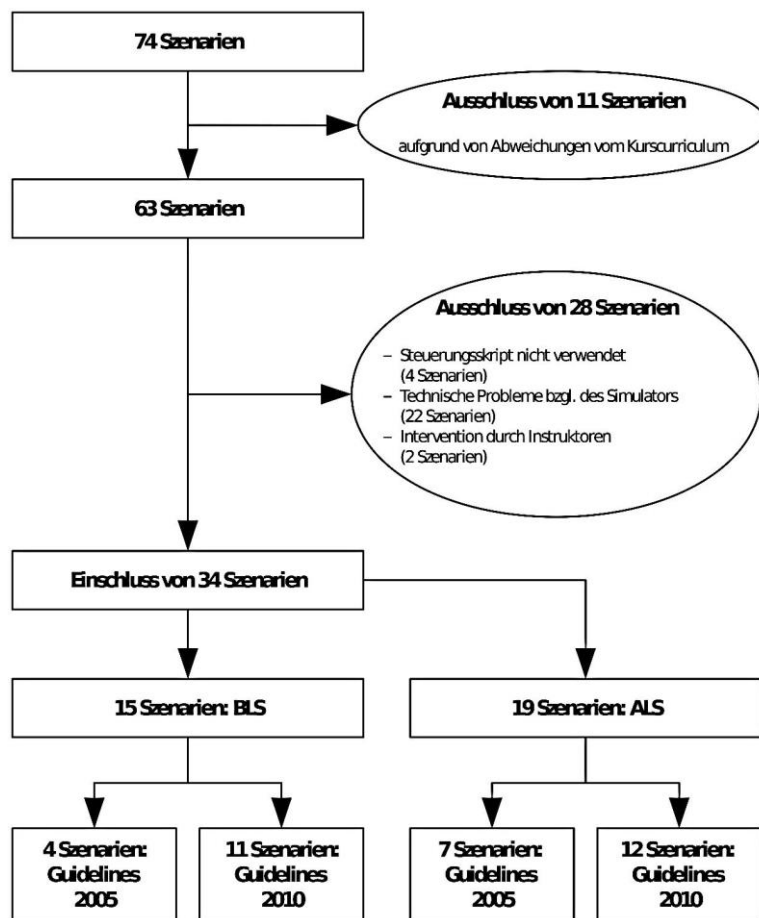


Abbildung 2: Einschlussprozess und Szenarienverteilung
 (Abkürzungen: ALS – Advanced Life Support; BLS – Basic Life Support)

3.2.3 Vergleich der Reanimationsszenarien in Bezug auf die zugrunde liegenden Reanimationsleitlinien

3.2.3.1 Vergleich aller durchgeführter Szenarien nach zugrunde liegenden Leitlinien

Beim Vergleich der Reanimationen nach LL2005 mit den Reanimationen nach LL2010 zeigte sich in den nach den neuen Leitlinien durchgeführten Szenarien ein signifikant höheres medianes Cardiac output sowie eine signifikant niedrigere prozentuale No-flow-Zeit (siehe Abbildung 3).

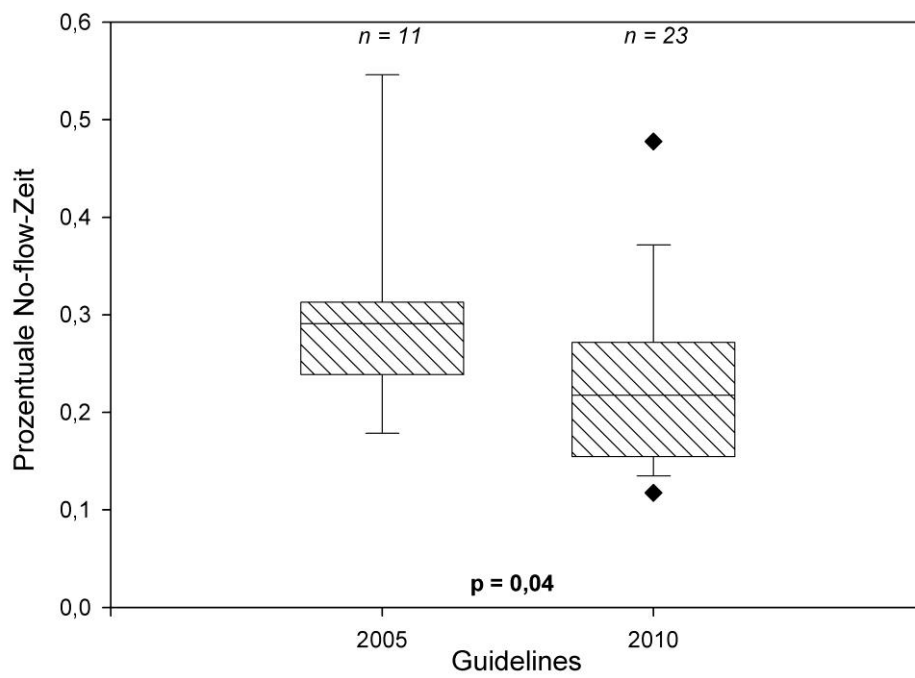
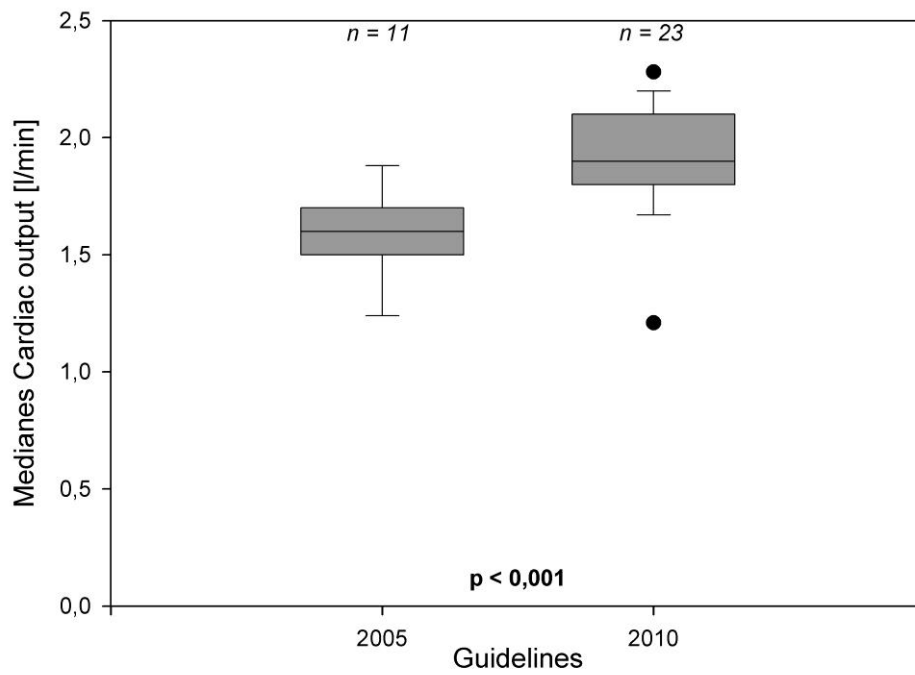


Abbildung 3: Medianes Cardiac output und prozentuale No-flow-Zeit vor und nach Änderung der Leitlinien

In der Subgruppe der BLS-Szenarien war erwartungsgemäß kein signifikanter Unterschied in der prozentualen No-flow-Zeit festzustellen; in der Gruppe, die nach LL2010 unterrichtet worden war, war ein Trend zu einer Verbesserung im medianen Cardiac output feststellbar, der Unterschied war jedoch nicht statistisch signifikant.

In der Subgruppe der ALS-Szenarien war das mediane Cardiac output signifikant höher, wenn nach LL2010 reanimiert worden war. Bei allen anderen erhobenen Qualitätsindikatoren zeigten sich keine signifikanten Unterschiede (siehe Tabelle 5).

	LL2005	LL2010	p
Alle Szenarien	<i>n = 11</i>	<i>n = 23</i>	
Medianes Cardiac output [l/min]	1.60 [1.50; 1.65]	1.90 [1.80; 2.10]	<0.001
Prozentuale No-flow-Zeit [%]	29.1 [25.0; 30.9]	21.8 [16.1; 27.1]	0.04
Nur BLS-Szenarien	<i>n = 4</i>	<i>n = 11</i>	
Medianes Cardiac output [l/min]	1.55 [1.43; 1.68]	1.90 [1.75; 2.10]	0.07
Prozentuale No-flow-Zeit [%]	26.5 [22.9; 29.5]	20.4 [15.7; 24.8]	0.18
Nur ALS-Szenarien	<i>n = 7</i>	<i>n = 12</i>	
Initialer Herzrhythmus defibrillationswürdig	4	7	
Initialer Herzrhythmus nicht defibrillationspflichtig	3	5	
Medianes Cardiac output [l/min]	1.60 [1.50; 1.65]	1.83 [1.80; 1.99]	<0.001
Prozentuale No-flow-Zeit [%]	30.4 [26.4; 38.7]	22.9 [19.9; 31.6]	0.20
Zeit bis zum Beginn der Reanimation [sec]	32 [25; 34]	20 [14; 27]	0.17
Zeit bis zur ersten Adrenalingabe [min:sec]	04:49 [04:27; 05:15]	05:19 [03:48; 06:07]	0.68
Zeit bis zur ersten Defibrillation [min:sec]	02:45 [02:18; 02:56]	02:25 [01:39; 05:01]	0.72
Indizierte Defibrillationen (absolut)	3 [3; 4]	3.5 [2.75; 4.0]	1.00
Indizierte Defibrillationen [%]	100 [100; 100]	100 [100; 100]	1.00
Mittlerer Abstand der Defibrillationen [min:sec]	01:44 [01:41; 02:21]	01:45 [01:33; 02:04]	0.94
Mittlere Abweichung der Defibrillationen vom 2-Minuten-Intervall [s]	42 [26; 45]	39 [28; 48]	0.91
Beatmungsfrequenz [1/min]	2.21 [1.90; 2.85]	1.98 [1.08; 2.83]	0.68
Zeit bis zum ROSC [min:sec]	07:38 [07:28; 08:09]	07:11 [06:54; 07:32]	0.08

Tabelle 5: Vergleich aller durchgeführten Szenarien nach Leitlinienfassung

(p-Werte, die statistische Signifikanz anzeigen, sind fett gedruckt; Abkürzungen: ALS – Advanced Life Support; BLS – Basic Life Support; l – Liter; LL2005 Reanimationsleitlinien von 2005; LL2010 – Reanimationsleitlinien von 2010; min – Minute; ROSC - return of spontaneous circulation, Wiedereintritt eines Spontankreislaufes; sec – Sekunde)

3.2.3.2 Vergleich der von Ärzten durchgeführten Szenarien nach zugrunde liegenden Leitlinien

Da die Intensivpflegekräfte ausschließlich an Reanimationstrainings teilgenommen hatten, in denen die LL2010 gelehrt worden waren, und da zwischen Pflegekräften und Ärzten deutliche Unterschiede hinsichtlich früherer Reanimationserfahrungen

bestanden (siehe Kapitel 3.2.1) wurden die von Ärzten durchgeführten Szenarien separat auf den Einfluss der zugrunde liegenden Leitlinien untersucht.

In der Gruppe, die nach den LL2010 reanimiert hatte, zeigte sich ein signifikant höheres medianes Cardiac output, signifikant geringere prozentuale No-flow-Zeiten, signifikant kürzere Zeiten bis zum ROSC und eine signifikant höhere Zahl an Beatmungen. Alle anderen Parameter zeigten keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 6).

	LL2005	LL2010	<i>p</i>
Alle Szenarien	<i>n</i> = 11	<i>n</i> = 6	
Medianes Cardiac output [l/min]	1.60 [1.50; 1.65]	2.05 [1.85; 2.10]	0.001
Prozentuale No-flow-Zeit [%]	29.1 [25.0; 30.9]	16.1 [14.8; 17.6]	0.001
Nur ALS-Szenarien	<i>n</i> = 7	<i>n</i> = 3	
Initialer Herzrhythmus defibrillationswürdig	4	1	
Initialer Herzrhythmus nicht defibrillationspflichtig	3	2	
Medianes Cardiac output [l/min]	1.60 [1.50; 1.65]	1.80 [1.80; 2.0]	0.05
Prozentuale No-flow-Zeit [%]	30.4 [26.4; 38.7]	15.5 [14.9; 18.5]	0.03
Zeit bis zum Beginn der Reanimation [sec]	32 [25; 34]	22 [20; 26]	0.38
Zeit bis zur ersten Adrenalingabe [min:sec]	04:49 [04:27; 05:15]	03:35 [03:29; 04:56]	0.55
Zeit bis zur ersten Defibrillation [min:sec]	02:45 [02:18; 02:56]	04:56 [04:56; 04:56]	0.67
Indizierte Defibrillationen (absolut)	3 [3; 4]	2 [2; 2]	0.33
Indizierte Defibrillationen [%]	100 [100; 100]	100 [100; 100]	1.00
Mittlerer Abstand der Defibrillationen [min:sec]	01:44 [01:41; 02:21]	01:36 [01:36; 01:36]	0.67
Mittlere Abweichung der Defibrillationen vom 2-Minuten-Intervall [s]	42 [26; 45]	24 [24; 24]	0.67
Beatmungsfrequenz [1/min]	2.21 [1.90; 2.85]	4.02 [3.78; 4.53]	0.02
Zeit bis zum ROSC [min:sec]	07:38 [07:28; 08:09]	06:32 [06:22; 06:53]	0.03

Tabelle 6: Vergleich der von Ärzten durchgeführten Szenarien nach Leitlinienfassung
(p-Werte, die statistische Signifikanz anzeigen, sind fett gedruckt; Abkürzungen: ALS – Advanced Life Support; l – Liter; LL2005 Reanimationsleitlinien von 2005; LL2010 – Reanimationsleitlinien von 2010; min – Minute; ROSC - return of spontaneous circulation, Wiedereintritt eines Spontankreislaufes; sec – Sekunde)

3.2.4 Vergleich der Reanimationsszenarien hinsichtlich des initialen Herzrhythmus

In Szenarien mit initial defibrillationswürdigem Herzrhythmus war die prozentuale No-flow-Zeit signifikant höher als in Szenarien mit nicht-defibrillationspflichtigem Herzrhythmus. Das mediane Cardiac output war nicht signifikant unterschiedlich, ebensowenig die Zeit bis zur ersten Adrenalingabe und Zeit bis zum ROSC. Auffällig war jedoch eine schnellere Aufnahme der Reanimation bei defibrillationspflichtigem Herzrhythmus (Tabelle 7).

	Defibrillations- pflichtiger Herzrhythmus	Nicht-defibrillations- würdiger Herzrhythmus	p
	<i>n = 11</i>	<i>n = 8</i>	
Medianes Cardiac output [l/min]	1,80 [1,65; 1,98]	1,75 [1,68; 1,83]	0,64
Prozentuale No-flow-Zeit [%]	31,3 [25,4; 42,3]	21,9 [15,3; 26,3]	0,01
Zeit bis zum Beginn der Reanimation [sec]	21 [14; 27]	32 [21; 36]	0,01
Zeit bis zur ersten Adrenalingabe [min:sec]	05:21 [04:44; 06:11]	03:49 [03:32; 05:26]	0,13
Zeit bis zur ersten Defibrillation [min:sec]	02:19 [01:42; 02:51]	--	--
Indizierte Defibrillationen (absolut)	4 [3; 4]	--	--
Indizierte Defibrillationen [%]	100 [100; 100]	--	--
Mittlerer Abstand der Defibrillationen [min:sec]	01:44 [01:35; 02:27]	--	--
Mittlere Abweichung der Defibrillationen vom 2-Minuten-Intervall [s]	40 [28; 51]	--	--
Beatmungsfrequenz [1/min]	2,27 [1,72; 2,70]	1,76 [0,20; 3,46]	0,49
Zeit bis zum ROSC [min:sec]	07:34 [06:59; 08:05]	07:16 [07:03; 07:33]	0,49

Tabelle 7: Vergleich nach initialem Herzrhythmus

(p-Werte, die statistische Signifikanz anzeigen, sind fett gedruckt; Abkürzungen: l – Liter; min – Minute; ROSC - return of spontaneous circulation, Wiedereintritt eines Spontankreislaufes; sec – Sekunde)

3.2.5 Vergleich der einzelnen Kursmodule

Abschließend wurden die Leistungen in den einzelnen Kursmodulen verglichen. Das mediane Cardiac output veränderte sich von Modul zu Modul kaum. Bei der prozentualen No-flow-Zeit war ein deutlicher Anstieg in Modul 2 gegenüber Modul 1 zu verzeichnen, wenngleich nicht auf statistisch signifikantem Niveau. In Modul 3 und Modul 4 war ein Abfall der prozentualen No-flow-Zeit zu verzeichnen, in Modul 4 wurde annähernd das Niveau der BLS-Szenarien aus Modul 1 erreicht (Tabelle 8, Abbildung 4); weiterhin zeigte sich eine Abnahme der Streuung.

	Modul 1	Modul 2	Modul 3	Modul 4
	<i>n = 15</i>	<i>n = 9</i>	<i>n = 8</i>	<i>n = 2</i>
Medianes Cardiac output [l/min]	1,90 [1,63; 2,05]	1,80 [1,70; 1,85]	1,70 [1,60; 1,84]	1,85 [1,83; 1,88]
<i>p</i>	0,95	0,53	--	
Prozentuale No-flow-Zeit [%]	20,7 [17,4; 26,5]	30,4 [21,4; 46,1]	26,4 [20,0; 32,3]	22,9 [22,4; 23,3]
<i>p</i>	0,08	0,41	--	

Tabelle 8: Medianes Cardiac output und prozentuale No-flow-Zeit im Kursverlauf

(p-Werte, die statistische Signifikanz anzeigen, sind fett gedruckt; Abkürzungen: l – Liter; min – Minute; sec – Sekunde)

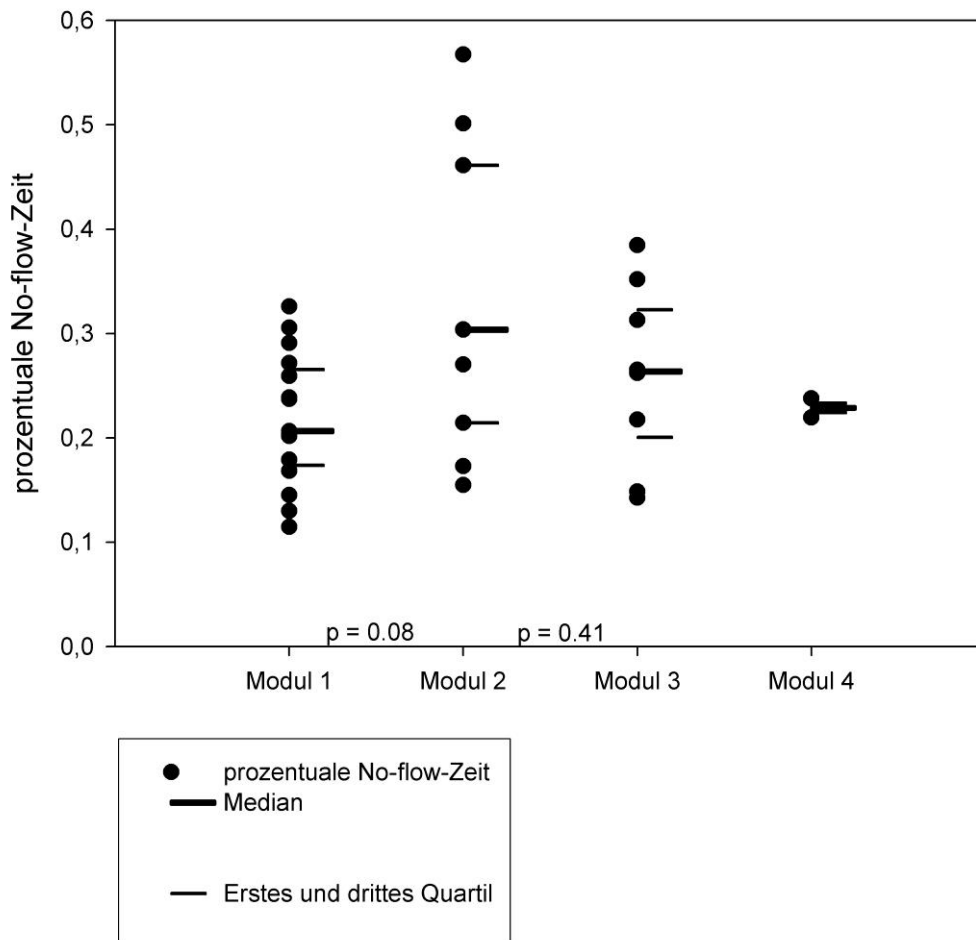


Abbildung 4: prozentuale No-flow-Zeit im Kursverlauf

4 Diskussion

4.1 Beurteilung des Leitlinienvergleichs

Erklärtes Ziel der LL2010 war die Minimierung der prozentualen No-flow-Zeiten und die Verbesserung der Qualität der Thoraxkompressionen (Deakin et al., 2010). Im Vergleich aller durchgeführten Szenarien liefern unsere Daten Hinweise, dass es durch Umsetzung der neuen Reanimationsleitlinien möglich ist, die prozentuale No-flow-Zeit zu reduzieren. Konsequenterweise steigt hiermit auch das erzielte Cardiac output. Betrachtet man allerdings alle eingeschlossenen ALS-Szenarien ohne die BLS-Szenarien, so lässt sich nur noch eine statistisch signifikante Verbesserung des medianen Cardiac outputs nachweisen; gleichzeitig besteht ein Trend zu einer Verbesserung der prozentualen No-flow-Zeit, ohne dass dieser Unterschied statistisch signifikant ist.

Die Fragebögen zur Erhebung von demographischen Daten sowie Reanimations-erfahrung und Trainingsstand wurden leider von lediglich 56,6 % der Teilnehmer ausgefüllt; ein potentieller Grund liegt in der Tatsache, dass die Fragebögen am Ende der Trainings ausgeteilt wurden, als die Teilnehmer nach Hause gehen wollten. Auch wenn die erhobenen Daten nicht den Anspruch erheben, repräsentativ zu sein, so liefern sie doch Hinweise, dass die Subgruppen von ärztlichem und nichtärztlichem Personal deutliche Unterschiede in Bezug auf Erfahrung und Trainingsstand aufwiesen. Aufgrund der inhomogenen Verteilung von ärztlichem und nichtärztlichem Personal auf die verschiedenen Leitlinienversionen wurde daher eine Subgruppenanalyse der ausschließlich von Ärzten durchgeführten Szenarien durchgeführt. In dieser Subgruppenanalyse waren sowohl beim Vergleich aller Szenarien als auch beim Vergleich der ALS-Szenarien eine konsistente

Verbesserung sowohl der prozentualen No-flow-Zeit als auch des medianen Cardiac output nachweisbar, wenn nach LL2010 reanimiert wurde.

In der Gesamtschau der Ergebnisse liefern die Daten somit gute Hinweise, dass das Ziel einer Minimierung der Unterbrechungen der Herzdruckmassage mit Implementierung der neuen Leitlinien erreicht werden konnte.

Um Unterschiede in der Qualität der Thoraxkompressionen detektieren zu können, wurde das mediane Cardiac output in der Subgruppe der BLS-Szenarien betrachtet, da anzunehmen war, dass in dieser Subgruppe die prozentualen No-flow-Zeiten im Wesentlichen gleich sein würden und Unterschiede im medianen Cardiac output somit auf Änderungen der Qualität der Thoraxkompressionen und nicht auf Änderungen der prozentualen No-flow-Zeiten zurückzuführen sind. Wie erwartet zeigte sich für die Untergruppe der BLS-Szenarien kein Unterschied in der prozentualen No-flow-Zeit vor und nach Implementierung der neuen Leitlinien. Gleichzeitig scheint in dieser Subgruppe ein Unterschied für das mediane Cardiac output zwar vorhanden zu sein, allerdings ist er nicht statistisch signifikant. Wir werten dies als Hinweis, dass sich die Qualität der Herzdruckmassage allenfalls leicht verbessert hat. Der Hauptanteil der Steigerung des medianen Cardiac output nach der Implementierung der neuen Leitlinien scheint also auf der Minimierung der No-flow-Zeit zu beruhen.

Die Verbesserung der Qualität der Herzdruckmassage und die Reduktion von Unterbrechungen der Thoraxkompressionen war auch bereits eines der Ziele der Reanimationsleitlinien von 2005 gewesen (Nolan, 2005). Nach Implementierung der LL2005 hatten sowohl Perkins et al. als auch Ilper et al. eine Reduktion der prozentualen No-flow-Zeiten gefunden. Allerdings hatten Perkins et al. konstatiert, dass die Qualität der Thoraxkompressionen unabhängig von der unterrichteten

Leitlinienversion suboptimal sei (Perkins et al., 2008; Ilper et al., 2012). Diese Studien wurden mit professionellem Rettungsdienstpersonal durchgeführt. Unser Ergebnis bestätigt die Gültigkeit der Ergebnisse von Perkins et al. sowie Ilper et al. auch nach Einführung der LL2010 und für vergleichsweise unerfahrenes Personal.

Der Grund für diese Erkenntnis mag einerseits darin zu suchen sein, dass es schwierig ist, eine optimale Technik der Herzdruckmassage zu unterrichten, auch wenn die Instrukturen gehalten waren, beim Debriefing die Wichtigkeit der Qualität der Thoraxkompressionen zu betonen. Andererseits ist bekannt, dass die Durchführung einer suffizienten Herzdruckmassage körperlich sehr anstrengend ist, weshalb der für die Thoraxkompressionen zuständige Helfer alle zwei Minuten ausgetauscht werden sollte (Nolan et al., 2005; Koster et al., 2010). Möglicherweise ist der Grund dafür, dass sich die Qualität der Herzdruckmassage trotz optimierter Vorgaben nur noch unwesentlich zu verbessern schien, in der physischen Konstitution der Helfer zu suchen. Dieses Ergebnis kann also Ermutigung sein, den Stellenwert von Reanimationsgeräten, die die Thoraxkompressionen automatisieren, weiter zu erforschen. Auch die Rolle von Feedback-Geräten, die bereits während der Thoraxkompressionen Rückmeldung über Tiefe, Frequenz und korrekte Entlastung geben, sollte in randomisierten prospektiven Studien weiter erforscht werden, wie dies auch in den aktuellen Leitlinien ausdrücklich gefordert wird (Koster et al., 2010).

Ebenso wie die NAW-Besatzungen wichen auch die Teilnehmer der Reanimationstrainings häufig vom vorgegebenen Algorithmus ab, und zwar unabhängig von der unterrichteten Leitlinienfassung. Insbesondere beim Einhalten des 2-Minuten-Zyklus für die Rhythmusanalyse und Defibrillation bestanden große Schwierigkeiten. Im Gegensatz zu den NAW-Besatzungen, die deutlich zu lange Abstände zwischen den Defibrillationen hatten, ist der mittlere Abstand der Defibrillationen allerdings eher zu

kurz und liegt deutlich näher an dem vorgegebenen Intervall von 2 Minuten. Gleichzeitig war jedoch eine hohe mittlere Abweichung von diesem 2-Minuten-Intervall zu registrieren, die eine hohe Varianz anzeigt und interessanterweise im gleichen Bereich wie die Streuung der NAW-Besatzungen liegt. Den Teilnehmern der Reanimationstrainings stand, wie auch den NAW-Besatzungen, der verwendete Defibrillator nur im manuellen Modus zur Verfügung. Wenngleich es ermutigend ist, dass die Teilnehmer der Trainings den Algorithmus nicht schlechter einhalten als professionelle NAW-Besatzungen, so zeigt das Ergebnis doch deutlich, dass in einer Reanimationssituation, die besonders zu Beginn das gleichzeitige Management vieler verschiedener Aufgaben verlangt, ein klarer Zeitgeber eine wesentliche Hilfe für das Umsetzen des zyklischen Arbeitens sein kann. Hierzu eignet sich z.B. der bei den meisten Defibrillatoren zur Verfügung stehende halbautomatische Modus, da dieser bei fast allen Geräten alle zwei Minuten durch akustische und/oder optische Signale eine Unterbrechung der Thoraxkompressionen zur Rhythmusanalyse einfordert und somit eine Rolle als Taktgeber spielen kann. Dieses Ergebnis mag als Ermutigung dienen, in weiteren Studien zu untersuchen, ob die Verwendung des halbautomatischen Modus zu einer besseren Algorithmustreue führt und ob für Reanimationssituationen die generelle Verwendung des halbautomatischen Modus empfehlenswert ist.

Nach den LL2005 war empfohlen, vor der ersten Rhythmusanalyse für etwa zwei Minuten CPR durchzuführen; diese Empfehlung wurde mit den LL2010 dahingehend revidiert, CPR nur durchzuführen, bis der Defibrillator einsatzbereit ist (Deakin und Nolan, 2005; Deakin et al., 2010). Daher ist es erstaunlich, dass sich die Zeit bis zur ersten Defibrillation in den nach den LL2010 durchgeführten Trainings nicht verkürzt hat. Über die Gründe hierfür kann nur spekuliert werden. Möglicherweise ist es für

untrainierte Helfer schwierig, in weniger als zwei Minuten die Reanimationspflichtigkeit des Patienten festzustellen, eine qualitativ hochwertige Herzdruckmassage zu etablieren, die Elektroden anzubringen und den Herzrhythmus zu analysieren. Obwohl dies so unterrichtet wurde, erscheint es notwendig, dass die Instruktoren die Wichtigkeit der frühestmöglichen Defibrillation noch stärker betonen.

Auch bei den Zeitpunkten der ersten Adrenalingabe wird eine geringe Übereinstimmung mit den Vorgaben der Leitlinien deutlich: So soll bei nicht defibrillationswürdigem Rhythmus die Adrenalingabe so schnell wie möglich erfolgen, bei defibrillationspflichtigem Rhythmus aber erst vor bzw. nach der dritten Defibrillation, gemäß LL2005 also etwa 6 Minuten nach Aufnahme der CPR bzw. gemäß LL2010 4-6 Minuten nach Aufnahme der CPR (Nolan et al., 2005; Deakin et al., 2010). Die unterschiedlichen Soll-Zeitpunkte der Adrenalingabe abhängig vom vorliegenden Herzrhythmus schlugen sich in den gemessenen Werten jedoch nicht nieder. Möglicherweise ist es für den untrainierten Helfer unmöglich, die Zeit für die Vorbereitung von Infusionen und Medikamenten sowie das Schaffen eines peripher-venösen Zugangs auf weniger als sechs Minuten zu verkürzen.

Außerdem sollte die erste Adrenalingabe aufgrund des Wegfalls der zweiminütigen CPR-Sequenz vor der ersten Rhythmusanalyse in den LL2010 etwa zwei Minuten früher erfolgen als in den nach LL2005 abgehaltenen Szenarien. Auch dies konnte durch die Teilnehmer nicht umgesetzt werden. Dies erklärt sich daraus, dass der Zeitpunkt der ersten Adrenalingabe vom Zeitpunkt der Defibrillationen determiniert wird und dass die erste Defibrillation (abweichend vom vorgegebenen Algorithmus) in der Gruppe der nach LL2010 abgehaltenen Szenarien nicht früher erfolgt ist als in den nach LL2005 durchgeführten Szenarien. Bemerkenswert ist jedoch, dass die

Adrenalingabe in den Szenarien mit initial defibrillationspflichtigem Rhythmus regelhaft zu früh erfolgte.

Die in den vorangegangenen Absätzen diskutierten Ergebnisse zeigen, dass die Kursteilnehmer auch bei Reanimationen nach dem neuen Algorithmus von 2010 unveränderte Schwierigkeiten haben, sich eng an den Algorithmus zu halten. Das Ziel einer höheren Algorithmustreue durch Vereinfachung des Algorithmus ist somit nicht erreicht worden.

Bei Vorliegen eines defibrillierbaren Rhythmus zu Beginn des Szenarios war die prozentuale No-flow-Zeit signifikant höher. Das begründet sich dadurch, dass bei einem defibrillationspflichtigen Herzrhythmus die Thoraxkompressionen für die Defibrillation zumindest kurzzeitig unterbrochen werden müssen. Dies sehen wir als Zeichen der Validität des von uns entwickelten Assessment-Tools.

Bereits in mehreren älteren Studien wurde festgestellt, dass Instruktoren häufig vom vorgegebenen Kurscurriculum abweichen und es an eigene Bedürfnisse adaptieren, was negative Effekte auf den Lernerfolg hatte (Kaye et al., 1991; Brennan, 1991; Batcheller et al., 2000). Dies konnte auch in der vorliegenden Studie bestätigt werden: Die Abweichung im 4. Kurs war so gravierend, dass sie zum Ausschluss einer nicht unerheblichen Anzahl von Szenarien führte, obwohl alle Instruktoren zuvor ausführlich in das Curriculum eingewiesen worden waren. Die Instruktoren müssen in Zukunft noch stärker auf die Problematik von Adaptionen des Kurscurriculums und deren negative Auswirkungen hingewiesen werden, um eine höhere Curriculumstreue zu erreichen.

4.1.1 Limitationen

Die Aussagekraft unserer Studie wird durch einige Störfaktoren eingeschränkt: Besonders kritisch zu bewerten ist die hohe Anzahl an ausgeschlossenen Szenarien und die dadurch bedingte geringe Fallzahl. Dies gilt umso mehr, da die hohe Quote verworfener Szenarien auch zu einer inhomogenen Verteilung von Szenarien mit defibrillationspflichtigem und Szenarien bzw. mit nicht defibrillationswürdigem Herzrhythmus beitrug. Da der initiale Herzrhythmus wie oben gezeigt Einfluss auf die gemessenen Qualitätsparameter hatte, muss auch damit gerechnet werden, dass durch diese Inhomogenität die Ergebnisse des Leitlinienvergleichs beeinflusst wurden.

Der Ausschluss aus der Studie beruhte beim überwiegenden Teil der Szenarien auf technischen Problemen mit Hardware und Software des verwendeten Simulators. Abgesehen von der Möglichkeit, die Reanimationsleistung anhand physiologischer Parameter zu erfassen, scheint ein High-fidelity-Simulator mit seiner hochsensiblen Technik also den hohen physikalischen Belastungen von Reanimationstrainings nur bedingt gewachsen zu sein.

Auch aufgrund des retrospektiven Designs dieser Observationsstudie und der damit verbundenen Inhomogenität in Bezug auf Berufsgruppe, untersuchte Leitlinie und Herzrhythmus bei Beginn des Szenarios müssen die Ergebnisse mit Vorsicht interpretiert werden. Auf der anderen Seite ist die Durchführung randomisiert-kontrollierter Studien bei der Fragestellung nach der Wirksamkeit verschiedener entweder bereits publizierter oder noch nicht publizierter Leitlinien naturgemäß schwierig. Gleichzeitig ist festzuhalten, dass die Ergebnisse in Analysen mit homogenen Subgruppen weitgehend reproduzierbar waren, was für ihre Validität spricht.

In unserer Studie wurden Pflegepersonal und Ärzte getrennt unterrichtet. Dies entspricht nicht der üblichen Teamzusammensetzung in der Realität. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die klinische Praxis, wo überwiegend gemischte Reanimationsteams aus Pflegepersonal und Ärzten angetroffen werden, kann hierunter ebenfalls leiden.

Darüber hinaus ist nicht auszuschließen, dass die neuen, zum Zeitpunkt der Trainings gerade erst veröffentlichten Leitlinien durch die Instruktoren mit mehr Enthusiasmus und Engagement vermittelt wurden und die Kernelemente den Instruktoren präsenter waren.

4.2 Beurteilung des Evaluationsverfahrens

Bei der Evaluation mit Checklisten besteht oft eine hohe Variabilität zwischen verschiedenen Beobachtern, außerdem wird die Leistung häufig überschätzt (Jansen et al., 1997; Perkins et al., 2001; Ringsted et al., 2007). Das von uns vorgestellte Beurteilungsverfahren verzichtet daher auf Checklisten zur Bewertung der Reanimationsleistung. Wie von Brennan und Jansen empfohlen (Brennan et al., 1996; Jansen et al., 1997), werden die Qualität von Thoraxkompressionen und Beatmungen ausschließlich über die Aufzeichnungen des Simulators beurteilt. Da auch alle weiteren erhobenen Qualitätsmerkmale aus Simulatordaten erhoben werden, entfällt eine Variabilität zwischen unterschiedlichen Beobachtern. Das dargestellte System ist jederzeit an jedem ECS reproduzierbar und einfach anzuwenden.

Soweit dies möglich war, wurden die Vorschläge von Kramer-Johansen et al. zur Qualitätsmessung von Reanimationsleistungen (Kramer-Johansen et al., 2007) in

unserer Beurteilungsmethode umgesetzt, um eine möglichst hohe internationale Vergleichbarkeit zu erreichen. Absolute und prozentuale No-flow-Zeiten sowie die durchschnittliche Beatmungsfrequenz konnten problemlos ermittelt werden. Da der *ECS* jedoch keine Informationen über Frequenz und Tiefe der Thoraxkompressionen sowie die Entlastung liefert, musste zur Beurteilung der Qualität der Thoraxkompressionen ein alternativer Parameter gefunden werden. Das errechnete Cardiac output erfüllt unserer Meinung nach diese Anforderungen gut, da es von Kompressionstiefe, Kompressionsfrequenz und Entlastung determiniert wird und diese Determinanten über die Zeit integriert. Die für das Outcome des Patienten relevante Zielgröße ist das Cardiac output; Frequenz der Thoraxkompressionen und Kompressionstiefe bestimmen diese Größe aus der Perspektive des Behandelnden, während das Cardiac output das direkte Maß aus der Perspektive des Patienten darstellt.

Die Messreihe der NAW-Besatzungen zeigt deutliche Schwankungen von Team zu Team bei mehreren der ausgewerteten Qualitätsmarker: So liegt die höchste prozentuale No-flow-Zeit bei 43,6 %, während das beste Team einen Wert von 13,4 % erreichte. Auch die Werte des Zeitpunkts der ersten Defibrillation, des mittleren Abstands der Defibrillationen und der Abweichung der Defibrillationen von dem in den Leitlinien geforderten 2-Minuten-Intervall unterliegen von Team zu Team deutlichen Schwankungen. In den LL2005 war eine CPR von 2 Minuten vor der ersten Rhythmusanalyse und Defibrillation gefordert (Deakin und Nolan, 2005), dies wurde nur von drei der fünf Teams annähernd eingehalten. Ein Team benötigte etwa 3 Minuten bis zur ersten Defibrillation, ein Team führte die erste Rhythmusanalyse und Defibrillation vor allen anderen Maßnahmen durch und wandte somit Leitlinien aus dem Jahre 2000 an. Die Abstände zwischen den Defibrillationen waren bei allen

Teams deutlich zu lang. Auch der Zeitpunkt der ersten Adrenalingabe weist eine breite Streuung auf. Bei korrekter Anwendung des Algorithmus erfolgt die erste Applikation von Adrenalin unmittelbar vor der dritten Defibrillation und somit etwa 6 Minuten nach Aufnahme der CPR. Dies wurde nur von einem Team annähernd eingehalten. Ein weiteres Team gab Adrenalin deutlich vor der dritten Defibrillation, alle anderen NAW-Besatzungen gaben Adrenalin mit deutlicher Verspätung. Auffallend ist auch eine breite Streuung in der Zeit bis zum Eintritt des ROSC. Dies korrelierte erwartungsgemäß mit den zu langen Abständen zwischen den Defibrillationen und den verspäteten Medikamentengaben, da die Medikamentengabe und Defibrillationen die automatische Konversion in einen Sinusrhythmus bewirken. Bei genauer Anwendung der LL2005 sollte die vierte Defibrillation die Konversion bewirken, dies sollte etwa acht Minuten nach Aufnahme der CPR der Fall sein. Dies wurde jedoch nur von zwei Teams annähernd erreicht, im Schnitt benötigten die Besatzungen zwölf Minuten, um das Szenario zu lösen. Bei der Betrachtung der zu den Szenarien gehörenden Videoaufnahmen konnten diese aus den Simulatordaten erkennbaren Abweichungen vom Algorithmus verifiziert werden. Somit zeigen die Ergebnisse, dass selbst hochprofessionelle Teams teilweise deutlich vom vorgegebenen ALS-Algorithmus abgewichen sind und dass unser Evaluationsverfahren geeignet ist, diese Abweichungen zu detektieren. Nachdem solche Abweichungen vom Algorithmus auch in anderen Studien berichtet wurden (Thorén et al., 2001; Losert et al., 2006; Olasveengen et al., 2007), sind sie nicht als Zeichen einer fehlenden Validität des Messverfahrens zu werten, sondern ein Zeichen der normalen Unterschiede im Hinblick auf Qualität der Reanimation und Algorithmustreue. Somit unterstützen diese Ergebnisse in der Zusammenschau die Annahme der Validität und zeigen, dass das von uns entwickelte Messverfahren

geeignet ist, Unterschiede in der Reanimationsqualität und Algorithmustreue zu detektieren.

Die registrierten Werte der prozentualen No-flow-Zeiten liegen im Bereich der in anderen Studien berichteten Werte (Abella et al., 2005; Losert et al., 2006; Olasveengen et al., 2007; Perkins et al., 2008). Die erreichten Werte des Cardiac output zeigen eine weitgehende Konsistenz, wie sie von erfahrenen ALS-Providern zu erwarten ist. Beides spricht ebenfalls für die Validität des Messverfahrens.

Die von den NAW-Besatzungen erzielten durchschnittlichen Werte des medianen Cardiac output und der prozentualen No-flow-Zeit können als Anhaltspunkt zur Einschätzung der von Kursteilnehmern erbrachten Leistungen dienen. Bei allen anderen Qualitätsindikatoren sollten die von den Probanden erzielten Werte jedoch in Bezug zu den errechneten Sollwerten der jeweils gültigen Leitlinienfassung gesetzt werden. Ein großer Vorteil hierbei ist, dass die Werte als Rohdaten ausgegeben werden und so leicht durch den Instruktor zu den Sollwerten des jeweils aktuell gültigen ALS-Algorithmus in Bezug gesetzt und interpretiert werden können. Durch diesen Zwang zur eigenständigen Interpretation von Rohdaten auf der Grundlage der aktuellen Leitlinien ist die Messmethode auch bei größeren Veränderungen der Leitlinien unmittelbar anwendbar, da lediglich die Sollwerte als fiktiver Goldstandard jeweils neu errechnet werden müssen.

Gilpin et al. unterscheiden Simulatoren, die auf sogenannten statischen Modellen beruhen, von solchen, die auf sogenannten deduktiven Modellen beruhen. Unter statischen Modellen verstehen die Autoren solche, bei denen Daten aus experimentellen Beobachtungen verwendet werden, um den Output direkt ohne Rekonstruktion des zugrunde liegenden Mechanismus zu erzeugen. Sie sind einfacher zu konstruieren, und sehr präzise und leicht zu validieren, da sie aus

experimentellen Daten resultieren. Allerdings muss für jeden denkbaren Output ein neuer Datensatz programmiert werden. Die Übergänge zwischen verschiedenen Datensätzen sind oft sehr abrupt und daher unrealistisch. Gesteuert werden solche Simulatoren unter Verwendung von Skripten, die die Abfolge der Datensätze festlegen. Unter deduktiven Modellen werden hingegen Modelle verstanden, bei denen ein mathematisches Modell den dem Output zugrunde liegenden physiologischen Mechanismus repräsentiert. Die Programmierung solcher Modelle erfordert mehr Kenntnisse der Physiologie und ist zunächst aufwendiger. Sind sie jedoch implementiert, ist es einfacher, weitere Parameter zu implementieren und der Komplexität sind kaum Grenzen gesetzt. Sie erlauben Vorhersagen über das Verhalten eines realen Patienten (Gilpin et al., 2012).

Die uns bekannten früheren Studien wurden mit auf Reanimationsszenarien spezialisierten, auf statischen Modellen beruhenden Simulatoren durchgeführt. Im Gegensatz hierzu basiert der von uns verwendete *ECS* mit den von uns programmierten automatisierten Steuerungs- und Assessment-Skripten auf deduktiven Modellen nach Gilpin et al. (Gilpin et al., 2012; van Meurs et al., 1997). Eine wichtige und nur mittels deduktiver Modelle realisierbare Eigenschaft der Szenarios war, dass sie zwar einerseits standardisiert waren, andererseits aber dynamisch auf die Maßnahmen der Trainingsteilnehmer reagierten. Dies erhöht einerseits den Realismus der Simulation; andererseits wurde so die Leistung der Teilnehmer – unseres Wissens erstmals – anhand des Outcomes und der physiologischen Parameter eines Simulators beurteilt, was einen neuen vielversprechenden Ansatz in der Simulations- und Reanimationsforschung darstellt, der jedoch auf die Gültigkeit der in den Simulator implementierten physiologischen Modelle angewiesen ist.

4.2.1 Limitationen

Da der Simulator keine Daten zu Frequenz, Tiefe und Entlastung der Thoraxkompressionen liefert, wurde die Qualität der Herzdruckmassage anhand des Cardiac output beurteilt. Wie oben dargelegt, ist dieses unserer Meinung nach gut geeignet, die Qualität der Thoraxkompressionen zu beurteilen. Die erzwungene Abweichung von den Vorschlägen Kramer-Johansens schränkt allerdings die Vergleichbarkeit zu anderen Studien ein.

Außerdem muss man bezüglich der Aussagekraft der durch den *ECS* ermittelten Parameter zur Qualität der Reanimation festhalten, dass eine Eichung der Druckabnehmereinheit für die Thoraxkompressionen nicht möglich ist, sondern lediglich durch die Vorspannung des an dieser Stelle eingesetzten Bowdenzugs definiert wird. Ein Austausch dieses Teils (z.B. bei Bruch) kann also Auswirkungen auf die Berechnung des Cardiac output haben. In unserer Studie wurde der Austausch dieses Teils einmal notwendig nach der Erhebung der Testreihe mit den NAW-Teams. Ein Vergleich der NAW-Teams mit den später durchgeführten Reanimationsszenarien ist im Hinblick auf die Absolutwerte des Cardiac output daher nicht möglich. Eichungsversuche mittels eines mechanischen Reanimationsgeräts scheiterten, da der *ECS* den mechanischen Belastungen nicht gewachsen war.

Trotz dieser Einschränkungen soll an dieser Stelle jedoch betont werden, dass das mediane Cardiac output zur Beurteilung der Entwicklung der Qualität der Thoraxkompressionen und zum Vergleich verschiedener Versuchsgruppen innerhalb einer Messreihe geeignet ist. Voraussetzung ist jedoch, dass innerhalb der gesamten

Messreihe kein Austausch des Bowdenzugs notwendig wird und dass alle Messungen an dem gleichen Mannequin stattfinden.

Leider war es nicht möglich, einen Parameter zu identifizieren, der eine Aussage über die Suffizienz der Beatmungen macht. Linkes und rechtes Lungenvolumen, die sich bei Durchführung einer Beatmung ändern, werden im *Physio-Log* nicht registriert. Das Tidalvolumen, das im *Physio-Log* registriert wird, gilt nur für die Spontanatmung und verbleibt bei Durchführung einer Beatmung bei 0 ml. Die ebenfalls registrierten Werte der peripheren Sauerstoffsättigung und des arteriellen Sauerstoffpartialdrucks erwiesen sich ebenfalls als unbrauchbar.

Außerdem fällt bei Betrachtung der mittleren Beatmungsfrequenzen auf, dass diese extrem niedrig sind. Diese gemessenen niedrigen Werte sind aufgrund zweier Probleme zu erklären. Zum einen ist es bei dem vorliegenden Mannequin auch für erfahrene Anästhesisten extrem schwierig, eine suffiziente Beutel-Masken-Beatmung durchzuführen. Dies wurde bei Entwicklung der Steuerungsskripte wiederholt getestet, auch unter Verwendung verschiedenster Maskenformen. Um sichtbare Thoraxexkursionen zu erzielen, muss mit unrealistisch hohen Beatmungsdrücken und hohen Atemhubvolumina beatmet werden. Andererseits kann es bei dem vorliegenden Steuerungsskript vorkommen, dass die Beatmung nicht erkannt wird, wenn sie (bei Reanimation im Verhältnis von 30 Thoraxkompressionen zu 2 Beatmungen) unmittelbar in die Entlastungsphase der letzten Thoraxkompression fällt. Dies liegt daran, dass die Beatmung nur erkannt wird, wenn sich das Skript im *State „Keine HDM“* befindet. Da in der letzten Entlastungsphase der systolische Blutdruck jedoch meist gerade noch über 40 mmHg liegt, befindet sich das Steuerungsskript zu diesem Zeitpunkt noch im *State „HDM“*. Die Erkennung einer Beatmung auch im *State „HDM“* wurde in der Entwicklungs- und Testphase

programmiert, musste jedoch wieder verworfen werden, da bei Durchführung der Herzdruckmassage geringe Variationen des Lungenvolumens entstehen, die eine fälschliche Erkennung einer Beatmung triggern. Dies würde trotz durchgeführter Thoraxkompressionen zu einem Verlassen des States „HDM“, auf dessen Grundlage die prozentuale No-flow-Zeit berechnet wird, und somit dies zu einer Verfälschung dieses Qualitätsindikators führen. Die gleiche Problematik tritt noch ausgeprägter auf, wenn nach endotrachealer Intubation leitliniengemäß beatmet wird, ohne hierfür die Herzdruckmassage zu unterbrechen. Da die prozentuale No-flow-Zeit gegenüber der Beatmungsfrequenz als der höherwertige Qualitätsindikator erachtet wurde, wurde die Erkennung von Beatmungen im State „HDM“ nicht in das endgültige Steuerungsskript integriert. Somit muss festgehalten werden, dass die Erkennung der Beatmung unzuverlässig ist und die errechneten Werte für die Beatmungsfrequenz nur für den Zeitpunkt vor der endotrachealen Intubation gelten und mit Vorsicht zu interpretieren sind.

Auch wenn unsere Evaluationsmethode nicht gegen andere etablierte Methoden der Leistungsevaluation auf Validität und Reliabilität überprüft ist, so bietet sie mit ihrer objektiven Analyse der technischen Fertigkeiten einen interessanten Ansatz für weitere Studien zu diesem Thema; insbesondere sollten Reliabilität und Validität in einer Studie mit größerer Fallzahl abschließend nachgewiesen werden.

4.3 Beurteilung des Kurscurriculums

Das für die adäquate Durchführung einer CPR erforderliche Wissen wird nur schwer erworben (Wik et al., 2002; Chamberlain und Hazinski, 2003; Woollard et al., 2006) und ohne Anwendung oder regelmäßiges Üben auch schnell wieder vergessen (Zeitzi et al., 2003; Abella et al., 2005; Wayne, Siddall et al., 2006), da Reanimationen für

die meisten Lernenden seltene Ereignisse sind (Wayne, Siddall et al., 2006; Hunziker et al., 2011) und das Intervall zwischen Training und Anwendung daher häufig groß ist (Wayne, Siddall et al., 2006). Der Verlust von Fähigkeiten oder Wissen nach einer Periode des Nicht-Gebrauchs ist ein bekanntes Phänomen. Nach Arthur et al. ist der Verlust an Wissen umso größer, je länger der Zeitraum ohne Anwendung des Wissens ist (Arthur Jr. et al., 1998).

Innerhalb der Reanimationsleitlinien des *ERC* widmet sich daher jeweils ein eigener Abschnitt dem Thema der Ausbildung. Als essenzieller Teil der Reanimationsausbildung wird Szenario-basierte Kleingruppenarbeit unter Einschluss von High-fidelity-Simulation mit vorhergehendem Briefing und abschließendem Debriefing gesehen (Soar et al., 2010). Unter Simulation versteht man hierbei eine Lehrmethode, die interaktive Handlungen erlaubt, indem sie Teile oder auch alle klinischen Erfahrungen reproduziert, ohne dabei den Patienten oder andere einem Risiko auszusetzen (Perkins, 2007). Bis auf wenige Ausnahmen ist Simulation in Studien im Vergleich mit konventionellen Lehrmethoden mit besserem Lernerfolg in Bezug auf Wissen, Fähigkeiten und Verhalten assoziiert (Perkins, 2007).

Aus diesem Grund und weil frühere Studien immer wieder die unzureichende Übungszeit kritisierten (Kaye et al., 1991; Chamberlain und Hazinski, 2003), war die Simulation an einem High-fidelity-Simulator der zentrale Bestandteil unserer Reanimationslehrgänge und nahm den überwiegenden Teil des Trainings ein. Ziel war es, auf diese Weise den Lernerfolg der Teilnehmer zu maximieren. Auch die Empfehlung, den simulierten Szenarien ein Briefing voranzustellen und sie mit einem Debriefing abzuschließen (Soar et al., 2010), wurde konsequent umgesetzt.

Erwachsene Lernende gelten als unabhängig und selbstbestimmt und suchen eine prompte Anwendung für das Gelernte (Sahu und Lata, 2010). Sahu und Lata

vertreten die Auffassung, dass diesen Erwartungen durch aktive praktische Übung in einer simulierten Umgebung am besten entsprochen werden kann. In einem solchen interaktiven Setting lernen Erwachsene schneller und memorieren den Lernstoff besser, weshalb die Autoren in der Simulation das ideale Werkzeug zur Ausbildung sehen (Sahu und Lata, 2010). Da die Motivation erwachsener Lernender von ihrem sozialen und beruflichen Umfeld mitbestimmt wird (Sahu und Lata, 2010), ist es wichtig, dass das Reanimationstraining auf die speziellen Bedürfnisse der Teilnehmer ausgerichtet ist (Chamberlain und Hazinski, 2003) und auf konkrete Probleme des jeweiligen Arbeitsumfelds der Teilnehmer eingegangen werden kann. Unser Kurskonzept sieht daher vor, dass die Instruktoren trotz der notwendigen Standardisierung der Trainings die Szenarien an die jeweils spezifischen Bedürfnisse der Teilnehmer anpassen, indem die Situation, in der der ALS durchzuführen ist, variiert wird. So werden die Teilnehmer trainiert, ihre erworbenen Fähigkeiten neu zu verknüpfen und in einem jeweils neuen Kontext einzusetzen. Eine Variation des Schwierigkeitsgrades eines Szenarios je nach Lernfortschritt der Teilnehmer und ein Aufzeigen klinischer Variationen desselben Krankheitsbildes sind problemlos möglich. Dies erhöht für die Teilnehmer die Relevanz der vermittelten Kursinhalte und somit nach Sahu und Lata ebenfalls den Lernerfolg. Dieses Konzept kommt besonders in Modul 4 zum Tragen. Aufgrund der Konzeption als Simulationstraining entsprach der von uns entwickelte Lehrgang unserer Meinung nach den Erwartungen der Teilnehmer weitestgehend.

Der Erhalt einmal erlernter Fähigkeiten konnte in Studien verbessert werden, indem nicht nur bis zum Erreichen des Lernziels, sondern auch darüber hinaus trainiert wurde („Overtraining“) (Wik et al., 2002). Auch die Wichtigkeit des repetitiven Übens für den Erhalt des erworbenen Wissens wurde immer wieder betont (Saraç und Ok,

2010). Diesen Erkenntnissen folgend wurden unsere Reanimationstrainings modular aufgebaut. Durch den modularen Aufbau der Trainings werden die bereits erlernten Fähigkeiten im Sinne eines repetitiven Lernens in den folgenden Modulen ständig wiederholt, was die Perfektion der Fertigkeiten fördert, ein Overtraining bewirkt und somit einem schnellen Verlust von Wissen entgegenwirkt (Perkins, 2007). Für die Umsetzung des repetitiven Übens eignet sich die Simulation sehr gut (Perkins, 2007); sie erlaubt es dem Lernenden, in einer kontrollierten Umgebung Fehler zu machen und aus seinen Fehlern zu lernen, ohne einen Patienten einem Risiko auszusetzen und erleichtert so den Fortschritt vom Anfänger zum Experten (Perkins, 2007). Außerdem wurde mit dem modularen Aufbau auch die Lehrmethode des „zielerreichenden Lernens“ („*mastery learning model*“) umgesetzt. Diese Methode, bei der erst dann neue Inhalte eingeführt werden, wenn alle Lernenden das aktuelle Lernziel erreicht haben, scheint einen gewissen Vorteil beim Erwerb und Erhalt von Wissen zu haben (Cook et al., 2011).

Die unseres Erachtens notwendigen Theorieeinheiten in Modul 1 und 2 wurden bewusst ohne Verwendung einer Unterrichtspräsentation in Form eines problem-orientierten Lernansatzes abgehalten, um auch hier die einen maximalen Lernerfolg zu erreichen. Polglase et al. hatten bereits 1989 gezeigt, dass Studenten, die an einem problem-orientierten, selbstbestimmten ALS Training teilnahmen, bessere Ergebnisse in der schriftlichen Prüfung und geringere Durchfallquoten in der ALS-Prüfung erzielten als Studenten, die an einem konventionellen Training teilnahmen (Polglase et al., 1989).

Neben den sogenannten „technischen“ Fertigkeiten sollte, den Empfehlungen von *ERC* und *ILCOR* folgend, auch das Training der sogenannten „nicht-technischen“ Fertigkeiten wie Führungseigenschaften, Teamtraining, Kommunikation (sogenannte

„human factors“) Kernelement der Ausbildung sein (Chamberlain und Hazinski, 2003; Baskett et al., 2005; Soar et al., 2010), da eine Evidenz besteht, dass Reanimations- trainings mit CRM-Training die Leistung bei der Reanimation insbesondere durch eine Reduktion der No-flow-Zeiten verbessern (Fernandez Castelao et al., 2011). Ein CRM-Training ist in ein Simulationstraining leicht integrierbar, daher wurde auch diese Forderung in unseren Trainings konsequent umgesetzt: Wurden in Modul 1 und 2 primär die „technischen“ Fertigkeiten trainiert, so wurde in Modul 3 und 4 der Schwerpunkt auf die „nicht-technischen“ Fertigkeiten gelegt.

Betrachtet man die Entwicklung der prozentualen No-flow-Zeit zwischen den einzelnen Modulen, so war zwischen Modul 1 und Modul 2 zwar die zu erwartende Zunahme festzustellen, am ehesten bedingt durch die erhöhte Arbeitsbelastung im Rahmen der Umsetzung des ALS. Im weiteren Verlauf war jedoch eine Reduktion und annähernde Rückkehr zu den prozentualen No-flow-Zeiten des Moduls 1 zu registrieren. Die prozentuale No-flow-Zeit in Modul 4 liegt schließlich im Bereich der No-flow-Zeiten, die die NAW-Besatzungen erzielt haben. Auch wenn sich aufgrund der geringen Fallzahl keine statistische Signifikanz nachweisen ließ, so ist dies doch als positives Ergebnis zu werten, da es zeigt, dass es den Teilnehmern gelang, eine zunehmende Anzahl von Tätigkeiten wie Defibrillation, das Legen intravenöser Zugänge, die Applikation von Medikamenten in den Algorithmus zu integrieren, ohne dass dabei die Zeiten ohne Herzdruckmassage zunahm. Somit kann von einem guten Lernfortschritt im Kursverlauf ausgegangen werden. Auch kann der erwartete und registrierte Anstieg der prozentualen No-flow-Zeiten von Modul 1 zu Modul 2 als Anhalt für die Validität des Evaluationsverfahrens gewertet werden. Die Abnahme der Streuung der prozentualen No-flow-Zeit im Kursverlauf kann trotz geringer Fallzahlen ein Hinweis dafür sein, dass Teilnehmer mit einem zunächst sehr unterschiedlichen

Leistungsniveau zum Ende des Trainings ein vergleichbares Leistungsniveau erreicht hatten.

Wenngleich die Algorithmustreue auch am Ende des Kurses eher schlecht ist, so scheint es doch möglich, in unserem 12-stündigen modularen Training die Kernelemente des ALS-Algorithmus so gut einzuüben, dass die prozentuale No-flow-Zeit in den schwierigsten ALS-Szenarien dem Niveau professioneller Helfern in einem deutlich leichteren Standardszenario entspricht. Wir werten die Verbesserung der prozentualen No-flow-Zeit im Kursverlauf als Hinweis, dass der entwickelte interaktive, modulare Aufbau mit einem hohen Anteil an praktischen Übungen in einem hoch realistischen Setting den Ansprüchen erwachsener Lernender gut entspricht und dass die Einbeziehung von Elementen des CRM ein vielversprechender Ansatz zur Optimierung der Abläufe des ALS ist. Die Verwendung eines hochentwickelten Simulators sollte die Reproduzierbarkeit und das Behalten der erlernten Fähigkeiten verbessern, was jedoch durch eine Verlaufs-Kontroll-Studie verifiziert werden muss.

4.3.1 Limitationen

Neben allen Vorteilen der verwendeten Lehrmethoden sind auch immer wieder ernstzunehmende Kritikpunkte an ihnen geäußert worden, die hier erwähnt werden müssen.

Wichtigster Kritikpunkt an Simulationstrainings ist, dass die Übertragbarkeit des Simulationstrainings auf die klinische Praxis zwar meist angenommen wird, bisher jedoch nicht allgemeingültig gezeigt werden konnte. Es existiert lediglich eine Studie, die deutliche Verbesserungen in der klinischen Praxis nach dem Kurs zeigte und

somit aufzeigte, dass Lehrinhalte in der Praxis umgesetzt werden konnten. Der Einfluss von Simulationstrainings auf das Patientenoutcome ist hingegen aufgrund der vielen Confounder fast nicht messbar (Perkins, 2007). Es erscheint durchaus möglich, dass die Teilnehmer, wenn sie wiederholt mit standardisierten Szenarien konfrontiert werden, zwar lernen, den Simulator korrekt und effizient zu behandeln, bei einem realen Patienten aber deutlich schlechter agieren. Außerdem ist Simulationstraining zwar in fast allen Studien mit einem verbesserten Lernerfolg verbunden, allerdings sind eine hohe Inkonsistenz hinsichtlich des Ausmaßes und eine große Variabilität hinsichtlich des Erhalts der Fähigkeiten zu verzeichnen (Perkins, 2007).

Weiterer Kritikpunkt an Simulationstrainings ist der hohe Zeit-, Personal- und Kostenaufwand: Die Anschaffungs- und Wartungskosten sind meist relativ hoch. Die Entwicklung und Implementierung von Simulationstraining nimmt viel Zeit in Anspruch (McCausland et al., 2004). Zudem wird häufig eine speziell ausgebildete Person zur Steuerung des Simulators benötigt, was Personalaufwand und -kosten erhöht (McCausland et al., 2004). Viele High-fidelity-Simulatoren können nur stationär betrieben werden und haben einen hohen Platzbedarf (McCausland et al., 2004; Sahu und Lata, 2010). Iglesias-Vázquez et al. kamen daher zu dem Schluss, dass simulationsbasierte Trainings zwar den Lernerfolg verbessern, aber kein gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis haben (Iglesias-Vázquez et al., 2007).

Ähnliches gilt für das problem-orientierte Lernen. Auch diese Lehrmethode hat insbesondere hinsichtlich Zeit und Personal einen hohen Ressourcenbedarf (Polglase et al., 1989). Zudem wurde die Effektivität von problem-orientiertem Lernen nie wirklich nachgewiesen (Euliano und Mahla, 1999).

Somit ist unser Ansatz eines Reanimationstrainings zweifelsohne überdurchschnittlich zeit-, personal- und damit auch kostenaufwendig. Da zudem der verwendete Simulator nur eingeschränkt mobil ist, wird die vorgestellte Trainingsform sicherlich nicht ubiquitär verfügbar sein können, sondern bleibt spezialisierten Ausbildungszentren vorbehalten.

5 Folgerungen und Ausblick

Das entwickelte modulare Kursmodell entspricht den Anforderungen erwachsener Lernender und schafft eine Lernumgebung, in der auch in der Intensivmedizin unerfahrene Ärzte und Intensivpflegepersonal den ALS-Algorithmus so effektiv erlernen können, dass sich die prozentuale No-flow-Zeit als einer der wichtigsten Qualitätsparameter der CPR am Ende des Kurses auf dem Niveau von professionellen NAW-Besatzungen bewegt. Inwieweit das erworbene Wissen jedoch über die Zeit erhalten bleibt und ob hierbei ein Vorteil gegenüber anderen Reanimationstrainings zu erkennen ist, muss in weiteren Studien geprüft werden.

Das von uns entwickelte Standardisierungs- und Assessmenttool ermöglicht es, an METI-Simulatoren eine objektive Messung wichtiger Qualitätsindikatoren CPR und der Algorithmustreue durchzuführen und die Ergebnisse den Instruktoren direkt nach dem Szenario zur Verfügung zu stellen. Dadurch wird den Instruktoren ermöglicht, sich während des Szenarios auf die Beurteilung nicht-technischer und dadurch schlechter messbarer Fertigkeiten zu konzentrieren. Es gibt gute Hinweise, die für die Validität der Methode sprechen, jedoch muss sie in Studien mit größerer Fallzahl und insbesondere gegenüber etablierten Assessmentmethoden noch abschließend nachgewiesen werden.

Die Implementierung der LL2010 führt zu signifikant niedrigerer prozentualer No-flow-Zeit und erreicht damit eines der erklärten Ziele. Nichtsdestotrotz hat sich die Qualität der Thoraxkompressionen nicht messbar verbessert. Die Einhaltung der vom ALS-Algorithmus vorgegebenen Abläufe und Zeitintervalle ist nach wie vor verbesserungswürdig.

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Szenario-Skript	28
Abbildung 2: Einschlussprozess und Szenarierverteilung.....	44
Abbildung 3: Medianes Cardiac output und prozentuale No-flow-Zeit vor und nach Änderung der Leitlinien.....	45
Abbildung 4: prozentuale No-flow-Zeit im Kursverlauf	51

7 Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Inhalt der Reanimationsleitlinien des <i>ERC</i> von 2005 und 2010	13
Tabelle 2: Qualitätsparameter der Reanimation und zugehörige Indikatorvariablen	33
Tabelle 3: Ergebnisse der NAW-Besatzungen	40
Tabelle 4: Demographische Daten der Versuchsgruppe	42
Tabelle 5: Vergleich aller durchgeführten Szenarien nach Leitlinienfassung.....	47
Tabelle 6: Vergleich der von Ärzten durchgeführten Szenarien nach Leitlinienfassung	48
Tabelle 7: Vergleich nach initialem Herzrhythmus.....	49
Tabelle 8: Medianes Cardiac output und prozentuale No-flow-Zeit im Kursverlauf ..	50

8 Quellenverzeichnis

Abella, B. S.; Alvarado, J. P.; Myklebust, H.; Edelson, D. P.; Barry, A.; O'Hearn, N.;

Vanden Hoek, T. L.; Becker, L. B.

Quality of cardiopulmonary resuscitation during in-hospital cardiac arrest.

JAMA, Bd. 293 (2005), S. 305–310.

Arthur Jr., W.; Bennett Jr., W.; Stanush, P. L.; McNelly, T. L.

Factors That Influence Skill Decay and Retention: A Quantitative Review and Analysis.

Human Performance, Bd. 11 (1998), S. 57–101.

Baskett, P. J. F.; Nolan, J. P.; Handley, A.; Soar, J.; Biarent, D.; Richmond, S.

European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2005. Section 9.

Principles of training in resuscitation.

Resuscitation, 67 Suppl 1 (2005), S. S181-189.

Batcheller, A. M.; Brennan, R. T.; Braslow, A.; Urrutia, A.; Kaye, W.

Cardiopulmonary resuscitation performance of subjects over forty is better following half-hour video self-instruction compared to traditional four-hour classroom training.

Resuscitation, Bd. 43 (2000), S. 101–110.

Beneken, J. E. W.

A physical approach to hemodynamic aspects of the human cardiovascular system.

In: "Physical bases of circulatory transport. Regulation and exchange: the proceedings of a conference sponsored by the University of Colorado Medical Center with the collaboration of the Committee on Shock, Division of Medical Sciences, National Academy of Sciences-National Research Council", E. B. Reeve und A. C. Guyton (Hrsg.)

Saunders, Philadelphia, PA, 1967, S. 1–45.

Berden, H. J.; Pijls, N. H.; Willems, F. F.; Hendrick, J. M.; Crul, J. F.

A scoring system for basic cardiac life support skills in training situations.

Resuscitation, Bd. 23 (1992), S. 21–31.

Berdowski, J.; Berg, R. A.; Tijssen, J. G. P.; Koster, R. W.

Global incidences of out-of-hospital cardiac arrest and survival rates: Systematic review of 67 prospective studies.

Resuscitation, Bd. 81 (2010), S. 1479–1487.

Brennan, R. T.

Student, instructor, and course factors predicting achievement in CPR training classes.

Am J Emerg Med, Bd. 9 (1991), S. 220–224.

Brennan, R. T.; Braslow, A.

Skill mastery in cardiopulmonary resuscitation training classes.

Am J Emerg Med, Bd. 13 (1995), S. 505–508.

Brennan, R. T.; Braslow, A.

Skill mastery in public CPR classes.

Am J Emerg Med, Bd. 16 (1998), S. 653–657.

Brennan, R. T.; Braslow, A.; Batcheller, A. M.; Kaye, W.

A reliable and valid method for evaluating cardiopulmonary resuscitation training outcomes.

Resuscitation, Bd. 32 (1996), S. 85–93.

Chamberlain, D. A.; Hazinski, M. F.

Education in resuscitation.

Resuscitation, Bd. 59 (2003), S. 11–43.

Christenson, J.; Nafziger, S.; Compton, S.; Vijayaraghavan, K.; Slater, B.;

Ledingham, R.; Powell, J.; McBurnie, M. A.

The effect of time on CPR and automated external defibrillator skills in the Public Access Defibrillation Trial.

Resuscitation, Bd. 74 (2007), S. 52–62.

Cook, D. A.; Hatala, R.; Brydges, R.; Zendejas, B.; Szostek, J. H.; Wang, A. T.;

Erwin, P. J.; Hamstra, S. J.

Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis.

JAMA, Bd. 306 (2011), S. 978–988.

Cooper, S.; Cant, R.; Porter, J.; Sellick, K.; Somers, G.; Kinsman, L.; Nestel, D.

Rating medical emergency teamwork performance: Development of the Team Emergency Assessment Measure (TEAM).

Resuscitation, Bd. 81 (2010), S. 446–452.

Deakin, C. D.; Nolan, J. P.

European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2005. Section 3.

Electrical therapies: automated external defibrillators, defibrillation, cardioversion and pacing.

Resuscitation, 67 Suppl 1 (2005), S. S25-S37.

Deakin, C. D.; Nolan, J. P.; Soar, J.; Sunde, K.; Koster, R. W.; Smith, G. B.; Perkins, G. D.

European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 4. Adult advanced life support.

Resuscitation, Bd. 81 (2010), S. 1305–1352.

Euliano, T. Y.; Mahla, M. E.

Problem-based learning in residency education: a novel implementation using a simulator.

J Clin Monit Comput, Bd. 15 (1999), S. 227–232.

Fernandez Castelao, E.; Russo, S. G.; Cremer, S.; Strack, M.; Kaminski, L.; Eich, C.; Timmermann, A.; Boos, M.

Positive impact of crisis resource management training on no-flow time and team member verbalisations during simulated cardiopulmonary resuscitation: a randomised controlled trial.

Resuscitation, Bd. 82 (2011), S. 1338–1343.

Gilpin, K.; Pybus, D. A.; Vuylsteke, A.

Medical simulation in 'my world'.

Anaesthesia, Bd. 67 (2012), S. 702–705.

Goodwin, J. A.; van Meurs, W. L.; Sá Couto, C. D.; Beneken, J. E. W.; Graves, S. A.
A model for educational simulation of infant cardiovascular physiology.

Anesth. Analg., Bd. 99 (2004), S. 1655–1664.

Handley, A. J.; Koster, R.; Monsieurs, K.; Perkins, G. D.; Davies, S.; Bossaert, L.
European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2005. Section 2. Adult
basic life support and use of automated external defibrillators.

Resuscitation, 67 Suppl 1 (2005), S. S7-S23.

Hunziker, S.; Johansson, A. C.; Tschan, F.; Semmer, N. K.; Rock, L.; Howell, M. D.;
Marsch, S.

Teamwork and leadership in cardiopulmonary resuscitation.

J. Am. Coll. Cardiol, Bd. 57 (2011), S. 2381–2388.

Hunziker, S.; Tschan, F.; Semmer, N. K.; Howell, M. D.; Marsch, S.

Human factors in resuscitation: Lessons learned from simulator studies.

J Emerg Trauma Shock, Bd. 3 (2010), S. 389–394.

Iglesias-Vázquez, J. A.; Rodríguez-Núñez, A.; Penas-Penas, M.; Sánchez-Santos,
L.; Cegarra-García, M.; Barreiro-Díaz, M. V.

Cost-efficiency assessment of Advanced Life Support (ALS) courses based on the
comparison of advanced simulators with conventional manikins.

BMC Emerg Med, Bd. 7 (2007), S. 18.

Ilper, H.; Kunz, T.; Pfleger, H.; Schalk, R.; Byhahn, C.; Ackermann, H.; Breitzkreutz, R.
Comparative quality analysis of hands-off time in simulated basic and advanced life
support following European Resuscitation Council 2000 and 2005 guidelines.

Emerg Med J, Bd. 29 (2012), S. 95–99.

Jansen, J. J.; Berden, H. J.; van der Vleuten, C. P.; Grol, R. P.; Rethans, J.; Verhoeff, C. P.

Evaluation of cardiopulmonary resuscitation skills of general practitioners using different scoring methods.

Resuscitation, Bd. 34 (1997), S. 35–41.

Kaye, W.; Rallis, S. F.; Mancini, M. E.; Linhares, K. C.; Angell, M. L.; Donovan, D. S.; Zajano, N. C.; Finger, J. A.

The problem of poor retention of cardiopulmonary resuscitation skills may lie with the instructor, not the learner or the curriculum.

Resuscitation, Bd. 21 (1991), S. 67–87.

Koster, R. W.; Baubin, M. A.; Bossaert, L. L.; Caballero, A.; Cassan, P.; Castrén, M.; Granja, C.; Handley, A. J.; Monsieurs, K. G.; Perkins, G. D.; Raffay, V.; Sandroni, C. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 2. Adult basic life support and use of automated external defibrillators.

Resuscitation, Bd. 81 (2010), S. 1277–1292.

Kramer-Johansen, J.; Edelson, D. P.; Losert, H.; Köhler, K.; Abella, B. S.

Uniform reporting of measured quality of cardiopulmonary resuscitation (CPR).

Resuscitation, Bd. 74 (2007), S. 406–417.

Losert, H.; Sterz, F.; Köhler, K.; Sodeck, G.; Fleischhackl, R.; Eisenburger, P.;

Kliegel, A.; Herkner, H.; Myklebust, H.; Nysaether, J.; Laggner, A. N.

Quality of cardiopulmonary resuscitation among highly trained staff in an emergency department setting.

Arch. Intern. Med, Bd. 166 (2006), S. 2375–2380.

Lukas, R.-P.; Gräsner, J. T.; Seewald, S.; Lefering, R.; Weber, T. P.; van Aken, H.; Fischer, M.; Bohn, A.

Chest compression quality management and return of spontaneous circulation: a matched-pair registry study.

Resuscitation, Bd. 83 (2012), S. 1212–1218.

Mäkinen, M.; Aune, S.; Niemi-Murola, L.; Herlitz, J.; Varpula, T.; Nurmi, J.; Axelsson, A. B.; Thorén, A.-B.; Castrén, M.

Assessment of CPR-D skills of nurses in Göteborg, Sweden and Espoo, Finland: teaching leadership makes a difference.

Resuscitation, Bd. 72 (2007), S. 264–269.

McCausland, L. L.; Curran, C. C.; Cataldi, P.

Use of a human simulator for undergraduate nurse education.

Int J Nurs Educ Scholarsh, Bd. 1 (2004), S. Article23.

Nolan, J.

European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2005. Section 1.

Introduction.

Resuscitation, 67 Suppl 1 (2005), S. S3-6.

Nolan, J. P.; Deakin, C. D.; Soar, J.; Böttiger, B. W.; Smith, G.

European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2005. Section 4. Adult advanced life support.

Resuscitation, 67 Suppl 1 (2005), S. S39-86.

Nolan, J. P.; Soar, J.; Zideman, D. A.; Biarent, D.; Bossaert, L. L.; Deakin, C.; Koster, R. W.; Wyllie, J.; Böttiger, B.

European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 1.

Executive summary.

Resuscitation, Bd. 81 (2010), S. 1219–1276.

Olasveengen, T. M.; Wik, L.; Kramer-Johansen, J.; Sunde, K.; Pytte, M.; Steen, P. A.

Is CPR quality improving? A retrospective study of out-of-hospital cardiac arrest.

Resuscitation, Bd. 75 (2007), S. 260–266.

Owen, H.; Mugford, B.; Follows, V.; Plummer, J. L.

Comparison of three simulation-based training methods for management of medical emergencies.

Resuscitation, Bd. 71 (2006), S. 204–211.

Parnell, M. M.; Larsen, P. D.

Poor quality teaching in lay person CPR courses.

Resuscitation, Bd. 73 (2007), S. 271–278.

Perkins, G. D.

Simulation in resuscitation training.

Resuscitation, Bd. 73 (2007), S. 202–211.

Perkins, G. D.; Boyle, W.; Bridgestock, H.; Davies, S.; Oliver, Z.; Bradburn, S.;

Green, C.; Davies, R. P.; Cooke, M. W.

Quality of CPR during advanced resuscitation training.

Resuscitation, Bd. 77 (2008), S. 69–74.

Perkins, G. D.; Hulme, J.; Tweed, M. J.

Variability in the assessment of advanced life support skills.

Resuscitation, Bd. 50 (2001), S. 281–286.

Polglase, R. F.; Parish, D. C.; Buckley, R. L.; Smith, R. W.; Joiner, T. A.

Problem-based ACLS instruction: a model approach for undergraduate emergency medical education.

Ann Emerg Med, Bd. 18 (1989), S. 997–1000.

Ringsted, C.; Lippert, F.; Hesselfeldt, R.; Rasmussen, M. B.; Mogensen, S. S.; Frost, T.; Jensen, M. L.; Jensen, M. K.; Van der Vleuten, C

Assessment of Advanced Life Support competence when combining different test methods – reliability and validity.

Resuscitation, Bd. 75 (2007), S. 153–160.

Sahu, S.; Lata, I.

Simulation in resuscitation teaching and training, an evidence based practice review.

J Emerg Trauma Shock, Bd. 3 (2010), S. 378–384.

Saraç, L.; Ok, A.

The effects of different instructional methods on students' acquisition and retention of cardiopulmonary resuscitation skills.

Resuscitation, Bd. 81 (2010), S. 555–561.

Soar, J.; Monsieurs, K. G.; Ballance, John H W; Barelli, A.; Biarent, D.; Greif, R.; Handley, A. J.; Lockey, A. S.; Richmond, S.; Ringsted, C.; Wyllie, J. P.; Nolan, J. P.; Perkins, G. D.

European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 9.
Principles of education in resuscitation.

Resuscitation, Bd. 81 (2010), S. 1434–1444.

Thorén, A. B.; Axelsson, A.; Holmberg, S.; Herlitz, J.

Measurement of skills in cardiopulmonary resuscitation – do professionals follow given guidelines?

Eur J Emerg Med, Bd. 8 (2001), S. 169–176.

van Meurs, W. L.; Good, M. L.; Lampotang, S.

Functional anatomy of full-scale patient simulators.

J Clin Monit, Bd. 13 (1997), S. 317–324.

Wayne, D. B.; Butter, J.; Siddall, V. J.; Fudala, M. J.; Linqvist, L. A.; Feinglass, J.; Wade, L. D.; Mcgaghie, W. C.

Simulation-based training of internal medicine residents in advanced cardiac life support protocols: a randomized trial.

Teach Learn Med, Bd. 17 (2005), S. 210–216.

Wayne, D. B.; Butter, J.; Siddall, V. J.; Fudala, M. J.; Wade, L. D.; Feinglass, J.; Mcgaghie, W. C.

Graduating internal medicine residents' self-assessment and performance of advanced cardiac life support skills.

Med Teach, Bd. 28 (2006), S. 365–369.

Wayne, D. B.; Siddall, V. J.; Butter, J.; Fudala, M. J.; Wade, L. D.; Feinglass, J.;
McGaghie, W. C.

A longitudinal study of internal medicine residents' retention of advanced cardiac life support skills.

Acad Med, Bd. 81 (2006), S. S9-S12.

Wik, L.; Kramer-Johansen, J.; Myklebust, H.; Sørebo, H.; Svensson, L.; Fellows, B.;
Steen, P. A.

Quality of cardiopulmonary resuscitation during out-of-hospital cardiac arrest.

JAMA, Bd. 293 (2005), S. 299–304.

Wik, L.; Myklebust, H.; Auestad, B. H.; Steen, P. A.

Retention of basic life support skills 6 months after training with an automated voice advisory manikin system without instructor involvement.

Resuscitation, Bd. 52 (2002), S. 273–279.

Woollard, M.; Whitfield, R.; Newcombe, R. G.; Colquhoun, M.; Vetter, N.;
Chamberlain, D.

Optimal refresher training intervals for AED and CPR skills: a randomised controlled trial.

Resuscitation, Bd. 71 (2006), S. 237–247.

Zeitz, C. J.; Zeitz, K. M.; Ward, G.; Inglis, A.

The acquisition and maintenance of defibrillation skills by lay first responders.

Resuscitation, Bd. 56 (2003), S. 77–82.

9 Anhang

9.1 Programmcode des Patienten-Skriptes zur Darstellung eines Patienten mit Kammerflimmern

```
CONTROLLED_VAR MIN_CV SP      MAX_CV CONTROL_ACTIVATION  HR      CONT  SART  PART  VUV
      VE      VTRR  BL
CONTROL_EFFECTOR      0.0      0.0      0.0      0.0      149.01637      3.76      10.5      1.7
      1630.0 80000.0 58.0      0.0
MIN_CE      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      20.0      0.0      6.0      0.4      500.0      0.0      0.0
      0.0
REF      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      75.0      3.0      7.5      1.7      2190.0      8400.0      58.0
      0.0
MAX_CE      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      180.0      20.0      40.0      5.0      5000.0      80000.0
      1000.0 100.0
MAP      17.051271      56.0      76.0      96.0      -20.0      -1.9      -0.038      -0.15      0.0      28.0      0.0
      0.0      0.0
PaO2      27.967274      20.0      100.0      100.0      -72.03274      -0.5      0.0      0.0      0.0      0.0
      -840.0 0.0      0.0
PaCO2      59.139664      20.0      40.0      70.0      19.139675      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0
      1680.0 0.0      0.0
```

.DRUG_TABLE:

.END

.UNITS:

.END

```
A      0.0
AORTIC_VALVE_RES_FACTOR      1.0
ARTERIAL_CATHETER_DEPTH      2.0
ART_TEMP      37.0
A_CNS      0.0
A_CO2      0.0
A_MAP      0.0
A_O2      0.0
B      0.5
BLINK_SPEED      0.0
BLOCKADE      100.0
BODY_TEMP      36.5
BP_DIA      17.051907
BP_PA      17.052914
BP_SYS      17.051907
BR_GAIN_CARDIAC_FACTOR      1.0
BR_GAIN_FACTOR      1.0
BR_GAIN_PERIPHERAL_FACTOR      1.0
BR_MAX_PRESSURE      0.0
BR_MIN_PRESSURE      0.0
BR_SOUND      20.0
CARDIAC_OUTPUT      0.026985988
CAROTID      1.0
CHESTWALL_COM_FACTOR      1.0
CHESTWALL_SAT_COM_FACTOR      1.0
CHESTWALL_SAT_VOL      2800.0
CHEST_COMP      0.0
CHEST_COMPRESSION_EFFICACY      16.0
CHEST_TUBE_AIR_CONC      0.0
CHEST_TUBE_FLOW_RATE      50.0
CKCP      0.0
CKVR      0.0
CLOSEP      -2.0
CO      0.4497665
CO2_FLOW      0.15901363
CO2_PRODUCTION_FACTOR      1.0
CO2_SETPOINT      40.0
CONSO2      200.0
```

CO_DETERMINE 0.0
CO_DURATION 0.0
CO_FACTOR 1.8
CVP_CATHETER_DEPTH 2.0
CWCOMPLIANCE 70.0
CWCOMPLIANCEDIST 70.0
DEAD_SPACE_VOL 100.0
DEFIB 0.0
DEFIB_COUNT 0.0
DIABP 17.051907
DIAPA 17.052914
DLV 17.051891
DPA 17.052914
ECO2 -0.0010822164
EETHA 1.1
EETHV 0.017
EF 4.5
EITHA 2.8
EITHV 0.018
ELA 0.12
ELAMAX 0.2
ELAMIN 0.12
ELAPS 12.0
ELLUNG 1.6
ELV 0.03
ELVMAX 1.88
ELVMIN 0.03
EM 1.5
EN2 1.3684544E-6
EN2O 0.0
EO2 9.20957E-4
EP 5.0
EPA 0.23
EPV 0.045
ERA 0.05
ERAMAX 0.1
ERAMIN 0.05
ERLUNG 1.6
ERV 0.032
ERVMAX 0.09776
ERVMIN 0.032
ESHUNT 25.0
EVR 0.37
FETHA -0.0016231537
FETHV -0.0016738847
FF -1.02818325E-4
FFOUT -1.20162964E-4
FITHA -0.0016689299
FITHV 0.0034014382
FIXED_HR -1.0
FIXED_NMB 100.0
FIXED_RR -1.0
FIXED_VT -1.0
FLA 0.00445048
FLLUNG 0.003786648
FLLUNGOUT 0.0037511191
FLUSH_FLOW 3.0
FLV 0.00333786
FM -3.3364698E-4
FMOUT -3.5845002E-4
FPA 0.0076293945
FPV 0.007587433
FRA 0.0019073486
FRC 2000.0
FRLUNG 0.0038053473
FRLUNGOUT 0.0036875408
FRV 0.003973643
FSHUNT 1.5640259E-4
FSHUNTOUT 1.487732E-4
FVR -0.0012002024
FVRROUT -0.0011952717
GASAN_CO2 38.154026
GASAN_N2O 0.0
GASAN_O2 129.90158
HEMATOCRIT 42.309074
HEMOGLOBIN 14.385085
HR 151.0
HR_FACTOR 1.0

HR_SOUND 0.0
 HW_PACING_CURRENT 0.0
 ICP 0.0
 ICP_CHANNEL 0.0
 IFF -4.1127332E-5
 IFFOUT -4.8065187E-5
 IFLLUNG 0.0015146591
 IFLLUNGOUT 0.0015004476
 IFM -1.334588E-4
 IFMOUT -1.4338E-4
 IFRLUNG 0.001522139
 IFRLUNGOUT 0.0014750164
 IFSHUNT 6.2561034E-5
 IFSHUNTOUT 5.950928E-5
 IFVR -4.8008095E-4
 IFVRFIL 0.0
 IFVROUT -4.781087E-4
 INTVETHA 0.0
 INTVITHV 0.0
 INTVPA 0.0
 INTVPV 0.0
 IP 0.0
 IPL_PR_AT_FRC -8.0
 IS 1.957474
 ISCHEMIC_INDEX 0.15260847
 ISCHEMIC_INDEX_AVER 0.99
 ISCHEMIC_INDEX_SENS 1.5
 ISO_FLOW_RATE 0.0
 ITOE_RATIO 2.0
 LARYN 0.0
 LEFT_BRACHIAL 1.0
 LEFT_BRACHIAL_THRESH 80.0
 LEFT_BR_CLOSED 0.0
 LEFT_BR_RES 0.81
 LEFT_CAROTID_THRESH 60.0
 LEFT_EYE_HOME 2.0
 LEFT_FEMORAL 1.0
 LEFT_FEMORAL_THRESH 70.0
 LEFT_IPL_VOL 0.0
 LEFT_LUNG_COM_FACTOR 1.0
 LEFT_LUNG_FLOW 0.028323084
 LEFT_LUNG_SAT_VOL 2500.0
 LEFT_PEDAL 1.0
 LEFT_PEDAL_THRESH 80.0
 LEFT_RADIAL 1.0
 LEFT_RADIAL_THRESH 90.0
 LETHA 6.0E-4
 LLCOMPLIANCE 70.0
 LV_CONTRACTILITY_FACTOR 0.5
 LV_CONTRACTILITY_MULTIPLIER 1.0
 L_LUNG_VOL 1000.0001
 L_PISTON_P -3.8146973E-6
 L_THORAX_V 1000.0001
 MAP 17.051271
 MAX_VLV 270.1748
 MIN_VLV 270.1748
 MITRAL_R 0.27369577
 MITRAL_VALVE_RES_FACTOR 1.0
 MOUTH_P 0.0
 N2O 0.0
 N2O_FLOW 0.0
 N2_FLOW 2.299886
 NMB_DRUG 2.0
 O2DEFICIT 0.0
 O2_FLOW 0.54111004
 OCC_PHAR 0.0
 P 5.0
 PACING_CAPTURE_CONTROL 50.0
 PACING_CURRENT 0.0
 PACING_RATE 80.0
 PATIENT_AGE 33.0
 PATIENT_WEIGHT 80.0
 PA_CATHETER_DEPTH 4.0
 PCATHETER 0.0
 PCT 15.926647
 PCWP 17.052914
 PED_O2_DEFICIT_COUNT 0.0
 PEEP 0.0

PERICARD_FLUID_ACUTE 0.0
 PETCO2_PACO2_FACTOR 1.0
 PETHA 17.052021
 PETHV 17.053259
 PF 17.053019
 PH 7.2964525
 PHSHIFT 0.0
 PITHA 23.131905
 PITHV 23.132952
 PLA 7.2052536
 PLLUNG 23.13214
 PLUNG 720.0
 PLV 7.2052436
 PM 17.053051
 PPA 23.132912
 PPCO2 59.139664
 PPCO2AP 59.139664
 PPCO2DS 0.55813116
 PPCO2F 48.47958
 PPCO2INSP 0.0
 PPCO2LUNG 38.149918
 PPCO2M 49.051968
 PPCO2MOUTH 0.0
 PPCO2VP 60.44373
 PPCO2VR 72.94018
 PPENFAP 0.0
 PPENFF 0.0
 PPENFLUNG 0.0
 PPENFM 0.0
 PPENFVP 0.0
 PPENFVR 0.0
 PPHALAP 0.0
 PPHALF 0.0
 PPHALLUNG 0.0
 PPHALM 0.0
 PPHALVP 0.0
 PPHALVR 0.0
 PPISOAP 0.0
 PPISOF 0.0
 PPISOLUNG 0.0
 PPISOM 0.0
 PPISOVP 0.0
 PPISOVR 0.0
 PPN2AP 630.44977
 PPN2DS 607.9996
 PPN2F 562.5007
 PPN2INSP 608.0
 PPN2LUNG 551.97266
 PPN2M 556.8299
 PPN2MOUTH 0.0
 PPN2OAP 0.0
 PPN2ODS 0.0
 PPN2OF 0.0
 PPN2OINSP 0.0
 PPN2OLUNG 0.0
 PPN2OM 0.0
 PPN2OMOUTH 0.0
 PPN2OVP 0.0
 PPN2OVR 0.0
 PPN2VP 543.1388
 PPN2VR 537.8631
 PPO2AP 27.967274
 PPO2DS 151.44109
 PPO2F 0.0
 PPO2INSP 152.0
 PPO2LUNG 129.88701
 PPO2M 0.0
 PPO2MOUTH 0.0
 PPO2VP 24.881208
 PPO2VR 0.0
 PPSEVAP 0.0
 PPSEVF 0.0
 PPSEVLUNG 0.0
 PPSEVM 0.0
 PPSEVVP 0.0
 PPSEVVR 0.0
 PPV 23.131914
 PRA 7.206299

```

PREVIOUS_ABP 17.051907
PREVIOUS_PACING_CURRENT 0.0
PRLUNG 23.132135
PRV 7.206287
PSHUNT 23.132286
PTH -6.079999
PTHAMPL 0.0
PTHOFFSET 2.0
PULMONIC_VALVE_RES_FACTOR 1.0
PULSE_COUNT 0.0
PULSE_COUNT_THRESH 70.0
PVR 17.05308
PVR_FACTOR 1.0
Q -7.0
R 40.0
RADIAL 1.0
RESP_GAIN_FACTOR 1.0
RETHA 0.07
RETHV 0.09
RFIN 9.702
RFOUT 2.0
RHYTHM 12.0
RHYTHM_OVERRIDE 12.0
RIGHT_BRACHIAL 1.0
RIGHT_BRACHIAL_THRESH 80.0
RIGHT_BR_CLOSED 0.0
RIGHT_BR_RES 0.81
RIGHT_EYE_HOME 2.0
RIGHT_FEMORAL 1.0
RIGHT_FEMORAL_THRESH 70.0
RIGHT_IPL_VOL 0.0
RIGHT_LUNG_COM_FACTOR 1.0
RIGHT_LUNG_FLOW 0.028323084
RIGHT_LUNG_SAT_VOL 2500.0
RIGHT_PEDAL 1.0
RIGHT_PEDAL_THRESH 80.0
RIGHT_RADIAL_THRESH 90.0
RITHA 0.0
RLAIN 0.0030
RLAOUT 0.0030
RLCOMPLIANCE 70.0
RLLUNGIN 0.20400001
RLLUNGOUT 0.06
RLV 0.0080
RMIN 3.0870001
RMOUT 0.58
RQ 0.8
RR 37.13907
RRAIN 0.0030
RAAOUT 0.0030
RRLUNGIN 0.20400001
RRLUNGOUT 0.06
RRV 0.0030
RR_FACTOR 1.0
RSHUNTIN 4.0
RSHUNTOUT 2.5
RVRIN 0.88199997
RVROUT 0.15
RV_CONTRACTILITY_FACTOR 0.5
RV_CONTRACTILITY_MULTIPLIER 0.052
R_LUNG_VOL 1000.00006
R_PISTON_P -1.9073486E-6
R_THORAX_V 1000.00006
S -7.0
SAO2 42.908142
SET_FIBRILATION 0.0
SF 0.02
SPA 17.052914
SVR_FACTOR 1.0
SWOLLEN_TONGUE 0.0
SYSBP 17.051907
SYSPA 17.052914
T 7.0
T1S 0.0030
T1_CONST 3.0
T2 4.0
T2S 0.012
T2_CONST 12.0

```

T3	3492.0	
T3S	0.12	
T3_CONST	120.0	
TAMPONADE	0.0	
TAV	0.01	
TC	68.0	
TEMP_AB	37.0	
THERMOFLOW	0.0	
THR	0.397351	
TI	0.1	
TIDAL_VOL	0.0	
TPA	37.0	
TR	1350.0	
TRA	37.0	
TV	6570.9097	
TVF	15000.0	
TVM	37500.0	
TVVR	7500.0	
T_INJECTATE	20.0	
UR_PUMP	0.0	
USER_BLINK_MODE	0.0	
USER_ENF	-1.0	
USER_HALO	-1.0	
USER_ISO	-1.0	
USER_LEFT_PUPIL_DIAMETER	-1.0	
USER_RIGHT_PUPIL_DIAMETER	-1.0	
USER_SEVO	-1.0	
UV_FACTOR	1.0	
VAP	1758.0243	
VCP	6324.662	
VENOUS_RETURN_FACTOR	1.0	
VETHA	385.50183	
VETHAU	370.0	
VETHV	1752.9329	
VETHVU	749.8	
VF	14.789559	
VFU	11.0	
VGLUNG	2650.0	
VITHA	148.2614	
VITHAU	140.0	
VITHV	2165.364	
VITHVU	880.2	
VLA	90.04378	
VLAU	30.0	
VLLUNG	14.457586	
VLLUNGU	27.0	
VLUNGU	0.0	
VLV	270.1748	
VLVU	30.0	
VM	46.368702	
VMU	35.0	
VOOPEN	1.0	
VPA	150.57788	
VPAU	50.0	
VPV	864.04254	
VPVU	350.0	
VRA	174.12598	
VRAU	30.0	
VRLUNG	41.457584	
VRLUNGU	27.0	
VRV	265.19647	
VRVU	40.0	
VSHUNT	2.5252914	
VSHUNTU	1.6	
VT	0.0	
VTUNG	600.0	
VTRR_FACTOR	1.0	
VT_FACTOR	1.0	
VV	0.0	
VVP	4508.1973	
VVR	185.0894	
VVRU	139.0	
WEDGE	0.0	

9.2 Programmcode des Standardszenarios

```
-- HPS: STATE: Baseline-- HPS: EVENTS: BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: EVENT: GOTO:
Diagnostischer_Block-- HPS: EVENTS: END_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITIONS:
BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITIONS: END_GENERATED_CODE-- HPS: STATE:
Diagnostischer_Block-- HPS: EVENTS: BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: EVENTS: END_GENERATED_CODE--
HPS: TRANSITIONS: BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITION: IF: STATE_TIME > 30 GOTO: Keine_HDM-
- HPS: TRANSITION: IF: BP_SYS >= 40 GOTO: HDM-- HPS: TRANSITIONS: END_GENERATED_CODE-- HPS:
STATE: HDM-- HPS: EVENTS: BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: EVENTS: END_GENERATED_CODE-- HPS:
TRANSITIONS: BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITION: IF: ISCHEMIC_INDEX_SENS < 0.6 SET:
LV_CONTRACTILITY_FACTOR = 0.8 ... 0-- HPS: TRANSITION: IF: RV_CONTRACTILITY_FACTOR >= 0.7 SET:
RHYTHM_OVERRIDE = 1 ... 0-- HPS: TRANSITION: IF: BP_SYS < 40 GOTO: Keine_HDM-- HPS:
TRANSITIONS: END_GENERATED_CODE-- HPS: STATE: Keine_HDM-- HPS: EVENTS: BEGIN_GENERATED_CODE--
HPS: EVENTS: END_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITIONS: BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITION:
IF: L_LUNG_VOL > 1080 GOTO: Beatmung-- HPS: TRANSITION: IF: STATE_TIME > 60 GOTO:
ACLS_ineffektiv-- HPS: TRANSITION: IF: DEFIB >= 10 GOTO: Defibrillation-- HPS: TRANSITION: IF:
BP_SYS >= 40 GOTO: HDM-- HPS: TRANSITIONS: END_GENERATED_CODE-- HPS: STATE: Beatmung-- HPS:
EVENTS: BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: EVENTS: END_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITIONS:
BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITION: IF: DEFIB >= 10 GOTO: Defibrillation-- HPS:
TRANSITION: IF: L_LUNG_VOL < 1080 GOTO: Keine_HDM-- HPS: TRANSITION: IF: BP_SYS >= 40 GOTO:
HDM-- HPS: TRANSITIONS: END_GENERATED_CODE-- HPS: STATE: ACLS_ineffektiv-- HPS: EVENTS:
BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: EVENT: SET: RHYTHM_OVERRIDE = 23 ... 0-- HPS: EVENT: GOTO:
Keine_HDM-- HPS: EVENTS: END_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITIONS: BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS:
TRANSITIONS: END_GENERATED_CODE-- HPS: STATE: Defibrillation-- HPS: EVENTS:
BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: EVENTS: END_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITIONS:
BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITION: IF: RHYTHM_OVERRIDE = 12 GOTO: Defibrillation_korrekt-
- HPS: TRANSITION: IF: RHYTHM_OVERRIDE = 11 GOTO: Defibrillation_korrekt-- HPS: TRANSITION:
IF: RHYTHM_OVERRIDE = 23 GOTO: Defibrillation_fehlerhaft-- HPS: TRANSITION: IF:
RHYTHM_OVERRIDE = 14 GOTO: Defibrillation_fehlerhaft-- HPS: TRANSITION: IF: RHYTHM_OVERRIDE =
1 GOTO: Defibrillation_fehlerhaft-- HPS: TRANSITIONS: END_GENERATED_CODE-- HPS: STATE:
Defibrillation_korrekt-- HPS: EVENTS: BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: EVENTS: END_GENERATED_CODE--
HPS: TRANSITIONS: BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITION: IF: LV_CONTRACTILITY_FACTOR >= 0.8
SET: RHYTHM_OVERRIDE = 1 ... 0-- HPS: TRANSITION: IF: BP_SYS >= 40 GOTO: HDM-- HPS:
TRANSITION: IF: STATE_TIME > 3 GOTO: Keine_HDM-- HPS: TRANSITIONS: END_GENERATED_CODE-- HPS:
STATE: Defibrillation_fehlerhaft-- HPS: EVENTS: BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: EVENTS:
END_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITIONS: BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITION: IF:
RHYTHM_OVERRIDE = 1 SET: RHYTHM_OVERRIDE = 12 ... 0-- HPS: TRANSITION: IF: BP_SYS >= 40 GOTO:
HDM-- HPS: TRANSITION: IF: STATE_TIME > 3 GOTO: Keine_HDM-- HPS: TRANSITIONS:
END_GENERATED_CODE-- HPS: STATE: Zugang_gelegt-- HPS: EVENTS: BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS:
EVENT: GOTO: Keine_HDM-- HPS: EVENTS: END_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITIONS:
BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITIONS: END_GENERATED_CODE-- HPS: STATE: Adrenalingabe_1--
HPS: EVENTS: BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: EVENT: BOLUS: EPINEPHRINE = 1000 mcg-- HPS: EVENT:
GOTO: Keine_HDM-- HPS: EVENTS: END_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITIONS: BEGIN_GENERATED_CODE--
HPS: TRANSITIONS: END_GENERATED_CODE-- HPS: STATE: Adrenalingabe_2-- HPS: EVENTS:
BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: EVENT: BOLUS: EPINEPHRINE = 1000 mcg-- HPS: EVENTS:
END_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITIONS: BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITION: IF:
RHYTHM_OVERRIDE = 23 SET: RV_CONTRACTILITY_FACTOR = 0.8 ... 0-- HPS: TRANSITION: IF:
RHYTHM_OVERRIDE = 14 SET: RV_CONTRACTILITY_FACTOR = 0.8 ... 0-- HPS: TRANSITION: IF:
RHYTHM_OVERRIDE = 11 SET: ISCHEMIC_INDEX_SENS = 0.5 ... 0-- HPS: TRANSITION: IF:
RHYTHM_OVERRIDE = 12 SET: ISCHEMIC_INDEX_SENS = 0.5 ... 0-- HPS: TRANSITION: IF: STATE_TIME >
1 GOTO: Keine_HDM-- HPS: TRANSITIONS: END_GENERATED_CODE-- HPS: STATE: Amiodarongabe-- HPS:
EVENTS: BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: EVENT: BOLUS: AMIODARONE = 300 mg-- HPS: EVENTS:
END_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITIONS: BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITION: IF:
RHYTHM_OVERRIDE = 12 SET: ISCHEMIC_INDEX_SENS = 0.5 ... 0-- HPS: TRANSITION: IF:
RHYTHM_OVERRIDE = 1 SET: RHYTHM_OVERRIDE = 23 ... 0-- HPS: TRANSITION: IF: RHYTHM_OVERRIDE =
11 SET: ISCHEMIC_INDEX_SENS = 0.5 ... 0-- HPS: TRANSITION: IF: STATE_TIME > 1 GOTO: Keine_HDM-
- HPS: TRANSITIONS: END_GENERATED_CODE-- HPS: STATE: Atropingabe-- HPS: EVENTS:
BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: EVENT: BOLUS: ATROPINE = 3 mg-- HPS: EVENTS: END_GENERATED_CODE--
HPS: TRANSITIONS: BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITION: IF: RHYTHM_OVERRIDE = 23 SET:
RV_CONTRACTILITY_FACTOR = 0.8 ... 0-- HPS: TRANSITION: IF: RHYTHM_OVERRIDE = 14 SET:
RV_CONTRACTILITY_FACTOR = 0.8 ... 0-- HPS: TRANSITION: IF: RHYTHM_OVERRIDE = 1 SET:
RHYTHM_OVERRIDE = 12 ... 0-- HPS: TRANSITION: IF: TIME > 1 GOTO: Keine_HDM-- HPS: TRANSITIONS:
END_GENERATED_CODE-- HPS: STATE: Intubation-- HPS: EVENTS: BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: EVENT:
SET: FIO2 = 90 ... 0-- HPS: EVENT: GOTO: Keine_HDM-- HPS: EVENTS: END_GENERATED_CODE-- HPS:
TRANSITIONS: BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITIONS: END_GENERATED_CODE-- HPS: STATE: Exit--
HPS: EVENTS: BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: EVENTS: END_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITIONS:
BEGIN_GENERATED_CODE-- HPS: TRANSITIONS: END_GENERATED_CODE
```

9.3 Programmcode des Visual Basic Makro zur automatisierten Extraktion qualitätsbestimmender Parameter

9.3.1 Modul 1 zur Extraktion des medianen Cardiac output aus dem Physio-Log

```
Dim SelectedFileName
Dim SimLog
Dim strDrugFileName
Dim strEventsFileName
Dim strPhysioFileName '
Dim strSavingFileName
Dim strSavingDirName

Sub Physio_log()

    SelectTxtFilesToOpen
        If SelectedFileName <> "Physio.txt" Then
            MsgBox "Please, select 'Physio.txt' file from dialog box!", , "File Open"
            Exit Sub 'stop program if no "Physio.txt" file is selected at the
beginning!
        End If

        Open_txt_Files
        Debug.Print "ActiveSheet ="; ActiveSheet.Name
        test = strEventsFileName

    efile = strEventsFileName
    pfile = strPhysioFileName

    Windows(efile).Activate

    '# of last row with content
    nor = ActiveSheet.Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Row

    'Sortieren, da zeiten durcheinander sein können
    Rows("15:15").Select
        Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
        Selection.Sort Key1:=Range("A15"), Order1:=xlAscending, Header:=xlGuess, _
            OrderCustom:=1, MatchCase:=False, Orientation:=xlTopToBottom

    '2
    Columns("B:B").Select
        playrow = Selection.Find(What:="Play Patient", After:=ActiveCell, LookIn:= _
            xlFormulas, LookAt:=xlPart, SearchOrder:=xlByRows, SearchDirection:= _
            xlNext, MatchCase:=False).Row

    '3 steht in playrow
    playtime = Range("A" & (playrow + 1)).Value

    '4
    Windows(pfile).Activate
    nor = ActiveSheet.Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
    For A = 15 To nor 'Check, if 15 always first data row!!!
        chktime = DateDiff("s", playtime, Range("a" & A).Value)
        If DateDiff("s", playtime, Range("a" & A).Value) <= 0 Then
            Range("a" & A - 1).EntireRow.Delete 'geändert am 10.2. da immer einen zeile zuviel
            gelöscht wurde

            If Range("A" & A).Value = "" Then
```



```

        A = nor
    Else
        A = 14
    End If

    End If
Next
'5
Windows(efile).Activate
nor = ActiveSheet.Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
SROtime = Range("A" & nor).Value
SROvalid = 0
cnt = 0
For A = playrow To nor
    chkstring = Range("b" & A).Value
    If InStr(1, LCase$(chkstring), LCase$("Sinus"), 0) > 0 Then
        SROrow = A
        A = nor
        SROtime = Range("A" & SROrow).Value
        SROvalid = 1
        cnt = cnt + 1
    End If
Next

' If no sinus is found, search for LAST pause patient as endpoint

If cnt = 0 Then
For A = playrow To nor
chkstring = Range("b" & A).Value
    If InStr(1, LCase$(chkstring), LCase$("pause patient"), 0) > 0 Then
        pauserow = A
        End If

        'Range("a" & (A + 1), "A" & nor).EntireRow.Delete
        'A = nor
        'o = A

Next
Range("a" & (pauserow + 1), "A" & nor).EntireRow.Delete
SROtime = Range("A" & pauserow).Value
SROvalid = 1
End If

'If no sinus is found, search for pause patient as endpoint

'If cnt = 0 Then
'For A = playrow To nor
'chkstring = Range("b" & A).Value
'| If InStr(1, LCase$(chkstring), LCase$("pause patient"), 0) > 0 Then
'|     SROrow = A
'|     A = nor
'|     SROtime = Range("A" & SROrow).Value
'|     SROvalid = 1
'|     End If
'|Next
'End If

'6

'7
Windows(pfile).Activate
nor = ActiveSheet.Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
For A = 15 To nor 'Check, if 15 always first data row!!!
    chktime = DateDiff("s", SROtime, Range("a" & A).Value)
If DateDiff("s", SROtime, Range("a" & A).Value) >= 0 Then
    Range("a" & A).EntireRow.Delete
    If Range("A" & A).Value = "" Then
        A = nor
    Else
        A = A - 1
    End If
End If

End If

```

```

Next
'8
nor = ActiveSheet.Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
Range("I" & 14, "I" & nor).Select

' Replace "," by "." in order to get number format
' Selection.Replace What:=",", Replacement=".", LookAt:=xlPart, _
' SearchOrder:=xlByRows, MatchCase:=False

Selection.NumberFormat = "0.00"

'9
If SROvalid = 1 Then
Range("G" & 9).Value = "MEDIAN_CO"
Range("I15").Select
ActiveWindow.SmallScroll Down:=51
Range("I14:I65000").Select 'geändert am 10.2 von 15 auf 14
Selection.Replace What:=",", Replacement=".", LookAt:=xlPart, _
SearchOrder:=xlByRows, MatchCase:=False
Range("G" & 10).Formula = "=MEDIAN(I15:I65000)"
Else
Range("G" & 9).Value = "MEDIAN_CO"
Range("G" & 10).Value = "not defined"
End If
SaveFile
Windows(efile).Activate
ActiveWindow.Close SaveChanges:=False
End Sub

Sub SelectTxtFilesToOpen() 'define files to open

'select only "Physio" file, define SavingDirName,SavingFileName
strPhysioFileName = Application.GetOpenFilename("Text Files (*.txt), *.txt", , "Open
'Physio.txt' File")

If strPhysioFileName = Falsch Or strPhysioFileName = "" Then End 'stop entire program if no
file is selected!

strSavingDirName = Left(strPhysioFileName, Len(strPhysioFileName) -
Len(Dir(strPhysioFileName)))
strPhysioFileName = Dir(strPhysioFileName)

SelectedFileName = Right(strPhysioFileName, 10) 'Len("Physio.txt")=10

'the term SimLog is taken from the "protokoll.rtf", ex. SimLog=0088
SimLog = Left(strPhysioFileName, Len(strPhysioFileName) - 10) 'Len("Physio.txt")=10
strSavingFileName = SimLog & "AllLogData.xls"

'define DrugFileName, EventsFileName which must also be opened
strDrugFileName = SimLog & "Drug.txt"
strEventsFileName = SimLog & "Events.txt"

'print for check
Debug.Print "Opened 'Physio' file: "; strPhysioFileName
Debug.Print "Opened 'Drug' file: "; strDrugFileName
Debug.Print "Opened 'Events' file: "; strEventsFileName
Debug.Print "SavingFileName: "; strSavingFileName
Debug.Print "SavingDirectory: "; strSavingDirName
Debug.Print "SimLog: "; SimLog
Debug.Print "SelectedFileName:= "; SelectedFileName
End Sub

Sub Open_txt_Files()

'open "Physio" log-file (VitalParam file)
Workbooks.OpenText Filename:= _
strSavingDirName & strPhysioFileName, Origin:=xlMSDOS _
, StartRow:=1, DataType:=xlDelimited, TextQualifier:=xlDoubleQuote, _
ConsecutiveDelimiter:=False, Tab:=True, Semicolon:=False, Comma:=False _
, Space:=False, Other:=False, FieldInfo:=Array(Array(1, 1), Array(2, 1), _
Array(3, 1), Array(4, 1), Array(5, 1), Array(6, 1), Array(7, 1), Array(8, 1), Array(9,
1), _
Array(10, 1), Array(11, 1), Array(12, 1), Array(13, 1), Array(14, 1), Array(15, 1),
Array(
_16, 1), Array(17, 1), Array(18, 1), Array(19, 1), Array(20, 1), Array(21, 1),
Array(22, 1), _
Array(23, 1), Array(24, 1), Array(25, 1), Array(26, 1), Array(27, 1), Array(28, 1),
Array(
_

```

```

29, 1), Array(30, 1))

'open "Events" log-file
Workbooks.OpenText Filename:= _
strSavingDirName & strEventsFileName, Origin:=xlMSDOS _
, StartRow:=1, DataType:=xlDelimited, TextQualifier:=xlDoubleQuote, _
ConsecutiveDelimiter:=False, Tab:=True, Semicolon:=False, Comma:=False _
, Space:=False, Other:=False, FieldInfo:=Array(Array(1, 1), Array(2, 1))

End Sub

Sub SaveFile()
'ChDir (strSavingDirName)

SaveFileName = strPhysioFileName
TXT = InStr(1, SaveFileName, ".txt")
SaveFileName = Left(SaveFileName, (TXT - 1)) + "RPMACRO.xls"

SavePath = strSavingDirName + SaveFileName

If Dir(SavePath) = "" Then

ActiveWorkbook.SaveAs Filename:=SavePath _
, FileFormat:=xlNormal, Password:="", WriteResPassword:="", _
ReadOnlyRecommended:=False, CreateBackup:=False

Else

MsgBox "Filename already exists, please choose another name"
Application.Dialogs(xlDialogSaveAs).Show

End If
End Sub

```

9.3.2 Modul 2 zur Extraktion der weiteren Qualitätsindikatoren aus dem Event-Log

```

Dim SelectedFileName
Dim SimLog
Dim strDrugFileName
Dim strEventsFileName
Dim strPhysioFileName '
Dim strSavingFileName
Dim strSavingDirName

Sub events_log()

    SelectTxtFilesToOpen

        If SelectedFileName <> "Events.txt" Then
            MsgBox "Please, select 'Events.txt' file from dialog box!", , "File Open"
            Exit Sub 'stop program if no "evens.txt" file is selected at the
beginning!
        End If

        Open_txt_Files
        Debug.Print "ActiveSheet ="; ActiveSheet.Name

translate_events

efile = strEventsFileName
Windows(efile).Activate
twominutes = 1.38888888888889E-03
sixminutes = 4.16666666666667E-03

Intubtime = 0
Zugangtime = 0
Rhythtime = 0
HDMtime = 0

'Sortieren, da zeiten durcheinander sein können
Rows("15:15").Select
    Range(Selection.End(xlDown)).Select
    Selection.Sort Key1:=Range("A15"), Order1:=xlAscending, Header:=xlGuess, _
        OrderCustom:=1, MatchCase:=False, Orientation:=xlTopToBottom

'Write to cells
Range("C14").Value = "Time in state"
Range("D14").Value = "Time in scenario"
Range("E14").Value = "Time in resuscitation"

'Search for "Play Patient" and get Row#
Columns("B:B").Select
    playrow = Selection.Find(What:="Play Patient", After:=ActiveCell, LookIn:= _
        xlFormulas, LookAt:=xlPart, SearchOrder:=xlByRows, SearchDirection:= _
        xlNext, MatchCase:=False).Row

'# of last row with content
nor = ActiveSheet.Cells(ActiveSheet.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
o = nor

For A = playrow To (nor - 1)

    'get Time Difference for all (1f,1g)

    Range("C" & A).Value = (Range("A" & (A + 1)).Value - Range("A" & A).Value)
    Range("C" & A).Select
    Selection.NumberFormat = "h:mm:ss"

    '1h,1i
    Range("D" & A).Value = (Range("A" & A).Value - Range("A" & playrow).Value)
    Range("D" & A).Select
    Selection.NumberFormat = "h:mm:ss"

```

```

Next

For A = playrow To nor

'lh,li
Range("D" & A).Value = (Range("A" & A).Value - Range("A" & playrow).Value)
Range("D" & A).Select
Selection.NumberFormat = "h:mm:ss"

Next

'lj
HDMrow = -1
For A = playrow To nor
chkstring = Range("B" & A).Value
If InStr(1, chkstring, "CC", 0) > 0 Then
HDMrow = A
Exit For
End If
Next

'lk,ll

If HDMrow > 0 Then

For A = HDMrow To nor

Range("E" & A).Value = (Range("A" & A).Value - Range("A" & HDMrow).Value)
Range("E" & A).Select
Selection.NumberFormat = "h:mm:ss"

Next

End If
'Define o, if no System:... exists
o = nor
cnt = 0
'Search for "System: Rhythm Override set to Sinus", Check if string exists
For A = playrow To nor
chkstring = Range("b" & A).Value
If InStr(1, LCase$(chkstring), LCase$("Sinus"), 0) > 0 Then
cnt = cnt + 1
Range("a" & (A + 1), "A" & nor).EntireRow.Delete
A = nor
o = A

End If
Next

' If no sinus is found, search for pause patient as endpoint

If cnt = 0 Then
For A = playrow To nor
chkstring = Range("b" & A).Value
If InStr(1, LCase$(chkstring), LCase$("pause patient"), 0) > 0 Then
pauserow = A
End If

'Range("a" & (A + 1), "A" & nor).EntireRow.Delete
'A = nor
'o = A

Next
Range("a" & (pauserow + 1), "A" & nor).EntireRow.Delete
End If

'Calc, rel. HONT

nor = ActiveSheet.Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
o = nor

'a
Range("B" & (o + 2)).Value = "Overall duration -time until ROSC"
'b
Range("C" & (o + 2)).Value = Range("E" & o).Value

```

```

Range("C" & (o + 2)).Select
    Selection.NumberFormat = "h:mm:ss"
'c
'set counter for sum
cnt = 0

CC_row = -1
For A = playrow To o
    chkstring = Range("B" & A).Value
    If InStr(1, LCase$(chkstring), LCase$("No CC"), 0) > 0 Then
        cnt = cnt + Range("C" & A).Value
        CC_row = cnt
    End If
Next
'e
Range("B" & (o + 3)).Value = "abs. HOFFT"
'g
Range("B" & (o + 4)).Value = "rel. HONT"

If CC_row > 0 Then

'f
Range("C" & (o + 3)).Value = cnt
Range("C" & (o + 3)).Select
    Selection.NumberFormat = "h:mm:ss"

'h
Range("C" & (o + 4)).Value = (Range("C" & (o + 2)).Value - Range("C" & (o + 3)).Value) /
Range("C" & (o + 2)).Value
Range("C" & (o + 4)).Select
    Selection.NumberFormat = "0.000"
Else
Range("C" & (o + 3)).Value = "Not defined"
Range("C" & (o + 4)).Value = "Not defined"
End If
'6a)
Adr1_row = -1
For A = playrow To o
    chkstring = Range("B" & A).Value
    If InStr(1, LCase$(chkstring), LCase$("First administration of epinephrine"), 0) > 0 Then
        Adr1_row = A
        Exit For 'exit loop, because 1st was found
    End If
Next

'6b)
Range("B" & (o + 5)).Value = "Time until first administration of epinephrine"

'6c)

If Adr1_row > 0 Then
Range("C" & (o + 5)).Value = Range("E" & Adr1_row).Value
Range("c" & (o + 5)).Select
    Selection.NumberFormat = "h:mm:ss"
Else
Range("C" & (o + 5)).Value = "Not defined"
End If

'7a)

Defi_row = -1
For A = playrow To nor
    chkstring = Range("B" & A).Value
    If InStr(1, LCase$(chkstring), LCase$("Defibrillation"), 0) > 0 Then
        Defi_row = A
        Exit For
    End If
Next

'7b)
Range("B" & (o + 6)).Value = "Time until first defibrillation"
Range("c" & (o + 9)).Select
    Selection.NumberFormat = "h:mm:ss"

'7c)

```

```

'Range("C" & (o + 6)).Value = Range("E" & Defi_row).Value

If Defi_row > 0 Then
Range("C" & (o + 6)).Value = Range("E" & Defi_row).Value
Range("c" & (o + 6)).Select
    Selection.NumberFormat = "h:mm:ss"

Else
Range("C" & (o + 6)).Value = "Not defined"
End If

If Defi_row > 0 Then    'only if Defi start

'8a)
Range("B" & (o + 7)).Value = "Correct defibrillations"

'8b)
cnt = 0
For A = playrow To o
    chkstring = Range("B" & A).Value
    If InStr(1, LCase$(chkstring), LCase$("defibrillation correct"), 0) > 0 Then
        cnt = cnt + 1
    End If
Next

Range("c" & (o + 7)).Value = cnt

'8c)
Range("B" & (o + 8)).Value = "Incorrect defibrillations"

'8d)
cnt = 0
For A = playrow To o
    chkstring = Range("B" & A).Value
    If InStr(1, LCase$(chkstring), LCase$("defibrillation incorrect"), 0) > 0 Then
        cnt = cnt + 1
    End If
Next

Range("c" & (o + 8)).Value = cnt

'8e)
Range("d" & (o + 7)).Value = "Percentage"
Range("d" & (o + 8)).Value = "Percentage"

'8f,g)
Range("e" & (o + 7)).Value = (Range("c" & (o + 7)).Value * 100 / (Range("c" & (o + 7)).Value +
Range("c" & (o + 8)).Value))
Range("e" & (o + 8)).Value = (Range("c" & (o + 8)).Value * 100 / (Range("c" & (o + 7)).Value +
Range("c" & (o + 8)).Value))

'9a)
Range("B" & (o + 9)).Value = "Mean deviation of defibrillation intervals from two minutes
interval"

'9b,c)
cnt = 0
tDn = 0
total_tDn = 0
mean_tDn = 0
init = 0 'first event found:1
For A = playrow To o
    chkstring = Range("B" & A).Value
    If InStr(1, LCase$(chkstring), LCase$("Defibrillation"), 0) > 0 Then
        tDn_old = tDn
        tDn = Range("e" & A).Value

        If init > 0 Then
            total_tDn = Abs(twominutes - (tDn - tDn_old)) + total_tDn
            'for mean calc.
            mean_tDn = mean_tDn + (tDn - tDn_old)
            cnt = cnt + 1
        End If
        init = 1
    End If
Next

```

```

Range("c" & (o + 9)).Value = total_tDn / (cnt)
Range("c" & (o + 9)).Select
    Selection.NumberFormat = "h:mm:ss"
Range("d" & (o + 9)).Value = "Mean interval of defibrillations"
Range("e" & (o + 9)).Value = mean_tDn / cnt
Range("e" & (o + 9)).Select
    Selection.NumberFormat = "h:mm:ss"

End If 'only if Defi end
'10a)
Range("b" & (o + 10)).Value = "Overall ventilations"
'10b)
cnt = 0
vent_row = -1
For A = playrow To o
    chkstring = Range("B" & A).Value
    If InStr(1, LCase$(chkstring), LCase$("Ventilation"), 0) > 0 Then
        cnt = cnt + 1
        vent_row = cnt
    End If
Next

If vent_row > 0 Then

Range("c" & (o + 10)).Value = cnt

'10c)
Range("d" & (o + 10)).Value = "Mean frequency of ventilations"

'10d)
hh = Hour(Range("c" & (o + 2)).Value)
mm = Minute(Range("c" & (o + 2)).Value)
ss = Second(Range("c" & (o + 2)).Value)

TotalMin = hh * 60 + mm + ss / 60

meanfreq = Range("c" & (o + 10)).Value / TotalMin
Range("e" & (o + 10)).Select
    Selection.NumberFormat = "0.00"
Range("e" & (o + 10)).Value = meanfreq

Else
'10c)
Range("d" & (o + 10)).Value = "Mean frequency of ventilations"
Range("e" & (o + 10)).Value = "Not defined"
Range("c" & (o + 10)).Value = 0

End If

Range(("b" & (o + 2)), ("e" & (o + 10))).Select
    With Selection.Interior
        .ColorIndex = 15
        .Pattern = xlSolid
    End With

    Columns("B:B").Select
    Selection.ColumnWidth = 53.57
    Columns("d:d").Select
    Selection.ColumnWidth = 25
SaveFile
End Sub

Sub SelectTxtFilesToOpen() 'define files to open

'select only "Physio" file, define SavingDirName,SavingFileName
strPhysioFileName = Application.GetOpenFilename("Text Files (*.txt), *.txt", , "Open
'Events.txt' File")

If strPhysioFileName = Falsch Or strPhysioFileName = "" Then End 'stop entire program if no
file is selected!

strSavingDirName = Left(strPhysioFileName, Len(strPhysioFileName) -
Len(Dir(strPhysioFileName)))
strPhysioFileName = Dir(strPhysioFileName)

```



```

SelectedFileName = Right(strPhysioFileName, 10)          'Len("Physio.txt")=10

'the term SimLog is taken from the "protokoll.rtf", ex. SimLog=0088
SimLog = Left(strPhysioFileName, Len(strPhysioFileName) - 10)  'Len("Physio.txt")=10
strSavingFileName = SimLog & "AllLogData.xls"

'define DrugFileName, EventsFileName which must also be opened
strDrugFileName = SimLog & "Drug.txt"
strEventsFileName = SimLog & "Events.txt"

'print for check
Debug.Print "Opened 'Physio' file: "; strPhysioFileName
Debug.Print "Opened 'Drug' file: "; strDrugFileName
Debug.Print "Opened 'Events' file: "; strEventsFileName
Debug.Print "SavingFileName: "; strSavingFileName
Debug.Print "SavingDirectory: "; strSavingDirName
Debug.Print "SimLog: "; SimLog
Debug.Print "SelectedFileName:= "; SelectedFileName
End Sub

Sub Open_txt_Files()

'open "Events" log-file
Workbooks.OpenText Filename:= _
    strSavingDirName & strEventsFileName, Origin:=xlMSDOS _
    , StartRow:=1, DataType:=xlDelimited, TextQualifier:=xlDoubleQuote, _
    ConsecutiveDelimiter:=False, Tab:=True, Semicolon:=False, Comma:=False _
    , Space:=False, Other:=False, FieldInfo:=Array(Array(1, 1), Array(2, 1))
End Sub

Sub SaveFile()
'ChDir (strSavingDirName)

SaveFileName = strEventsFileName
TXT = InStr(1, SaveFileName, ".txt")
SaveFileName = Left(SaveFileName, (TXT - 1)) + "RPMACRO.xls"

SavePath = strSavingDirName + SaveFileName

If Dir(SavePath) = "" Then

    ActiveWorkbook.SaveAs Filename:=SavePath _
        , FileFormat:=xlNormal, Password:="", WriteResPassword:="", _
        ReadOnlyRecommended:=False, CreateBackup:=False

Else

    MsgBox "Filename already exists, please choose another name"
    Application.Dialogs(xlDialogSaveAs).Show

End If

End Sub

Sub translate_events()

Cells.Replace What:="keine HDM", Replacement:="no CC", LookAt:= _
    xlPart, SearchOrder:=xlByRows, MatchCase:=False

Cells.Replace What:="HDM", Replacement:="CC", LookAt:= _
    xlPart, SearchOrder:=xlByRows, MatchCase:=False

Cells.Replace What:="Adrenalingabe 1", Replacement:="First administration of epinephrine",
LookAt:= _
    xlPart, SearchOrder:=xlByRows, MatchCase:=False

Cells.Replace What:="Defibrillation korrekt", Replacement:="defibrillation correct", LookAt:=
-
    xlPart, SearchOrder:=xlByRows, MatchCase:=False

Cells.Replace What:="Defibrillation fehlerhaft", Replacement:="defibrillation incorrect",
LookAt:= _
    xlPart, SearchOrder:=xlByRows, MatchCase:=False

Cells.Replace What:="Beatmung", Replacement:="Ventilation", LookAt:= _
    xlPart, SearchOrder:=xlByRows, MatchCase:=False

```

9.4 Fragebogen zu demographischen Daten der Studienteilnehmer

Fragebogen zur Reanimationsstudie

Geschlecht

weiblich männlich

Alter

< 20 Jahre 40-49 Jahre
 20-29 Jahre 50-59 Jahre
 30-39 Jahre > 60 Jahre

Qualifikation

Arzt (Fachrichtung u. Weiterbildungsjahr:)

Facharzt (Fachrichtung:)

Notarzt

Krankenschwester/-pfleger

Krankenschwester/-pfleger in Fachweiterbildung:

Krankenschwester/-pfleger mit Fachweiterbildung:

Rettungssanitäter

Rettungsassistent

Letzte Reanimation vor

< 1 Monat 1-3 Monate 3-6 Monate > 6 Monate

Letzter Reanimationslehrgang

< 1 Monat 1-3 Monate 3-6 Monate
 6-9 Monate 9-12 Monate > 12 Monate

Im Beruf seit

10 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben:

Ich danke Herrn Univ.-Prof. Dr. med., Dipl.-Phys. Eberhard Kochs, Klinik für Anästhesiologie am Klinikum rechts der Isar für die Möglichkeit, an seinem Lehrstuhl zu promovieren. Dank gebührt ebenso Herrn Prof. Dr. med. Gerhard Schneider, Klinik für Anästhesiologie am Helios Klinikum Wuppertal für die Überlassung eines so interessanten Themas und die gute Betreuung und Zusammenarbeit. Mein besonderer Dank geht an Herrn Dr. med. Christian Schulz, Klinik für Anästhesiologie am Klinikum rechts der Isar für die gute Betreuung des gesamten Projekts, die immerwährende Motivation, die konstruktive Kritik und für viele wertvolle Ideen und natürlich für unzählige Male Korrekturlesen – ohne ihn wäre diese Arbeit nicht denkbar gewesen. Ebenso großer Dank geht an Herrn Matthias Kreuzer für die stetige Unterstützung bei der Umsetzung des Makros und der Erstellung der Statistik. Dank auch allen anderen Mitarbeitern des Simulationszentrums am Klinikum rechts der Isar für die konstruktive Zusammenarbeit und die Unterstützung bei der Erhebung der Daten.

Mein ganz persönlicher Dank gilt einer ganzen Reihe von Personen, die maßgeblich meinen Werdegang zum Arzt begleitet und gefördert haben: besonderer Dank gilt meinen Eltern und Großeltern, die mich im Studium stets motiviert und sowohl finanziell und als auch in jeder erdenklichen anderen Hinsicht unterstützt haben. Weiterhin danke ich den Mitarbeitern des Malteser Hilfsdienstes Freiburg und München, insbesondere Herrn Daniel Hierholzer, Herrn Christoph Klausmann und Herrn Sebastian Moser, die meine ersten medizinischen Schritte begleitet haben,

unter deren Obhut ich viele wertvolle Erfahrungen gesammelt habe, die meinen Werdegang entscheidend beeinflusst haben und die es mir erst ermöglichten, in der vorlesungsfreien Zeit im Rettungsdienst zu arbeiten und mir so einen großen Teil des Studiums zu finanzieren. In besonderem Maße zu danken habe ich Frau Stefanie Grandl und Frau Dr. med. Ira Klaus, die mich bei Erstellung dieser Arbeit stets unterstützt haben und die es stets mit viel Geduld ertragen haben, wenn die Arbeit nicht wie gewünscht voranging und die Stimmung deswegen im Keller war.

Abschließend möchte ich mich noch bedanken bei den Mitarbeitern der Abteilung für Anästhesie am Rotkreuzklinikum München, die mich im Fachgebiet der Anästhesie fundiert ausgebildet haben und mich auf meinem Weg vom Medizinstudenten zum Arzt begleitet haben. Herrn Dr. med. Simon Kästle habe ich außerdem zu danken für die großzügigen Freistellungen und dienstplanerischen Bemühungen, die mir die Datenerhebung erst ermöglicht haben.